



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Deltares

Ontwikkeling zesde-generatie

Markermeer en Veluwerandmeren-model

Modelbouw, kalibratie
en validatie



Ontwikkeling zesde-generatie Markermeer en Veluwerandmeren model

Modelbouw en validatie

Menno Genseberger
Carlijn Eijsberg - Bak
Asako Fujisaki
Christophe Thiange

11200569-009

Titel

Ontwikkeling zesde-generatie Markermeer en Veluwerandmeren model

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat Water Verkeer en Leefomgeving	11200569-009	11200569-009-ZWS-0013	241

Trefwoorden


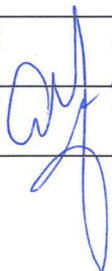
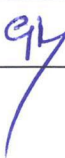
D-HYDRO, D-Flow Flexible Mesh, zesde-generatie model, hydrodynamica, Markermeer, Veluwerandmeren

Samenvatting

Een nieuw 6^e generatie modelschematisatie is ontwikkeld voor Markermeer en Veluwerandmeren met D-HYDRO/D-Flow FM. De modelschematisatie dient als basis voor meerdere toepassingen: hoogwaterveiligheid, operationele hoogwatervoorspelling en waterkwaliteit/ecologie. Voor het Markermeer doet de modelschematisatie het goed qua waterstanden voor de beschouwde stormperiodes. Voor WBI zal dit deelmodel nog verder getest moeten worden voor extreme condities. Er zijn nog geen testen gedaan met unSWAN op het bijbehorende rooster. Het is verder van belang dat het D-Flow FM in 3 dimensies getest wordt. Voor de Veluwerandmeren zal de modelschematisatie eerst verbeterd moeten worden voordat het toegepast kan worden.

Referenties

-

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1.0	december 2017	Menno Genseberger e.a.		Migena Zagonjoli		Gerard Blom	
2.0	december 2018	Menno Genseberger e.a.		Migena Zagonjoli		Johan Boon	
3.1	december 2019	Menno Genseberger e.a.		Migena Zagonjoli		Gerard Blom	

Status

definitief

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Achtergrond	1
1.2	Doel	1
1.3	Gebruikte programmatuur en hardware	1
1.4	Update van rapport in 2018	1
1.5	Update van rapport in 2019	2
1.6	Organisatie en bijdragen	2
1.7	Terminologie	3
2	Systeembeschrijving	5
2.1	Gebiedsomschrijving	5
2.1.1	Aansluiting op aangrenzende gebieden	8
2.2	Historie	8
2.2.1	Deelmodel Markermeer	8
2.2.2	Deelmodel Veluwerandmeren	8
2.3	Overgang naar D-HYDRO	9
2.4	Relevante processen en doelvariabelen	9
3	Beschikbare data	13
3.1	Geometrie in Baseline	13
3.1.1	Basis in 2017	13
3.1.2	Update in 2018	13
3.1.3	Update in 2019	14
3.1.4	Ontwikkelingen in gebied sinds vorige 5 ^e generatie model, beschouwing	15
3.2	Randvoorwaarden en meetgegevens	18
3.2.1	Deelmodel Markermeer	18
3.2.2	Deelmodel Veluwerandmeren	19
4	Modelbouw	23
4.1	Inleiding	23
4.2	Rooster	23
4.2.1	Methodiek	23
4.2.2	Roostereigenschappen	23
4.2.3	Update in 2019	29
4.2.4	Gridconvergentie	32
4.3	Projectie vanuit Baseline	32
4.4	Randvoorwaarden	35
4.4.1	Lateralen	35
4.4.2	Meteorologie	36
4.4.3	Initiële condities	39
4.5	Schematisatie kunstwerken	40
4.6	Fysisch-numerieke instellingen	40
5	Kalibratie en validatie	43
5.1	Kalibratiemethodiek	43
5.1.1	Aanpak in eerdere modelschematisaties voor dit gebied	43
5.1.2	Pragmatische aanpak	45

5.1.3	Goodness-of-fit criteria	46
5.2	Stormperiod(en)	46
5.3	Resultaten validatie voor j10 modellen	47
5.3.1	Markermeer 2006, uniforme wind	47
5.3.2	Markermeer 2007, uniforme wind	47
5.3.3	Markermeer 2007, ruimtelijk variërende wind	48
5.3.4	Markermeer 2011, uniforme wind	48
5.3.5	Markermeer 2011, ruimtelijk variërende wind	49
5.3.6	Veluwerandmeren 2007, uniforme wind	49
5.3.7	Veluwerandmeren 2007 ruimtelijk variërende wind	50
5.3.8	Veluwerandmeren 2011, uniforme wind	50
5.3.9	Veluwerandmeren 2011, ruimtelijk variërende wind	51
5.3.10	Veluwerandmeren 2013, uniforme wind	51
5.3.11	Veluwerandmeren 2013 ruimtelijk variërende wind	52
5.4	Resultaten verificatie j17 en j18 modellen Markermeer	52
5.4.1	Markermeer 2007, uniforme wind	53
5.4.2	Markermeer 2007, ruimtelijk variërende wind	53
5.5	Resultaten verificatie j19 model Markermeer	54
5.5.1	Markermeer 2007, uniforme wind	54
5.5.2	Markermeer 2007, ruimtelijk variërende wind	54
5.6	Resultaten verificatie j10 model Veluwerandmeren	54
5.6.1	Veluwerandmeren j10 met parameter “hu0” voor D-Flow FM, 2013, uniforme wind	55
5.7	Resultaten verificatie j18 model Veluwerandmeren	55
5.7.1	Veluwerandmeren j18, 2013, uniforme wind	55
5.8	Conclusies	55
5.8.1	Markermeer specifiek	55
5.8.2	Veluwerandmeren	56
6	Modeltoepassing	57
6.1	Toetsing voor gebruikstoepassingen	57
6.2	Rekentijden en parallelisatie	57
6.3	Update in 2019, rekestijden en parallelisatie	59
	60	
6.4	Programma van eisen 6 ^e generatie modelschematisaties	60
7	Samenvatting, conclusies en aanbevelingen	63
7.1	Samenvatting	63
7.2	Conclusies	63
7.3	Aanbevelingen	63
8	Referenties	65
	Bijlage(n)	
A	Lijst gebruikte instellingen	A-1
B	Roostergeneratie	B-1
B.1	Polygonen	B-1
B.2	Interpolatie algoritme	B-1
B.3	Downsampling landgrens	B-1

B.4	Variërende resolutie	B-2
B.5	Uitlijnen	B-3
B.6	Polygoon script	B-3
C	Validatie en verificatie	C-1
C.1	Storm oktober 2006 Markermeer, validatie voor WAQUA j10 en D-Flow FM j10	C-3
C.1.1	Uniforme wind	C-3
C.2	Storm januari 2007 Markermeer, validatie voor WAQUA j10 en D-Flow FM j10	C-10
C.2.1	Uniforme wind	C-10
C.2.2	Ruimtelijk variërende wind	C-17
C.3	Storm december 2011 Markermeer, validatie voor WAQUA j10 en D-Flow FM j10	C-24
C.3.1	Uniforme wind	C-24
C.3.2	Ruimtelijk variërende wind	C-31
C.4	Storm januari 2007 Veluwerandmeren, validatie voor WAQUA j10 en D-Flow FM j10	C-38
C.4.1	Uniforme wind	C-38
C.4.2	Ruimtelijk variërende wind	C-43
C.5	Storm december 2011 Veluwerandmeren, validatie voor WAQUA j10 en D-Flow FM j10	C-48
C.5.1	Uniforme wind	C-48
C.5.2	Ruimtelijk variërende wind	C-52
C.6	Storm december 2013 Veluwerandmeren, validatie voor WAQUA j10 en D-Flow FM j10	C-56
C.6.1	Uniforme wind	C-56
C.6.2	Ruimtelijk variërende wind	C-61
C.7	Storm januari 2007 Markermeer, verificatie voor D-Flow FM j17 en D-Flow FM j18	C-66
C.7.1	Uniforme wind	C-66
C.7.2	Ruimtelijk variërende wind	C-73
C.8	Storm december 2013 Veluwerandmeren, validatie voor WAQUA j10 en D-Flow FM j10	C-80
C.8.1	Uniforme wind	C-80
C.9	Storm december 2013 Veluwerandmeren, validatie voor D-Flow FM j18	C-85
C.9.1	Uniforme wind	C-85
C.10	Storm januari 2007 Markermeer, validatie voor D-Flow FM j19	C-90
C.10.1	Uniforme wind	C-90
C.10.2	Ruimtelijk variërende wind	C-97
D	Analyse D-Flow FM, Delft3D-FLOW en WAQUA voor Veluwerandmeren	D-1
D.1	Aanleiding	D-1
D.2	Gebruikte modellen	D-1
D.3	Resultaten schematische kanaal model	D-1
D.3.1	Schematische WBI wind	D-1
D.3.2	Storm rond 5 december 2013	D-2
D.4	Resultaten vierhoekige rooster Veluwerandmeren en WAQUA en D-Flow FM modellen	D-2
D.4.1	Schematische WBI wind	D-2
D.4.2	Storm rond 5 december 2013	D-2
E	Herkomst bodemruwheid IJsselmeergebied WAQUA-modellen	E-1
E.1	Bodemruwheid IJsselmeer	E-1
E.1.1	1986	E-1

E.1.2	1992 (1)	E-1
E.1.3	1992 (2)	E-2
E.1.4	1993-1999	E-2
E.1.5	1997	E-4
E.1.6	2006	E-4
E.1.7	2008	E-5
E.2	Bodemruwheid Markermeer	E-6
E.2.1	2005	E-6
E.2.2	2013	E-6
E.3	Bodemruwheid Veluwerandmeren	E-7
E.3.1	2004	E-7
E.3.2	2015	E-8
F	Karteringen waterplanten en mosselen	F-1
F.1	Karteringen waterplanten: eens per 3 jaar	F-1
F.2	Mosselkarteringen: ad hoc	F-2
F.2.1	Markermeer laatste kartering najaar 2016, vorige in 2011, 2006 en 2000.	F-2
F.2.2	Mosselkartering Randmeren laatst in 2013, daarvoor tweejaarlijks van 1996 t/m 2008.	F-4
G	Definities modelbeoordeling	G-1
G.1	Achtergrond	G-1
G.2	Definities	G-1
G.2.1	Kalibratie	G-1
G.2.2	Validatie	G-1
G.2.3	Verificatie	G-1
G.3	Goodness-of-fit criteria	G-1
G.3.1	Bias	G-2
G.3.2	Standaardafwijking	G-2
G.3.3	Root Mean Square Error (<i>RMSE</i>)	G-2
G.3.4	Relatieve bias	G-3
G.3.5	Variatiecoëfficiënt	G-3
G.3.6	Verschil in waarden rond extremen	G-3
G.3.7	Verschil in tijdstip van extremen	G-3
G.3.8	Overschrijdingsduur	G-3
G.3.9	Gemiddelde over stations	G-4
G.4	Middelingsduur variabelen	G-4
G.5	Nauwkeurigheidscriterium	G-4
H	D-Flow FM en WAQUA op WBI uitvoerlocaties Veluwerandmeren	H-1
H.1	Conditie met zwakke wind uit oostnoordoosten	H-1
H.2	Conditie met sterke wind uit westzuidwesten	H-4
I	Gegevens actualisatie diepte Markermeer en Marker Wadden	I-7
I.1	Omvang van de maatregel "mm_bath17_a1" .	I-7
I.2	Foto's van noordoosten Markermeer	I-9
I.3	Survey Marker Wadden van 18 april 2018	I-10
I.4	Baseline maatregel mm_MarkWad_a1 voor diepte Marker Wadden	I-13
I.5	Projectie en verschillen op rooster	I-14
J	Effect verschillende diepte van j10, j17 en j18	J-23

J.1	Storm januari 2007 op Markermeer met uniforme wind	J-23
J.2	Storm januari 2007 op Markermeer met ruimtelijk variërende wind	J-29

K	Maatregellijsten	K-1
----------	-------------------------	------------

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In dit rapport worden de activiteiten beschreven die in het kader van het (deel)project KPP-Hydraulica – Markermeer en Veluwerandmeren zijn uitgevoerd. Hierin is voor het eerst een zogenaamde 6^e generatie modelschematisatie gemaakt van dit gebied. Het grote verschil hierin met de vorige 5^e generatie modelschematisaties is dat nu gebruik gemaakt is van D-HYDRO. De modelsoftware SOBEK en WAQUA voor waterstroming is hierin vervangen door D-Flow FM (Flexible Mesh).

1.2 Doel

Dit project had tot doel het ontwikkelen van een 6e generatie modelschematisatie van het Markermeer en Veluwerandmeren. Deze modelschematisatie dient als basis voor meerdere toepassingen: hoogwaterveiligheid, operationele hoogwatervoorspelling en waterkwaliteit/ecologie (zie voor een beschrijving van het gevolgde proces en de belangrijkste toepassingen sectie 2.4).

1.3 Gebruikte programmatuur en hardware

- ArcGIS 10.1 + SP1 for Desktop (Build 3143)
- Baseline 5.3.0.1212 (in 2017 en 2018) en Baseline 6.1.1.2048 (in 2019)
- Bas2FM*
- D-Flow FM**
- RGFRID 5.02.00.48324 64 bit voor rekenrooster (onderdeel van Delft3D FM Suite 2017, versie 1.2.1.36315)
- modellen zijn gemaakt op Deltares laptops (Windows 7 Enterprise, Intel i5-3360M processor met 2 cores, 2.80 GHz en Intel i5-3230M processor met 2 cores, 2.60 GHz)
- modelruns zijn uitgevoerd op het Deltares H6 linux-cluster (Linux CentOS-6.5, nodes met 1 Intel Xeon E3-1276 v3 processor per node, 4 cores per node, 3.60 GHz).

*Tijdens de uitvoering van dit project zijn er verbeteringen gebracht aan de Bas2FM software. Daardoor zijn verschillende versies gebruikt voor het genereren van de D-Flow FM modellen. Het uiteindelijke gecombineerde rooster model dat het Markermeer en Veluwerandmeren gebied bevat is op basis van de laatste beschikbare Bas2FM software versie 1.3.4 gemaakt. Tijdens de uitvoering van dit project zijn er verbeteringen gebracht aan de D-Flow FM software. In 2017 en 2018 zijn de uiteindelijke modelruns voor de validatie en verificatie gedaan met D-Flow FM versie 52638. In 2017 en 2018 zijn de modelruns voor de rekentijden gedaan met D-Flow FM versie 52751. In 2019 zijn de uiteindelijke modelruns voor de verificatie gedaan met D-Flow FM versie 65541 en de modelruns voor de rekentijden gedaan met D-Flow FM versie 64757.

1.4 Update van rapport in 2018

Voor het Markermeer zijn in 2018 nieuwe dieptegegevens beschikbaar gekomen. Voor een storm is nagegaan wat de effecten daarvan zijn op de hiermee nieuw gemaakte schematisaties voor het Markermeer. Dit is verwerkt in een update van het definitieve rapport uit 2017 resulterend in de voorliggende versie (sectie 3.1.2, sectie 5.4, bijlage I en bijlage J). Ook zijn in deze update de rekentijden voor WAQUA aangescherpt (sectie 6.2).

1.5 Update van rapport in 2019

Voor het Markermeer en de Veluwerandmeren zijn in 2019 nieuwe gegevens beschikbaar gekomen. Tevens is het rekenrooster van het Markermeer lokaal aangepast voor Marker Wadden, versterking van de Houtribdijk en IJburg en dat van de Veluwerandmeren voor de nieuwe Reevesluis en Reevedam. Ook wordt nu een parameter gebruikt om het effect van diepte in de windformulering van D-Flow FM beter mee te nemen. Voor een storm is nagegaan wat de effecten daarvan zijn op de hiermee nieuw gemaakte schematisaties voor het Markermeer en de Veluwerandmeren. Dit is verwerkt in een update van het definitieve rapport uit 2017 en 2018 resulterend in de voorliggende versie (met nieuw sectie 3.1.3, sectie 4.2.3, sectie 5.5, sectie 5.6 en sectie 5.7). Ook is in deze update de informatie over bijbehorende rekentijden aangevuld (sectie 6.3).

1.6 Organisatie en bijdragen

Dit project is uitgevoerd door:

Menno Genseberger – (deel)projectleider

Christophe Thiange – projectmedewerker (roostergeneratie)

Asako Fujisaki – projectmedewerker (Baseline, modellering D-Flow FM)

Carlijn Eijsberg - Bak – projectmedewerker (gebiedskennis, Watermanagementcentrum Nederland (WMCN), modellering WAQUA)

Met bijdragen/advies van:

Aukje Spruyt (overall projectleider)

Martin Scholten van RWS (opdrachtgever)

Yann Friocourt van RWS (opdrachtgever)

Jurjen de Jong (Baseline, modellering D-Flow FM)

Jamie Morris (Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (WBI))

Marcel Bottema van RWS (gebiedskennis, WBI, WMCN)

Ruurd Noordhuis (gebiedskennis, ecologie)

Jan van Kester (modellering, WAQUA)

Alfons Smale (gebiedskennis, WBI)

Mart Borsboom (modellering, D-Flow FM)

Martijn Russcher van SURFsara¹ (high performance computing)

Maxime Mogé van SURFsara¹ (high performance computing)

Migena Zagonjoli (review eindrapport)

Pascal Boderie (review werkplan)

Marc Weeber (review memo rekenrooster)

Ton Visser (Baseline)

¹ Deze bijdrage is verricht binnen het PRACE (Preparatory Access Type D) project 2010PA3775 [23, 24].

1.7 Terminologie

In dit rapport worden de volgende definities gebruikt:

Nederlandse term	Beschrijving	Voorbeeld
<i>gebiedsschematisatie</i>	Een beschrijving van een specifiek gebied of water-/grondwatersysteem, voor een specifieke periode	baseline-markermeer-j10_5-v1 en baseline-veluwerandmeren-j10_5-v1 (software: Baseline, watersysteem: Markermeer and Veluwerandmeren, periode: 2010)
<i>modelschematisatie</i>	= modelsoftware + gebiedsschematisatie Een rekenkundig model van een specifiek gebied of water-/grondwatersysteem gebouwd met specifieke modelsoftware, voor een specifiek systeem en een specifieke periode	fm-markermeer-j10_5-v1 en fm-veluwerandmeren-j10_5-v1 (software: D-Flow FM, watersysteem: Markermeer and Veluwerandmeren, periode: 2010)
<i>modelsoftware</i>	Een software pakket waarmee modelschematisaties kunnen worden doorgerekend aan de hand van een numerieke implementatie van fysische processen	D-Flow FM, WAQUA
<i>modelsoftwaresuite</i>	Een samenhangend geheel van modelsoftware systemen	D-HYDRO, SIMONA

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

2 Systeembeschrijving

2.1 Gebiedsomschrijving

In dit project is voor het eerst een zogenaamde 6^e generatie modelschematisatie gemaakt voor het gebied omvattend door Markermeer, IJmeer, Gooimeer, Eemmeer, Eem, Nijkerkernauw, Nuldernauw, Wolderwijd, Veluwemeer en Drontermeer. Figuur 2.1 laat dit gebied vanuit Google earth zien, hierbij zijn de oranje lijnen de Baseline sectie bestanden. Ten opzichte van de vorige, 5^e generatie modelschematisaties [2] en [3], zijn het Markermeergebied (ten westen van de Nijkerkersluis) en het Veluwerandmerengebied (ten oosten van de Nijkerkersluis) samengenomen tot een D-Flow FM model. In de 5^e generatie modelschematisaties bestonden twee aparte modellen. Het model van het Markermeer gebied bestond uit het Markermeer, het IJmeer, het Gooimeer, het Eemmeer en het stromingsgebied van de Eem met een oppervlak van ruim 740 km². Het model van de Veluwerandmeren bestond uit het Nuldernauw, Wolderwijd, Veluwemeer en Drontermeer met een oppervlak van ruim 64 km².

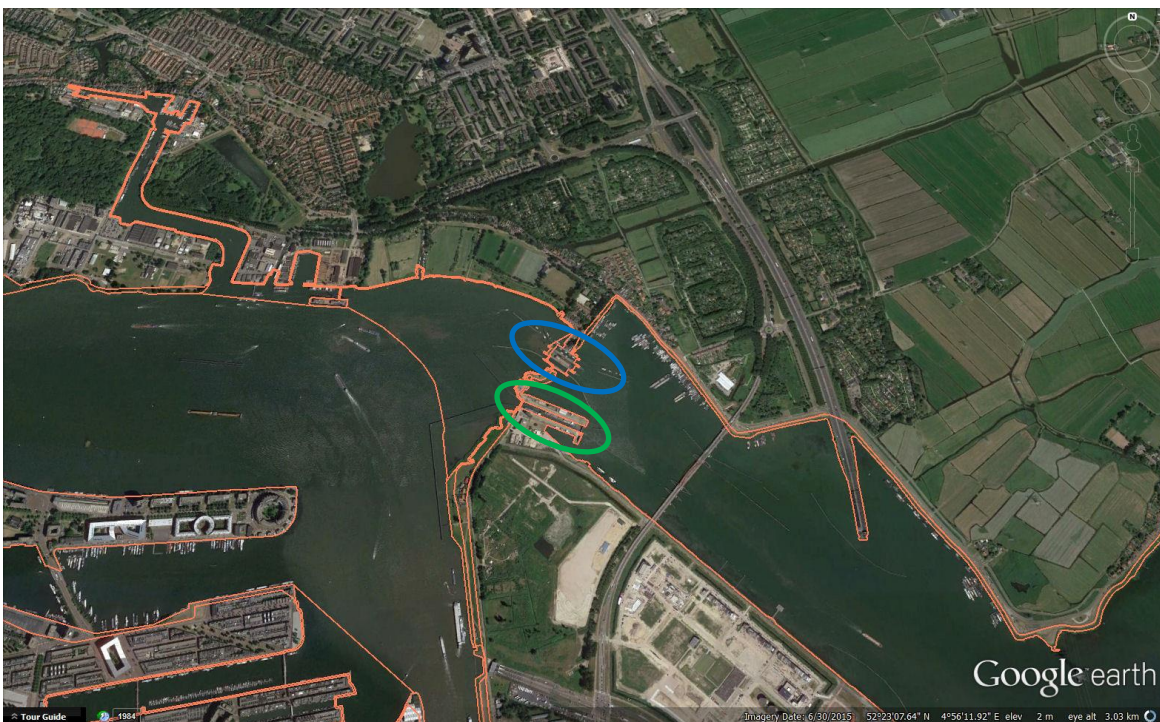
Voor het maken van deze 6^e generatie modelschematisatie zijn eerst een aparte schematisatie voor het deelmodel van het Markermeer gebied en een aparte schematisatie voor het deelmodel van het Veluwerandmeren gebied gemaakt. Vervolgens zijn deze twee deelschematisaties samengevoegd door de roosters in elkaar te laten overlopen ter hoogte van Nijkerkersluis.



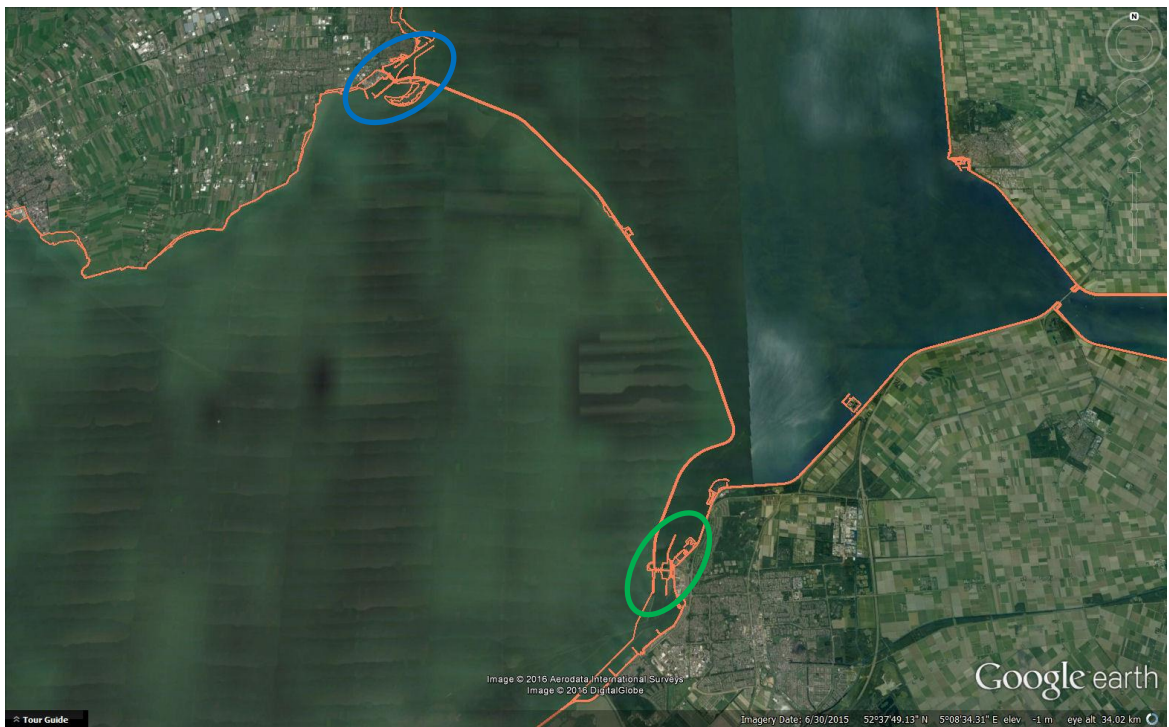
Figuur 2.1 Gebied omvattend door Markermeer, zuidwestelijke randmeren en Veluwerandmeren vanuit Google earth. In oranje de Baseline sectie bestanden voor deze gebieden. Omkaderd in blauw, groen, wit en geel de uitsneden zoals weergegeven in Figuren 2.2 t/m 2.5.



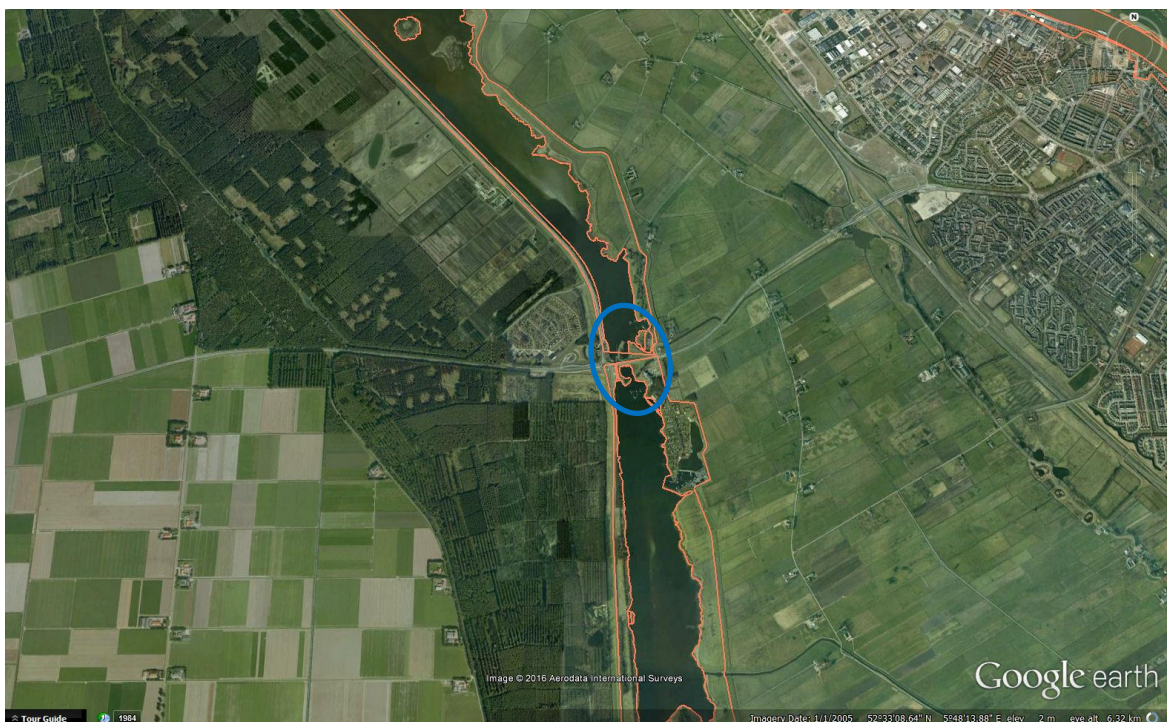
Figuur 2.2 Overgangsgebied tussen Nijkerkernauw (links) en Nuldernauw (rechts) vanuit Google earth. Deze uitsnede is blauw omkaderd in Figuur 2.1. De scheiding wordt gevormd door de Nijkerkerluis (blauwe ellips). De oranje lijnen zijn de Baseline sectie bestanden.



Figuur 2.3 Overgangsgebied tussen IJ (links) en IJmeer (rechts) in Amsterdam vanuit Google earth. Deze uitsnede is groen omkaderd in Figuur 2.1. De scheiding wordt gevormd door de drie Oranjesluizen (blauwe ellips) en de Prins Willem Alexandersluis (groene ellips). De oranje lijnen zijn de Baseline sectie bestanden.



Figuur 2.4 Overgangsgebied tussen Markermeer (links) en IJsselmeer (rechts) vanuit Google earth. Deze uitsnede is wit omkaderd in Figuur 2.1. De scheiding wordt gevormd door de Houtribdijk die wordt begrensd door de Krabbersgatstuizen bij Enkhuizen (blauwe ellips) en de Houtribstuizen bij Lelystad (groene ellips). De oranje lijnen zijn de Baseline sectie bestanden.



Figuur 2.5 Overgangsgebied tussen Drontermeer (onder) en Vossemeer (boven) vanuit Google earth. Deze uitsnede is geel omkaderd in Figuur 2.1. De scheiding wordt gevormd door de Roggebotsluis (blauwe ellips). De oranje lijnen zijn de Baseline sectie bestanden.

2.1.1 Aansluiting op aangrenzende gebieden

Voor de nieuwe 6^e generatie modelschematisaties is de opzet om de roosters van aangrenzende gebieden op elkaar aan te laten sluiten bij de grenzen en de sluisen op deze grenzen aan beide kanten voldoende fijnmazig te schematiseren. De nieuwe 6^e generatie modelschematisatie van het Markermeer en de Veluwerandmeren grenst aan:

- 1) het IJ bij de drie Oranjesluizen en de Prins Willem Alexandersluis (zie Figuur 2.3),
- 2) het IJsselmeer bij de Houtribdijk (waarin de Krabbersgatsluizen bij Enkhuizen en de Houtribsluizen bij Lelystad, zie Figuur 2.4) en
- 3) het Vossemeer bij de Roggebotsluis (zie Figuur 2.5).

2) en 3) zijn grenzen met de modelschematisatie van het IJsselmeer en de IJssel Vechtdelta (IJVD), hiervoor is in 2018 begonnen met het maken van een 6^e generatie modelschematisatie. In 2018 is ook begonnen met de 6^e generatie modelschematisatie voor de Rijntakken waar op IJVD aantakt. De roosters zijn voor deze aangrenzende gebieden op elkaar aangesloten, zie hiervoor de concept rapportage van de 6^e generatie modelschematisatie voor IJVD [19].

1) is de grens met de modelschematisatie van het Noordzee kanaal en het Amsterdam-Rijnkanaal, hiervoor is in 2018 begonnen met een pilot voor de 6^e generatie modelschematisatie. In deze pilot is nog niet gekeken naar de aansluiting bij 1) op het Markermeer (via het IJmeer).

2.2 Historie

2.2.1 Deelmodel Markermeer

In het verleden zijn er een aantal modellen van het Markermeer gebied ontwikkeld. In 1997 is het Waterloopkundig Laboratorium (WL) met het Onafhankelijk Onderzoek Markermeer (OOM) gestart. In het kader van deze studie is er een Delft2D model ontwikkeld [9], dit model besloeg het Markermeer, het IJmeer, het Gooimeer en het Eemmeer. In 2005 is er door een samenwerkingsverband van Alkyon en Meander een WAQUA model voor het Markermeer gebied ontwikkeld [10]. Het rooster van het Delft2D model uit de OOM studie is als basis voor [10] gebruikt. Dit rooster is uitgebreid door het stromingsgebied van de Eem eraan toe te voegen en lokaal is het rooster verfijnd.

Voor de vorige, 5^e generatie modelschematisatie is een volledig nieuw WAQUA rooster gemaakt [8], dat aansluit op de roosters van het IJsselmeer gebied en de Veluwerandmeren. Het rooster heeft een hogere resolutie dan in het WAQUA model [10], lokaal is de resolutie tot een factor 4 toegenomen. Daarnaast zijn er recentere Baseline gegevens, afkomstig uit 2010, gebruikt voor het opbouwen van de schematisatie van het gebied [2].

2.2.2 Deelmodel Veluwerandmeren

Voor 2002 bestonden de Veluwerandmeren uit twee compartimenten: Nuldernauw/Wolderwijd enerzijds en Veluwemeer/Drontermeer anderzijds. De twee compartimenten werden gescheiden door de Knardijk tussen Gelderland en oostelijk Flevoland. In de Knardijk was bij Hardersluis een scheepvaartsluis.

Vanaf oktober 2002 zijn in de Knardijk twee openingen gerealiseerd: het aquaduct bedoeld voor de recreatievaart en noordelijker een opening voor de beroepsvaart. Het wegverkeer vanuit Harderwijk naar Flevoland passeert deze opening via een hoge brug.

Al in 2004 is door HKV een model voor de Veluwerandmeren ontwikkeld [15], in het kader van hydraulische randvoorwaarden. Het betrof een Baseline-schematisatie, kromlijng rooster en WAQUA schematisatie voor de situatie na 2002. Het rooster voor dat model was o.a. gebaseerd op de toen geplande nieuwe vaargeulen. Bij het maken van de totale aansluitende roosters IJsselmeer/VechtIJsseldelta, Markermeer en Veluwerandmeren is het rooster voor Veluwerandmeren uit 2004 nagenoeg gehandhaafd in de vorige, 5^e generatie modelschematisatie [3].

2.3 Overgang naar D-HYDRO

Het grote verschil tussen de 5^e en 6^e generatie modelschematisaties is dat voor de 6^e generatie gebruik is gemaakt van D-HYDRO software. De modelsoftware SOBEK en WAQUA voor waterstroming zijn hierin vervangen door D-Flow FM (Flexible Mesh: ongestructureerd rooster). De modelsoftware SWAN voor golven blijft onderdeel van D-HYDRO. Het is nog niet duidelijk wanneer voor SWAN overgegaan wordt op de ongestructureerde versie unSWAN.

2.4 Relevante processen en doelvariabelen

In het kader van modelontwikkeling hebben Deltares en RWS “good modelling practices” ontwikkeld. Als onderdeel ervan willen we voorafgaand aan de ontwikkeling goed identificeren waarvoor het model precies nodig is en waaraan het moet voldoen. Zo kunnen we zogenaamde “doelvariabelen” definiëren. De modelkalibratie en –validatie worden dan specifiek gericht op deze doelvariabelen zodat de modeluitkomsten zo bruikbaar mogelijk zullen zijn.

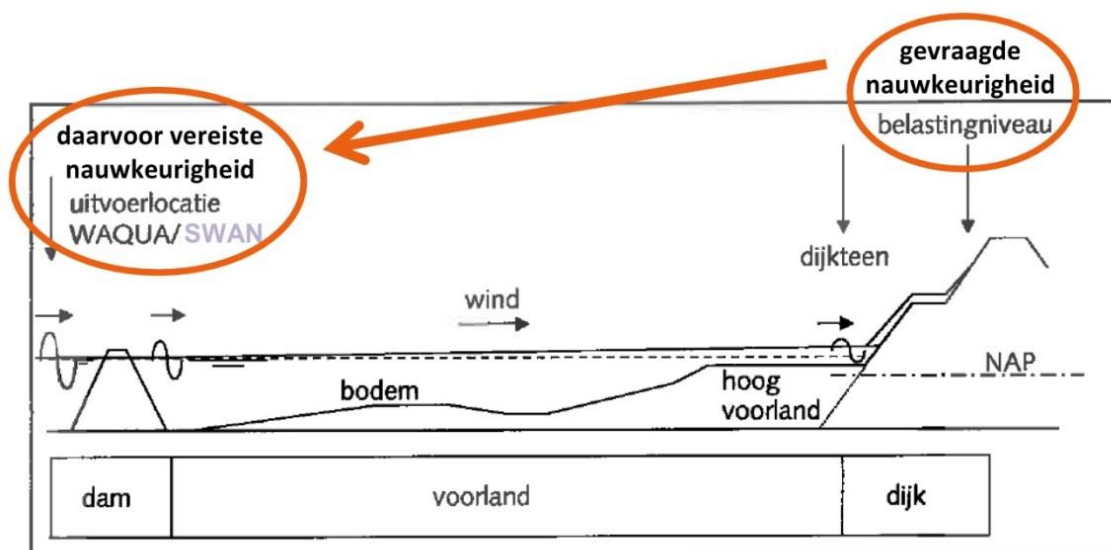
De belangrijkste toepassingen in het IJsselmeergebied volgen uit resultaten van de startworkshop 6^e generatie modellen van Rijkswaterstaat in januari 2016 (door deelnemers ingevulde Excel sheets). Voor de bijbehorende processen, typische ruimte/tijd schalen, belangrijkste grootheden en (uitvoer) locaties is eerst globaal gekeken hoe nu welke processen gebruikt worden en hoe deze aan elkaar gekoppeld worden:

- 1) Waterstanden, golfoploop en golfoverslag bij de dijken (toepassing binnen WBI en RwsOS Meren): wind en in mindere mate afvoer als forcering van dieptegemiddelde 2-dimensionale stroming, deze weer als randvoorwaarde voor golven.
 - 2) Waterverdeling (toepassing binnen o.a. nationaal watermodel): wind- en afvoergedreven dieptegemiddelde 1-dimensionale stroming.
 - 3) Stofverspreiding (toepassing binnen o.a. calamiteiten instrumentarium en drinkwatervoorziening): dieptegemiddelde 2-dimensionale en 3-dimensionale stroming.
 - 4) Effectstudies slib en ecologie (toepassing binnen o.a. MIRT verkenningen en MER studies): wind als forcering van 3-dimensionale stroming gekoppeld aan golven, dit weer als randvoorwaarde voor slib, waterkwaliteit en ecologie.
- Voor toepassing 1 wordt op het ogenblik WAQUA gebruikt voor stroming en SWAN voor golven.
 - Toepassing 2 wordt op het ogenblik verricht met een SOBEK3 model dat is verkregen uit de WAQUA model (toepassing 1) [2] en [3] via WAQ2PROF (een routine die SOBEK profielen uit WAQUA bathymetrie genereert). Voor het verkrijgen van een SOBEK 3 model uit D-Flow FM wordt op het ogenblik FM2PROF ontwikkeld [16]. Echter, voor toepassingen in meren is de vraag of overgestapt kan (denk aan rekentijden) en moet (denk aan het beter meenemen van windeffecten, zie bijvoorbeeld [17]) worden op een 2-dimensionaal model.
 - Voor toepassing 3 gebruikt het calamiteiten instrumentarium op het ogenblik 2-dimensionale stroombeelden van RwsOS Meren (toepassing 1). Daarnaast is voor effectstudies slib en ecologie (zie ook toepassing 4) recent voor verspreiding van nutriënten het 3-dimensionale Markermeer slibmodel gebruikt [18].
 - Voor toepassing 4 wordt op het ogenblik in het Markermeer een slibmodel gebruikt. Dit model bestaat uit Delft3D-FLOW voor stroming, Delft3D-WAVE/SWAN voor golven en Delft3D-WAQ en HABITAT voor slib, waterkwaliteit en ecologie.

Op de eerste bijeenkomst van de klankbordgroep meren op 20 september 2016 is vanuit Rijkswaterstaat de wens uitgesproken dat in de 6^e generatie modelschematisaties zoveel mogelijk hetzelfde horizontale rekenrooster gebruikt kan worden voor deze verschillende toepassingen. Op de tweede bijeenkomst van de klankbordgroep meren op 30 januari 2017 is vanuit Rijkswaterstaat aangegeven dat voor deze ontwikkeling de eerste directe toepassing, toepassing 1 is waarbij zoveel mogelijk toepassingen 3 en 4 worden meegenomen. Voorlopig is toepassing 2 buiten beschouwing gelaten.

Als voorbereiding is in 2016 in de pilot schematisatie voor het Markermeer uitgezocht of een rekenrooster bestaande uit driehoekige rekencellen geschikt is voor WBI, RwsOS Meren en het slibmodel [4]. Het gebruik van driehoekige rekencellen is van belang voor modelleer flexibiliteit (fijnmazig volgen van kustlijn voor uitvoerpunten, grover in midden voor verminderen rekenpunten voor lagere rekentijd) en om in de toekomst, als daarop wordt overgegaan, de ongestructureerde versie van SWAN, unSWAN te kunnen gebruiken.

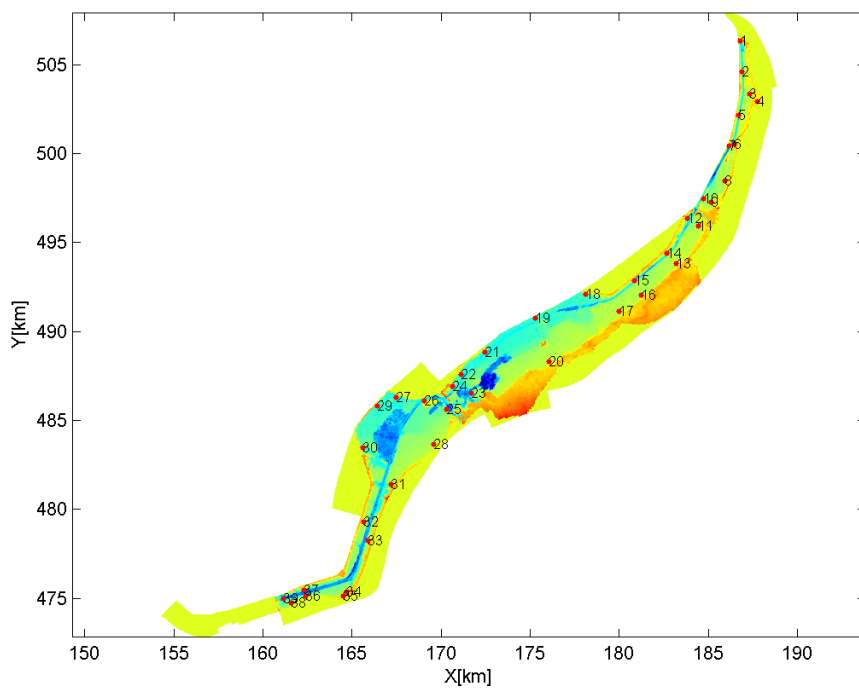
Voor toepassing 1 zijn doelvariabelen waterstanden, golfoploop en golfoverslag bij de dijken. Locatie van deze doelvariabelen is bij de dijk. Om daarvoor de gevraagde nauwkeurigheid te halen is een vereiste nauwkeurigheid nodig van waterstanden, golfhoogten en golfperioden op uitvoerlocaties aan het begin van het voorland. Zie voor een schematische weergave Figuur 2.6 en voor de ruimtelijke ligging van de huidige uitvoerlocaties Figuur 2.7. Binnen WBI zal de komende 2 jaar ook het stuk tussen Nijkerkersluis en Roggebotsluis meegenomen gaan worden. Vooruitlopend daarop hebben we in dit project in een vroegtijdig stadium van de modelontwikkeling ook gekeken naar WBI uitvoerlocaties (zie voor locaties Figuur 2.8 en voor resultaten Bijlage I, dit betreffen de uitvoerlocaties voor WBI 2006, deze omvatten die van WBI 2017 waarin een aantal uitvoerlocaties zijn weggelaten) [6]. Dit project heeft zich gericht op de waterstanden berekend door een D-Flow FM model op de uitvoerlocaties. Later zal dit rekenrooster uitgeprobeerd moeten worden met de ongestructureerde versie van SWAN, unSWAN. Voor het testen van dit rooster binnen het Markermeer slibmodel is een wat langere aanlooptijd voorzien omdat het hier gaat om 3-dimensionale stroming gekoppeld aan golven. Wel zijn specifieke aspecten in de gaten gehouden tijdens het maken van het rooster (denk bijvoorbeeld aan een verfijning rondom maatregelen zoals de Marker Wadden en de vaargeul Amsterdam-Lelystad).



Figuur 2.6 Schematische weergave van het gebied dicht bij de dijk, de locatie bij de dijk van de doelvariabelen (belastingniveau), voor de gevraagde nauwkeurigheid van deze doelvariabelen is een vereiste nauwkeurigheid nodig van grootheden uit WAQUA en SWAN op een uitvoerlocatie aan het begin van de vooroever.



Figuur 2.7 Uitvoerlocaties voor WBI 2017 in Markermeer en zuidwestelijke randmeren.



Figuur 2.8 Uitvoerlocaties voor WBI 2006 (deze omvatten die van WBI 2017 waarin een aantal uitvoerlocaties zijn weggelaten) in Veluwerandmeren.

3 Beschikbare data

3.1 Geometrie in Baseline

3.1.1 Basis in 2017

In 2017 zijn in dit project de volgende Baseline schematisaties gebruikt:

- veluwerandmeren-j10_5-v1 voor het Veluwerandmeren gebied en
- markermeer-j10_5-v1 voor het Markermeer gebied.

Deze Baseline schematisaties vormden de basis van het in 2017 verrichte werk in dit project, waaronder de roostergeneratie.

3.1.2 Update in 2018

Voor het Markermeer zijn in 2018 nieuwe dieptegegevens beschikbaar gekomen. De betreffende lodingen tussen 2013 en 2017 zijn door CSO verwerkt in een Baseline maatregel mm_bath17_a1 die de natte geometrie van het Markermeer verandert (zomerbed, sectie 2 en het plassenbestand, zie sectie I.1 in Bijlage I). Op basis daarvan is de Baseline variant schematisatie markermeer-j17_5-v1 gemaakt (zie Bijlage K).

In april 2018 is een survey uitgevoerd voor de Marker Wadden (zie sectie 3.1.3). De gegevens van deze survey zijn door Deltares omgezet in een Baseline maatregel mm_MarkWad_a1, zie sectie I.4 in Bijlage I. Op basis daarvan is de Baseline variant schematisatie markermeer-j18_5-v1 gemaakt (zie Bijlage K).

Omdat zowel Baseline schematisatie markermeer-j17_5-v1 als Baseline schematisatie markermeer-j18_5-v1 pas in 2018 beschikbaar kwamen is voor de 2007 storm nagegaan wat de effecten daarvan zijn. Dit is verwerkt in de voorliggende update van het rapport uit 2017, resultaten van hiermee gedraaide simulaties worden afzonderlijk gerapporteerd in sectie 5.4. Om deze effecten te kunnen verklaren is nagegaan waar, ruimtelijk, de verschillen in diepte zitten tussen markermeer-j10_5-v1 en de twee recente schematisaties. Hiervoor zijn de verschillen ingedeeld in verschillende klassen, zie de figuren in sectie I.5 van Bijlage I. Let op dat dit figuren zijn waarin de diepte getoond wordt op het rekenrooster. We noemen hier de belangrijkste observaties:

- a) Uit de rechthoekige structuren in de twee verschillklassen uit Figuur I.11 en Figuur I.12 blijkt dat de diepte in markermeer-j10_5-v1 en/of markermeer-j17_5-v1 een aantal artefacten bevat.
- b) Met name in het IJmeer en rondom de vaargeul zijn er verschillen in de orde van 1 tot 2 dm de diepte tussen Baseline schematisaties markermeer-j10_5-v1 en markermeer-j17_5-v1, zie Figuur I.12 in Bijlage I. Dit is te verklaren door natuurlijke aanslibbing (resuspensie en sedimentatie door wingedreven golven en stroming) van 1 tot 2 dm in de periode tussen de opeenvolgende diepte lodingen van beide schematisaties.
- c) De vaargeul van Amsterdam naar Lelystad en de zijtak daarop richting de Hollandse Brug is op delen 1 to 5 meter dieper geworden in de periode tussen de opeenvolgende diepte lodingen van beide schematisaties, zie Figuur I.13, I.14 en I.15. Waarschijnlijk komt dit door baggeren t.b.v. vaarwegbeheer.

3.1.3 Update in 2019

Voor het Markermeer zijn in 2019 nieuwe gebiedsgegevens beschikbaar gekomen via RWS-CIV. Hierin ontbraken echter gegevens van belangrijke ontwikkelingen in het gebied (zie ook sectie 3.1.4). Daarom zijn aanvullende gegevens opgevraagd, deze worden specifiek toegelicht in secties 3.1.3.1 t/m 3.1.3.4.

Alle nieuwe gegevens zijn door Lieveense omgezet in aparte Baseline maatregelen mm_bath18_a1, mm_hmbat18_a1, mm_houtd18_a1 en mm_houtrd_a1. De reden om dit in aparte maatregelen te doen is omdat een aantal ontwikkelingen nog gaande zijn waardoor het handig is om de maatregel afzonderlijk te kunnen updaten.

Voor de Veluwerandmeren zijn in 2019 nieuwe gebiedsgegevens beschikbaar gekomen via RWS-CIV. Deze zijn door Lieveense omgezet in de Baseline maatregel vrm_bath18_a1. Ook is voor de Reevedam het rooster van de Veluwerandmeren lokaal aangepast, zie sectie 3.1.4, sectie 4.2.3 en Figuur 4.11.

Met de meeste recente Baseline maatregelen zijn de nieuwe Baseline schematisaties van Markermeer en Veluwerandmeren gemaakt (zie Bijlage K voor de maatregel lijst).

Voor Baseline schematisatie markermeer-j19 is voor de 2007 storm nagegaan wat de effecten daarvan zijn. Voor Baseline schematisatie veluwerandmeren-j18 is voor de 2013 storm nagegaan wat de effecten daarvan zijn. Dit is verwerkt in de voorliggende update van het rapport uit 2017 en 2018, resultaten van hiermee gedraaide simulaties worden afzonderlijk gerapporteerd in respectievelijk sectie 5.5 en sectie 5.6.

3.1.3.1 Marker Wadden

Voor alles behalve winput "Stroombaangeul" is voor de huidige situatie informatie aangeleverd door Boskalis voor de actualisatie. Dieptegegevens van de winput "Stroombaangeul" zijn aangeleverd door van Van Oord.

3.1.3.2 Versterking Houtribdijk

Voor de harde constructies (dammen, verlegde hockeysticks, structuur vlakbij Trintelhaven) zijn door RWS gegevens aangeleverd. Gegevens van zachte constructies komen pas in februari 2020 beschikbaar. Hiervoor verdient het de aanbeveling het model te updaten.

3.1.3.3 IJburg

Er is zowel via gemeente Amsterdam als Boskalis contact geweest. Beiden hebben gegevens opgestuurd die zijn gebruikt voor de actualisatie. Gemeente Amsterdam heeft de grenzen van het Strandeiland aangeleverd. Dit wordt in de komende 1,5 jaar opgespoten, er ligt nu ongeveer 50% (maar dat is nog niet op de eindhoogte). De grenzen zijn nagenoeg gelijk als die in het j17 en j18 model maar wijkt op enkele locaties af van het oude ontwerp. De west- (strand) en zuidrand (groene oever) zijn zachte randen. De zuidrand krijgt daarnaast ook kribben. Buiteneiland (ten noorden van Strandeiland) wordt pas over ± 3 jaar aangelegd en daar ligt de vorm nog niet van vast. Advies was om deze niet mee te nemen in het j19 model.

Boskalis heeft lijnelementen (gedeelte) en diepte gegevens aangeleverd. De lijnelementen zijn uit de laatste achtergrond file, dit ontwerp wijzigt om de zoveel tijd (zie ook eerdere opmerking). De diepte gegevens zijn uit een survey van week 36 in 2019.

3.1.3.4 Slibvangput midden Markermeer

De contouren van de slibvangput en diepte gegevens uit een survey van oktober 2019 zijn aangeleverd door Boskalis. Inschatting is dan dat ongeveer 25% van de bovengrond van de put af is (-10 NAP). De put heeft een oppervlakte van 400 m x 2000 m, deze wordt in fases ontgrond.

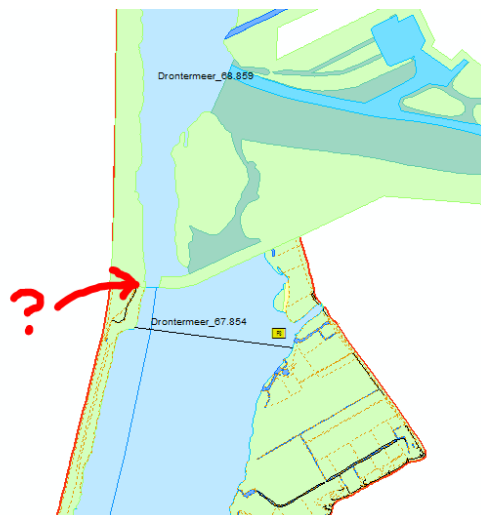
3.1.4 Ontwikkelingen in gebied sinds vorige 5^e generatie model, beschouwing

Ten opzichte van de vorige, 5^e generatie zijn er vijf grote ontwikkelingen die al in uitvoering zijn of binnenkort in de uitvoering gaan (zie Figuur 3.2 voor een kaart met de vier ontwikkelingen in het Markermeer/IJmeer):

- 1) Reevesluis en Reevedam in het Drontermeer,
- 2) versterking Houtribdijk aan het Markermeer,
- 3) Marker Wadden in het Markermeer,
- 4) Markermeerdijken aan het Markermeer en
- 5) IJburg 2 in het IJmeer.

Ontwikkelingen 2, 4 en 5 waren niet tijdig beschikbaar als Baseline maatregelen tijdens de uitvoering van dit project in 2017. Er is alsnog tijdens het maken van het rooster in 2017 rekening gehouden met de ontwikkelingen (uitlijnen, lokaal verfijnen) met de gedachte dat later deze ontwikkelingen nog als Baseline maatregel opgenomen dienen te worden.

Voor 1) Reevesluis en Reevedam was begin 2017 nog niet een fase 2 maatregel beschikbaar. Daarom kon tijdens de roostergeneratie fase in 2017 nog geen knip gelegd worden in het rekenrooster (zie Figuur 3.1). Voor toekomstige scenario's zal de Reevesluis en Reevedam de bovengrens zijn van het model voor Markermeer en Veluwerandmeren. Dit is een relatief eenvoudige aanpassing in het rekenrooster en heeft alleen lokale gevolgen: deze aanpassing is in 2019 in het Veluwerandmeren deelmodel doorgevoerd (j18), zie ook sectie 4.2.3 en Figuur 4.11. Dit op basis van Baseline maatregel ij_rvdiep2_a2 [21] die later beschikbaar is gekomen en in 2018 ook is gebruikt in de 6^e generatie modelschematisaties van IJsselmeer, IJssel-Vechtdelta en Overijsselse Vecht [19] en Rijntakken [20].



Figuur 3.1 Detail van Drontermeer met de bypass Kampen bovenin en mogelijke locatie van Reevesluis en Reevedam (rode pijl) (volgens gegevens ten tijde van de roostergeneratie in 2017).

Voor 2) versterking Houtribdijk werden de plannen in 2017 nog uitgewerkt. Er waren nog geen definitieve ontwerpen (diepte, contouren, dijkbekleding) beschikbaar tijdens het maken van de rekenroosters in 2017. Opvallend was wel dat in de tussentijd dit gebied snel verandert. Zie sectie I.2 in Bijlage I: Figuur I.2 laat een beeld van Google earth van maart/april 2018 zien.

Trintelzand, tegen de Houtribdijk aan, is daarin nog niet zichtbaar. Op de luchtfoto van november 2018 in Figuur I.3 is dat wel het geval.

Voor 3) Marker Wadden werd tussen 2016 en 2019 de eerste fase aangelegd. Het rekenrooster is in 2017 gemaakt op basis van de aangeleverde gegevens over deze eerste fase. Tijdens het maken van het rekenrooster in 2017 waren echter nog geen dieptegegevens beschikbaar voor deze eerste fase van Marker Wadden. Diepte is belangrijk zowel voor de eilanden zelf als voor de slib/zandwinputten rondom de eilanden (zie uitvergroting rechtsonder in Figuur 3.2). Dit vraagt daarom om een update van de beschikbare dieptegegevens van het Markermeer voor de modellering (Baseline maatregel), dit is zowel in 2018 (j18) en 2019 (j19) gedaan.

Ter illustratie: in april 2018 is een survey uitgevoerd voor de Marker Wadden, zie sectie I.3 in Bijlage I. Figuur I.4 laat de diepte van de eilanden zien en Figuur I.5 de diepte van een van de putten. Figuur I.6 toont alle samples van de survey en het rooster uit 2017. Het rekenrooster is in 2019 (j19) lokaal aangepast voor putten en eilanden bij Marker Wadden op basis van recentere informatie. Er is in het rekenrooster nog geen rekening gehouden met de volgende fasen van Marker Wadden omdat daarover nog geen concrete gegevens bekend zijn.

Voor 4) Markermeerdijken is men druk bezig met de aanlegstrategie en MER (contactpersoon Ben Castricum (Markermeerdijken/Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier)). Er waren nog geen definitieve ontwerpen beschikbaar tijdens het maken van de rekenroosters.

Voor 5) IJburg 2 is verschillende informatie aangeleverd. Deze informatie is tijdens het maken van de rekenroosters meegenomen (zie uitvergroting linksonder in figuur 3.2). Let op dat de bouw van IJburg 2 nog in volle gang is.

Het verdient de aanbeveling dat gegevens van belangrijke lopende en toekomstige ontwikkelingen in het gebied tijdig gebundeld en aangeleverd worden bij RWS-CIV. Zowel in 2018 en 2019 was dit niet zo waardoor aanvullend werk nodig was.



Figuur 3.2 Rekenrooster Markermeer, IJmeer, Gooimeer, Eemmeer en Eem voor nieuwe 6^e generatie modelschematisatie met lokaties ontwikkelingen in oranje omlijnd. Linksonder contouren van IJburg 2. Rechtsonder ontwerp eerste fase Marker Wadden zoals dat nu wordt aangelegd.

3.2 Randvoorwaarden en meetgegevens

3.2.1 Deelmodel Markermeer

Er wordt op zes verschillende stations waterstanden gemeten in dit deelgebied (Figuur 3.3): Houtrib-Zuid, Krabbersgat-Zuid, Edam, Schellingwoude, Hollandse Brug en Nijkerk-West. Daarnaast worden er rivierafvoeren gemeten langs de Eem, aan de Balladelaan in Amersfoort en bij Eemdijk. Afvoer op het gebied via gemalen en (spui)sluizen vindt op meerdere locaties plaats. De vier (spui)sluizen Houtribspuisluis, Krabbersgatspuisluis, Oranjesluizen en de Nijkerkersluis zorgen voor het grootste debiet in het Markermeer gebied. De debieten door deze sluizen worden door de beheerders berekend op basis van gemeten waterstanden en een afvoercoëfficiënt. De beschikbaarheid van gemeten waterstanden (frequentie en herkomst) is gerapporteerd in [2]. Tabellen 3.1 t/m 3.4 vatten dit samen.

Tabel 3.1 Overzicht van meetfrequentie, bronnen en kwaliteit (groen=goed, oranje=ontbrekende gegevens, rood=onbetrouwbaar) van gemeten waterstanden in het Markermeer gebied.

	Oktober 2006	Januari 2007	December 2011	Maart 2013
Nijkerk-West	10 min *	10 min *	10 min *	10 min *
Hollandse Brug	10 min **	10 min **	10 min **	10 min **
Schellingwoude	10 min *	10 min *	10 min *	10 min *
Edam	10 min **	10 min **	10 min **	10 min **
Krabbersgat-Zuid	10 min *	10 min *	10 min *	10 min *
Houtrib-Zuid	10 min *	10 min *	10 min *	10 min *

* Meetgegevens verkregen van Waterbase (Rijkswaterstaat, 2013)

** Meetgegevens ontvangen van Rijkswaterstaat Centrale Informatie Voorziening (RWS CIV)

Tabel 3.2 Overzicht van meetfrequentie, bronnen en kwaliteit (groen=goed, oranje=ontbrekende gegevens, rood=onbetrouwbaar) van gemeten debieten langs de Eem.

	Oktober 2006	Januari 2007	December 2011	Maart 2013
Amersfoort	10 min *	10 min *	10 min *	10 min *
Eemdijk	10 min *	10 min *	10 min *	10 min *

* Meetgegevens ontvangen van Waterschap Vallei & Veluwe

Tabel 3.3 Overzicht van frequentie, bronnen en kwaliteit (groen=goed, oranje=ontbrekende gegevens, rood=onbetrouwbaar) van berekende debieten door de (spui)sluizen in het Markermeer gebied.

	Oktober 2006	Januari 2007	December 2011	Maart 2013
Houtribspuisluis	1 dag *	1 dag *	1 dag *	10 min *
Krabbersgatspuisluis	1 dag *	1 dag *	1 dag *	10 min *
Oranjesluizen	1 dag **	1 dag **	1 dag **	10 min **
Nijkerkerspuisluis	1 dag *	1 dag *	1 dag *	10 min *

* Gegevens ontvangen van Rijkswaterstaat Centrale Informatie Voorziening (RWS CIV)

** Gegevens ontvangen van Rijkswaterstaat West-Nederland Noord (RWS WNN)

Tabel 3.4 Overzicht van frequentie, bronnen en kwaliteit (groen=goed, oranje=ontbrekende gegevens, rood=onbetrouwbaar) van gemeten neerslag.

	Oktober 2006	Januari 2007	December 2011	Maart 2013
Schiphol	1 uur *	1 uur *	1 uur *	1 uur *
Lelystad	1 uur *	1 uur *	1 uur *	1 uur *
Berkhout	1 uur *	1 uur *	1 uur *	1 uur *

* Meetgegevens verkregen van de online database van het KNMI (KNMI, 2013)

3.2.2 Deelmodel Veluwerandmeren

Er wordt op drie verschillende stations waterstanden gemeten in dit deelgebied (Figuur 3.4): Nijkerk-oost, Elburgerbrug en Roggebotsluis-zuid. Het voormalige LMW-station Harderwijk-zuid is opgeheven met het verwijderen van de Hardersluis in 2002. LMW-station Harderwijk-noord was voor het laatst beschikbaar in 2006.

Het gebied (Figuur 3.4) wordt gevoed door diverse beken, waaronder de Hierdensebeek en Schuitenbeek. Daarnaast zijn er diverse gemalen. Gemaal Lovink nabij Hardersluis loost de meeste afvoer op de Veluwerandmeren. Dit gemaal pompt overtollig water uit Flevoland naar het Veluwemeer (en zorgt ervoor dat het fosfaatgehalte beperkt blijft). Nabij dit gemaal wordt door waterschap Zuiderzeeland de waterstand geregistreerd. Via gemaal de Wenden bij de Gelderse Sluis nabij Noordeinde wordt water uit het afwateringskanaal Gelderse Gracht uit polder Oldebroek naar het Drontermeer gepompt. Bij Harderwijk loost RWZI Harderwijk (gezuiverd) afvalwater.

In het winterhalfjaar geldt een streefpeil van NAP -0.30 m op de Veluwerandmeren. Sinds 2003 is in het zomerhalfjaar het streefpeil NAP + 0.05 m. Overtollig water wordt onder vrij verval geloosd bij de sluisen van Roggebot (naar het Vossemeer) en Nijkerk (naar het Eemmeer).

De beschikbare waterstandsmetingen zijn weergegeven in Tabel 3.5. Voor gemaal Lovink zijn uit de metingen uurlijkse waarden afgeleid.

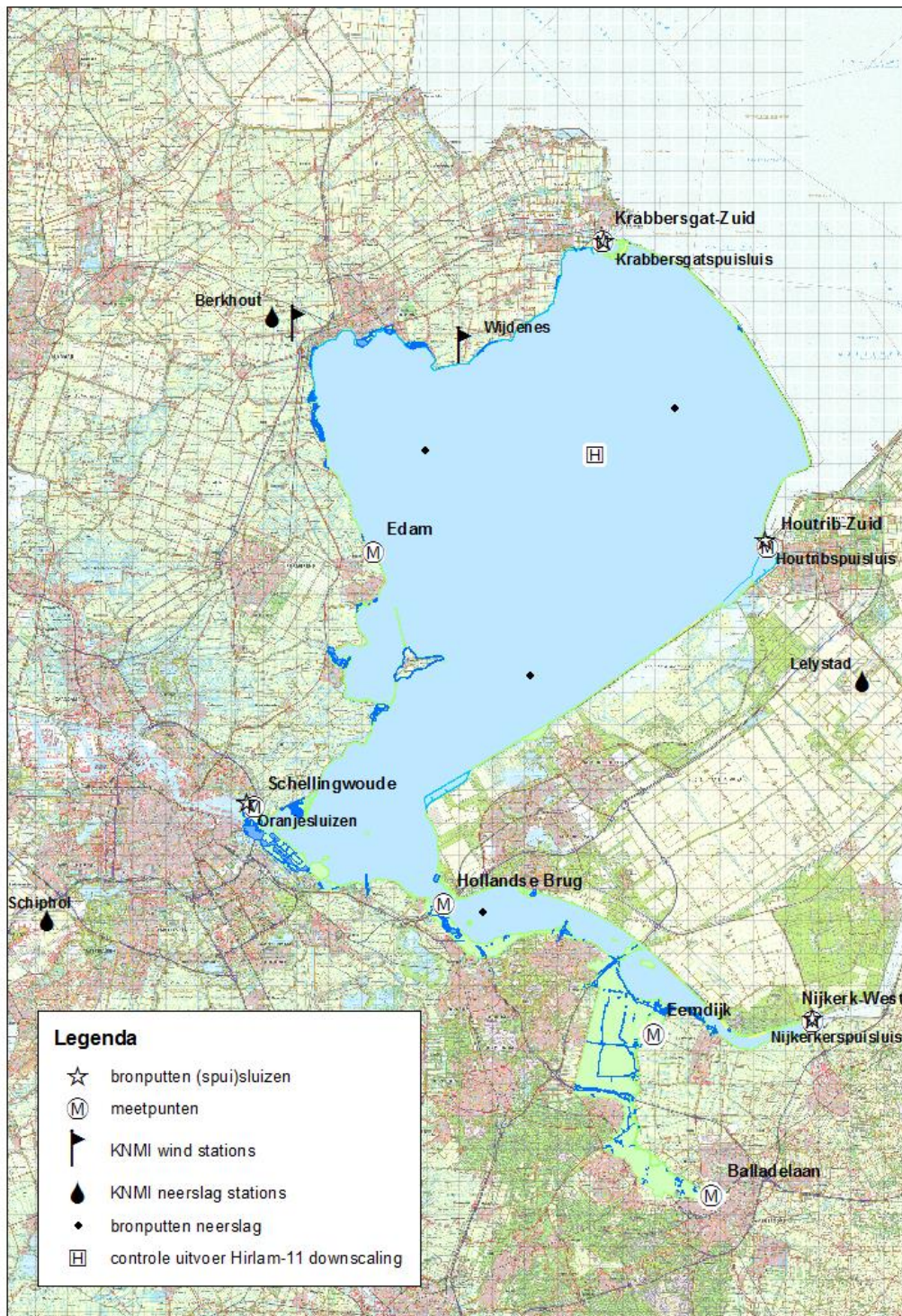
De laterale debieten zijn deels afkomstig van beheerders (gemalen en beken van waterschappen en spuidebieten van RWS CIV) en voor zover niet compleet aangevuld met data uit Balans. Voor de details wordt verwezen naar [3].

Tabel 3.5 Overzicht van meetfrequentie, bronnen (met kleur gemarkeerd) gemeten waterstanden

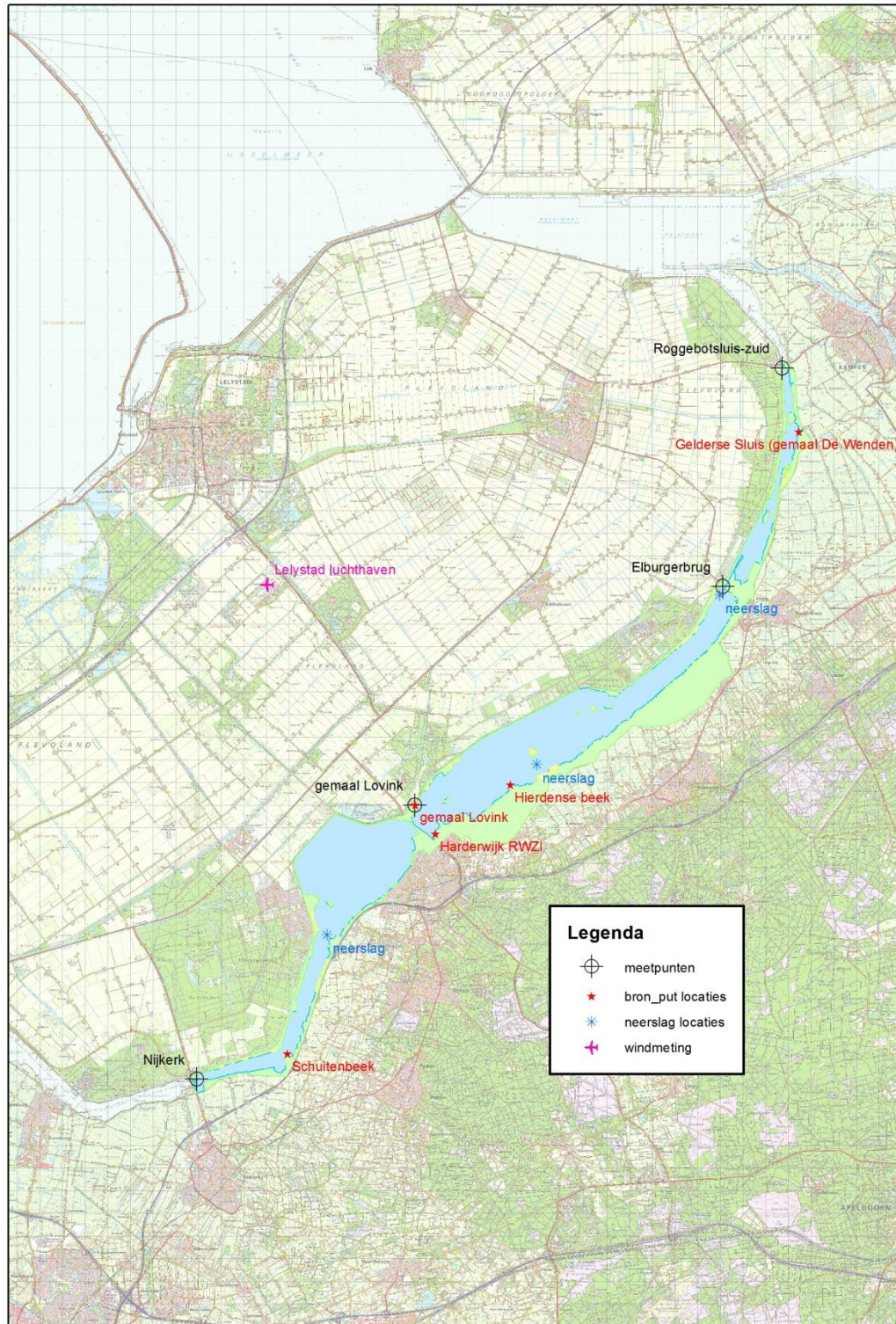
	Januari 2007	December 2011	Oktober 2013	December 2013
Nijkerk-oost	10 minuten	10 minuut	10 minuut	10 minuut
Gemaal Lovink	uur	geen	1-2 minuten*	1-2 minuten*
Elburgerbrug	10 minuut	10 minuut	10 minuut	10 minuut
Roggebotsluis-zuid	10 minuut	10 minuut	10 minuut	10 minuut

Groen: waterschap Zuiderzeeland, blauw:RWS CIV

* De opname frequentie is zeer wisselend



Figuur 3.3 Overzicht van het Markermeer gebied met alle meetpunten, bronputten voor de vier (spui)sluizen en voor de neerslag, locaties van de KNMI meetstations voor neerslag en wind en de locatie waar Hiram-11 downscaling wind ter controle wordt uitgevoerd



Figuur 3.4 Overzicht van de Veluwerandmeren met alle meetpunten, bronputten en locatie waar wind wordt gemeten.

4 Modelbouw

4.1 Inleiding

Aan de hand van beschikbare gegevens over de geometrie (zie sectie 3.1) is eerst een rooster gebouwd (sectie 4.2). Vervolgens zijn ruimtelijke eigenschappen met Baseline op dit rooster geprojecteerd (sectie 4.3). De randvoorwaarden en meetgegevens voor de deelmodellen van Markermeer en Veluwerandmeren (zie sectie 3.2) zijn omgezet naar een voor D-Flow FM geschikt invoerformat (sectie 4.4).

4.2 Rooster

4.2.1 Methodiek

Voor het gehele gebied van deze nieuwe 6^e generatie modelschematisatie wordt één rekenrooster gemaakt. Voor de praktische uitvoering is gekozen om twee aparte rekenroosters te maken – voor Markermeer en Veluwerandmeren – en deze vervolgens ter hoogte van Nijkerkersluis aan elkaar te plakken zodat roostercellen vloeiend in elkaar overlopen.

Voor het genereren van het rekenrooster is in de pilot schematisatie voor het Markermeer een aanpak ontwikkeld (hoofdstuk 11 van [4]). De aanpak is specifiek ontwikkeld voor toepassing op dit gebied met windgedreven stroming. Hiermee kan relatief eenvoudig een rekenrooster gegenereerd worden met voldoende resolutie bij de kust en minder resolutie in het midden van het Markermeer om zo een balans te hebben tussen vereiste nauwkeurigheid en rekentijd. Deze rekenroosters worden opgebouwd binnen RGFGRID uit polygonen waarbinnen de rekencellen worden verdeeld. Deze aanpak is in dit project toegepast en verder verfijnd, onder andere door te bepalen hoe de polygonen het beste gelegd kunnen worden en hoe met voldoende nauwkeurigheid de kunstwerken moeten worden geschematiseerd. Zie voor een beschrijving van de aanpak Bijlage B.

Het rooster is vervolgens “handmatig” georthogonaliseerd: daar waar de orthogonaliteit boven 0.002 zat zijn de roosterpunten verschoven. De reden dat dit met de hand is gedaan is om te voorkomen dat roosterpunten die langs randen liggen verschoven worden door het orthogonalisatie algoritme. Bovendien zijn de orthogonaliteit problemen vaak heel lokaal. De orthogonaliteit van het rooster is uiteindelijk nergens groter dan 0.002.

4.2.2 Roostereigenschappen

Belangrijke aspecten zijn de vereiste resolutie bij kust en het verminderen van het aantal rekencellen met behoud van de nauwkeurigheid, het gebruik van driehoekige rekencellen voor modelleerflexibiliteit (o.a. volgen van onregelmatige kustlijn, dwz. een boundary fitted rekenrooster waarbij maatregelen zoals Marker Wadden een hogere resolutie meekrijgen en er een geleidelijke overgang tussen de roostercellen is van 50 m resolutie bij rand naar 400 m in midden van Markermeer). Deze aanpak en de tussenresultaten zijn kortgesloten met de klankbordgroep meren op 14 juni 2017.

De (deel)rekenroosters van Markermeer en Veluwerandmeren (zie respectievelijk Figuur 4.1 en Figuur 4.4) hebben de volgende kenmerken:

- 50 m resolutie langs de landgrenzen (Figuur 4.1 en Figuur 4.4 – Markermeerdijken, versterking Houtribdijk, Reevesluis en Reevedam zijn nog niet meegenomen, zie ook sectie 3.1, maar kunnen relatief eenvoudig nog achteraf aangepast worden)
- 400 m resolutie in open water van het Markermeer
- 50 m resolutie en uitgelijnd rondom Marker Wadden (Figuur 4.2)
- uitgelijnd langs de vaargeulen (Figuur 4.4 en Figuur B.5 in Bijlage B, dit geldt ook voor rivier de Eem)
- uitgelijnd langs de zeedijk bij de Gouzee (Figuur B.3 in Bijlage B)
- uitgelijnd langs IJburg (Figuur 4.3)
- 25 m resolutie bij de sluizen bij Nijkerk, aan beide zijden zodat het Markermeer deelmodel vloeiend overloopt in het Veluwerandmeren deelmodel (Figuur 4.5)
- 20 m resolutie bij de brug en 5 m resolutie bij het aquaduct van Harderwijk (Figuur 4.6)
- 25 m resolutie in en rondom het hoofd- en nevenkanaal bij Elburg (Figuur 4.7)

Het gehele driehoekige D-Flow FM rekenrooster voor het Markermeer en de Veluwerandmeren bevat 436608 elementen (rekencellen) en 222063 nodes (hoekpunten).

Het driehoekige D-Flow FM deelrekenrooster voor het Markermeer bevat 345634 elementen (rekencellen) en 175582 nodes (hoekpunten).

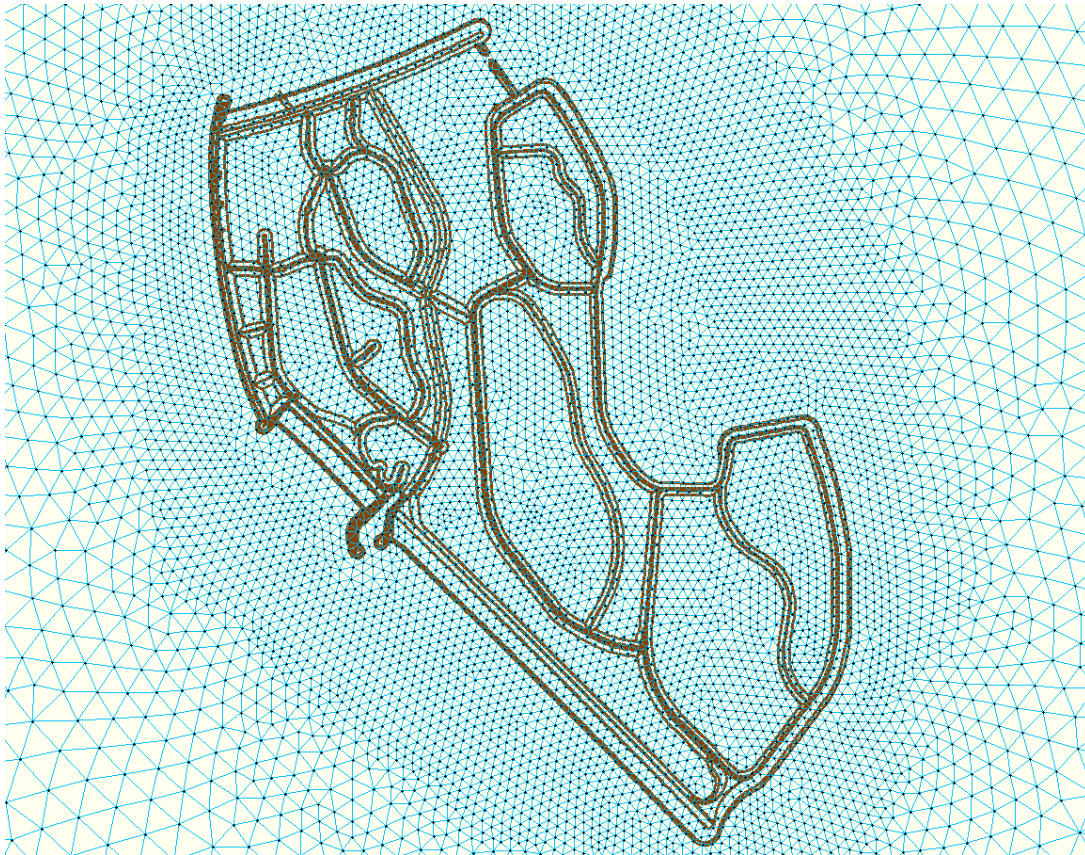
Het driehoekige D-Flow FM deelrekenrooster voor de Veluwerandmeren bevat 90974 elementen (rekencellen) en 46507 nodes (hoekpunten).

Het vorige, curvilineaire 5^e generatie WAQUA rekenrooster voor het Markermeer bevatte 109793 elementen (rekencellen).

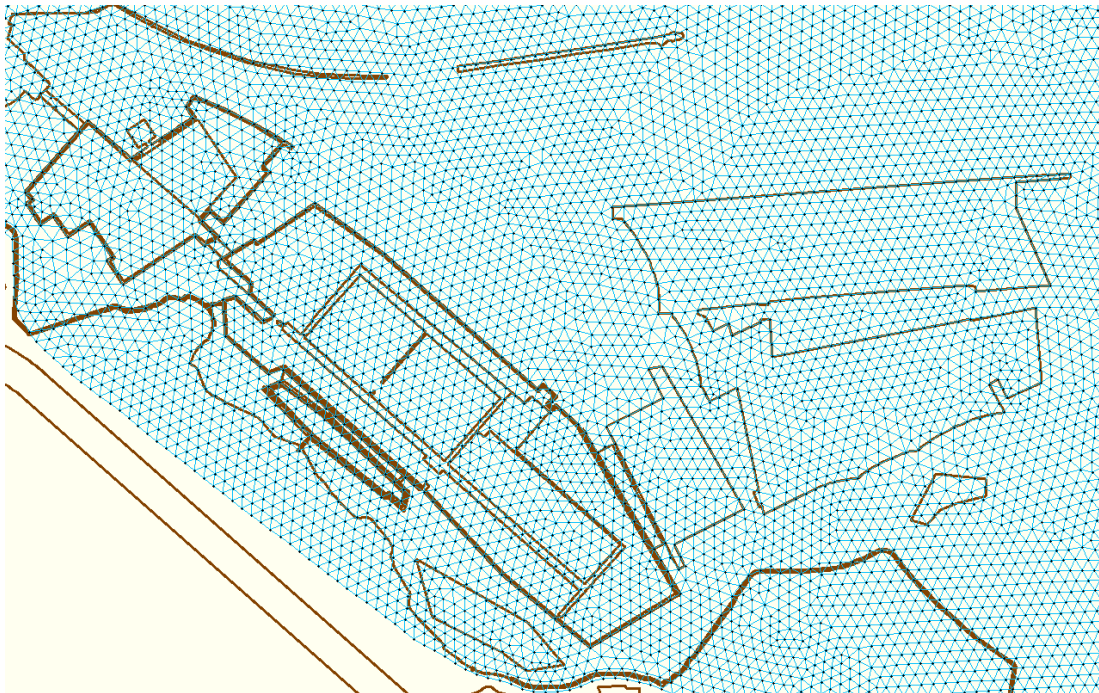
Het vorige, curvilineaire 5^e generatie WAQUA rekenrooster voor de Veluwerandmeren bevatte 64616 elementen (rekencellen).



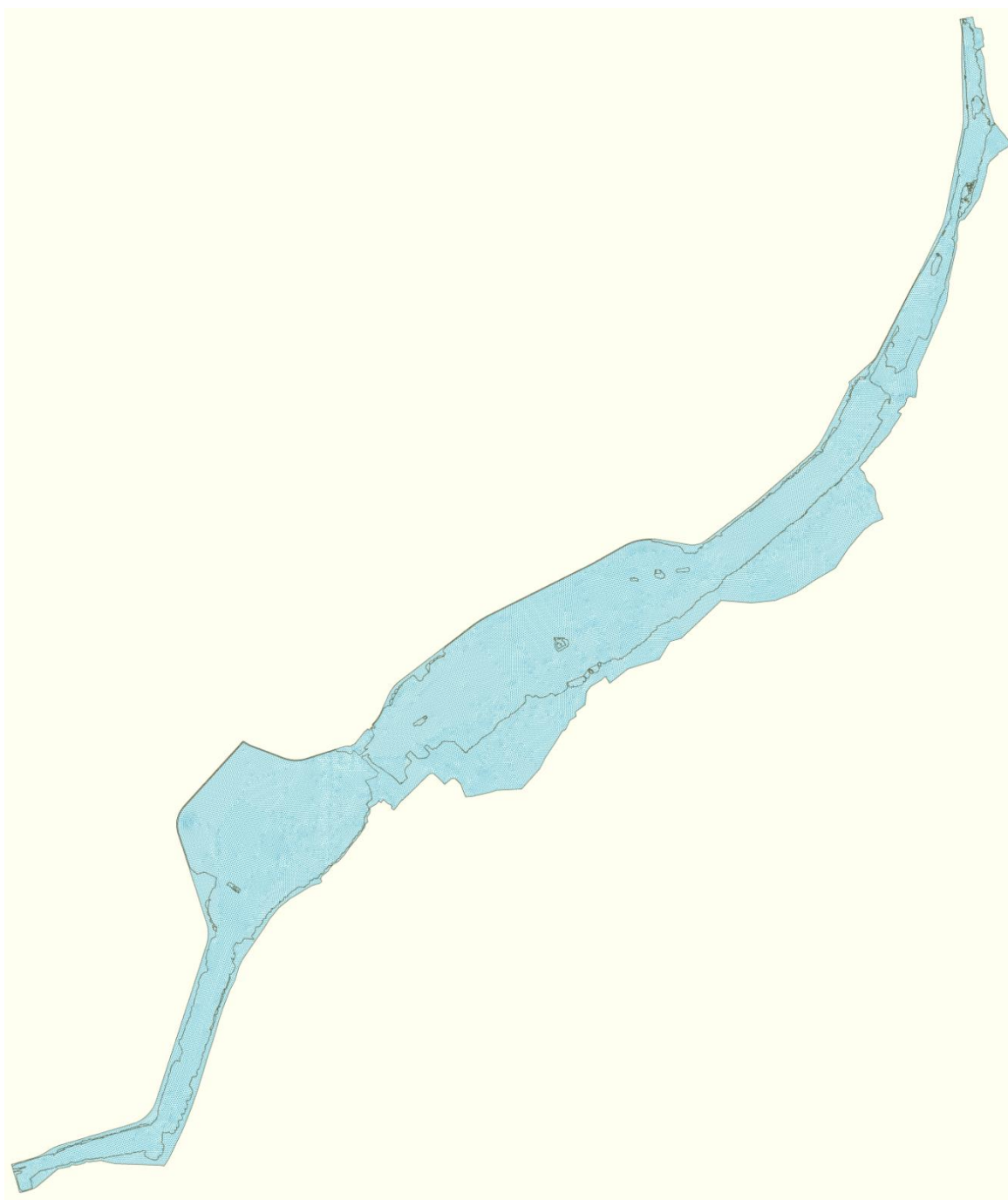
Figuur 4.1 (Deel)rekenrooster Markermeer, IJmeer, Gooimeer, Eemmeer en Eem voor nieuwe 6^e generatie modelschematisatie.



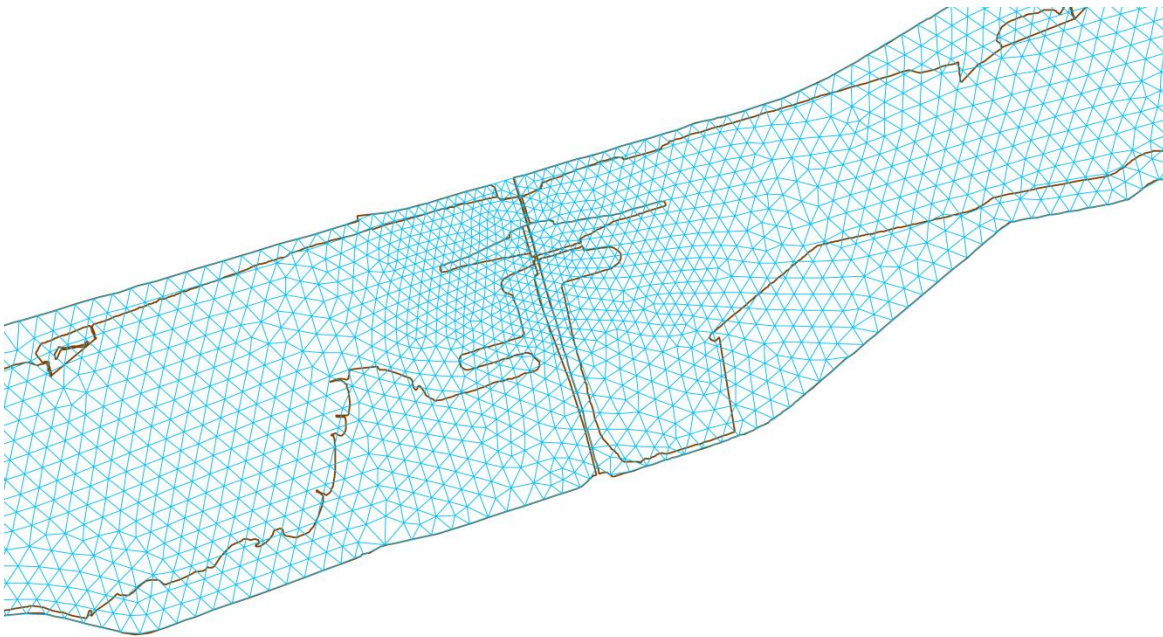
Figuur 4.2 Detail rekenrooster rondom Marker Wadden.



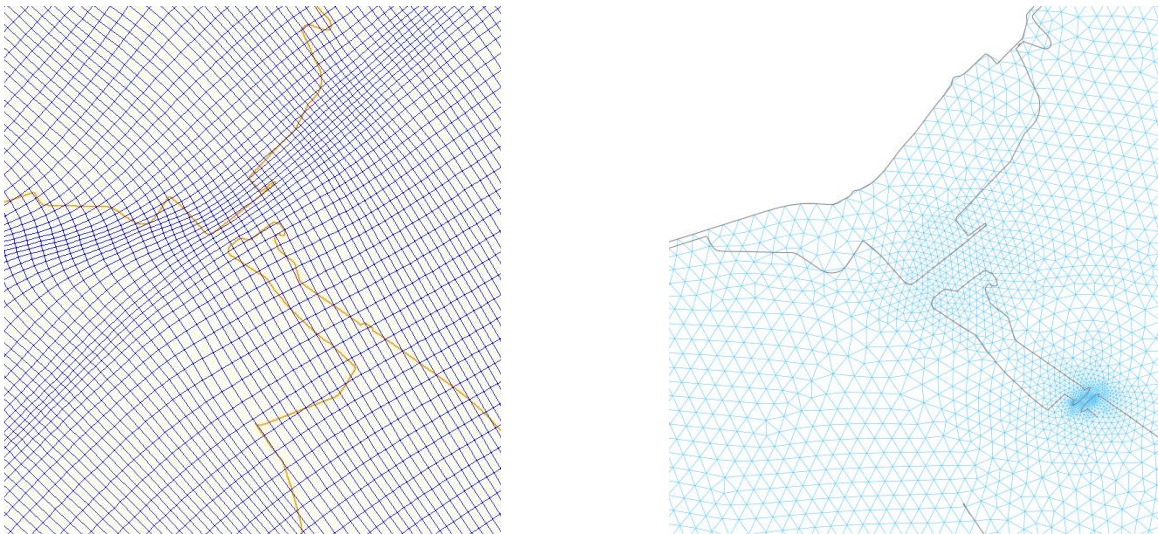
Figuur 4.3 Detail rekenrooster rondom IJburg.



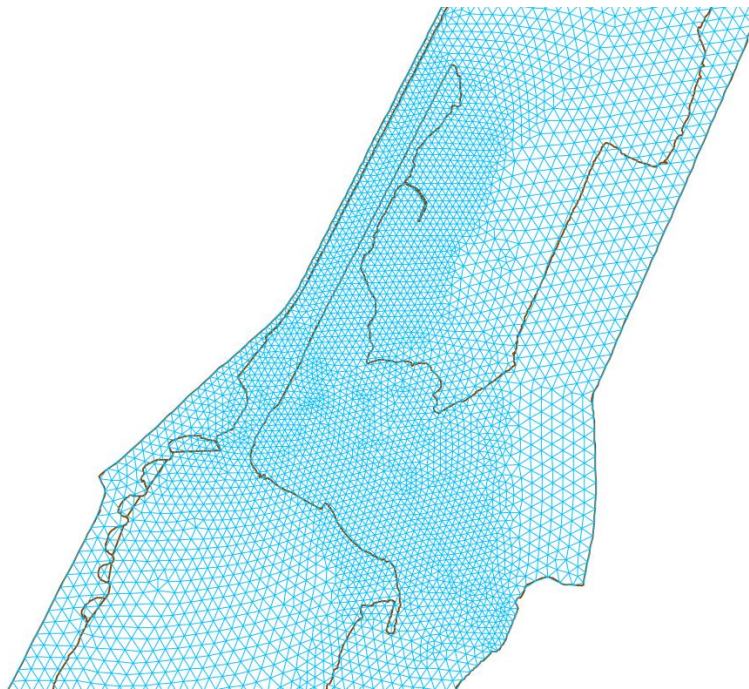
Figuur 4.4 (Deel)rekenrooster Nijkerkernauw, Nuldernauw, Wolderwijd, Veluwemeer en Drontermeer voor nieuwe 6^e generatie modelschematisatie.



Figuur 4.5 Detail rekenrooster bij de sluisen bij Nijkerk, aan beide zijden voor nieuwe 6^e generatie modelschematisatie.



Figuur 4.6 Detail 5^e generatie WAQUA rekenrooster [3] (links) en nieuwe 6^e generatie D-Flow FM rekenrooster (rechts) ter hoogte van brug en aquaduct bij Harderwijk.

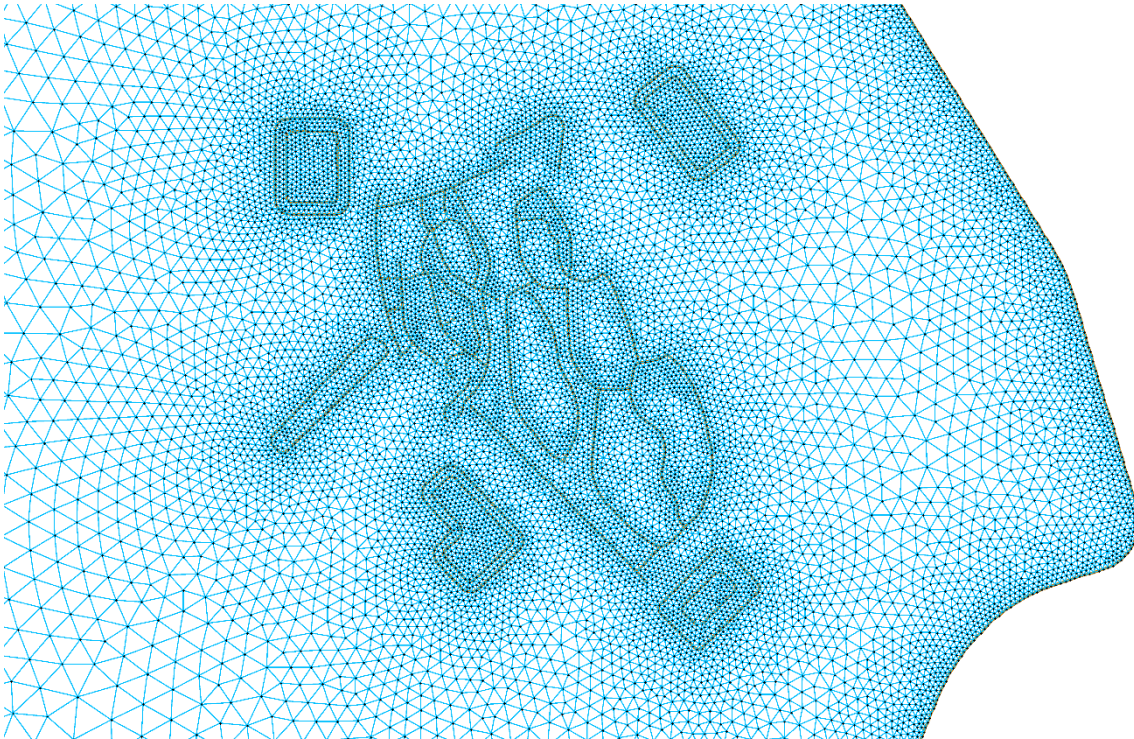


Figuur 4.7 Detail rekenrooster bij Elburg voor nieuwe 6° generatie modelschematisatie.

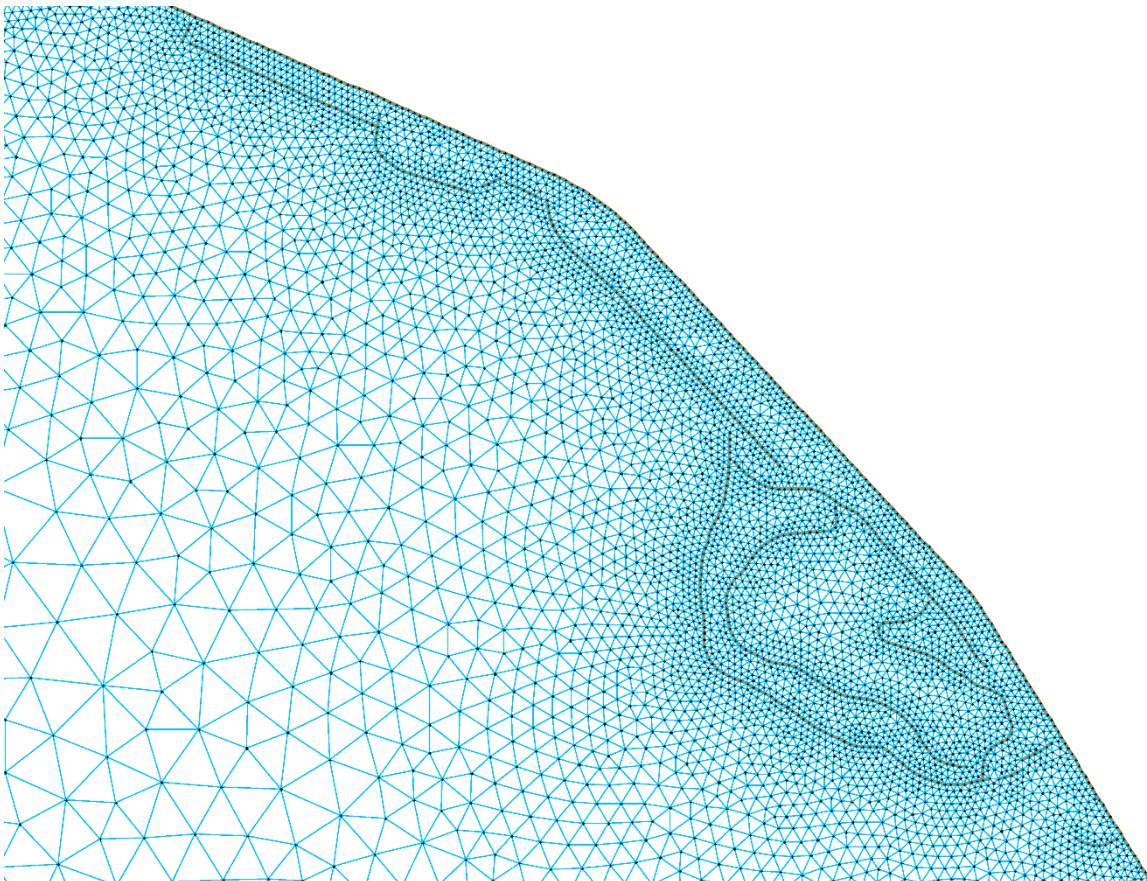
4.2.3 Update in 2019

In de nieuwe gebiedsgegevens die in 2019 beschikbaar zijn gekomen (sectie 3.1.3) zitten drie ontwikkelingen waarvoor het rooster is aangepast: Marker Wadden, de versterking van de Houtribdijk en IJburg. Zie respectievelijk Figuur 4.8, Figuur 4.9 en Figuur 4.10. Na de update bevat het driehoekige D-Flow FM deelrekenrooster voor het Markermeer 425033 elementen (rekencellen) en 216073 nodes (hoekpunten).

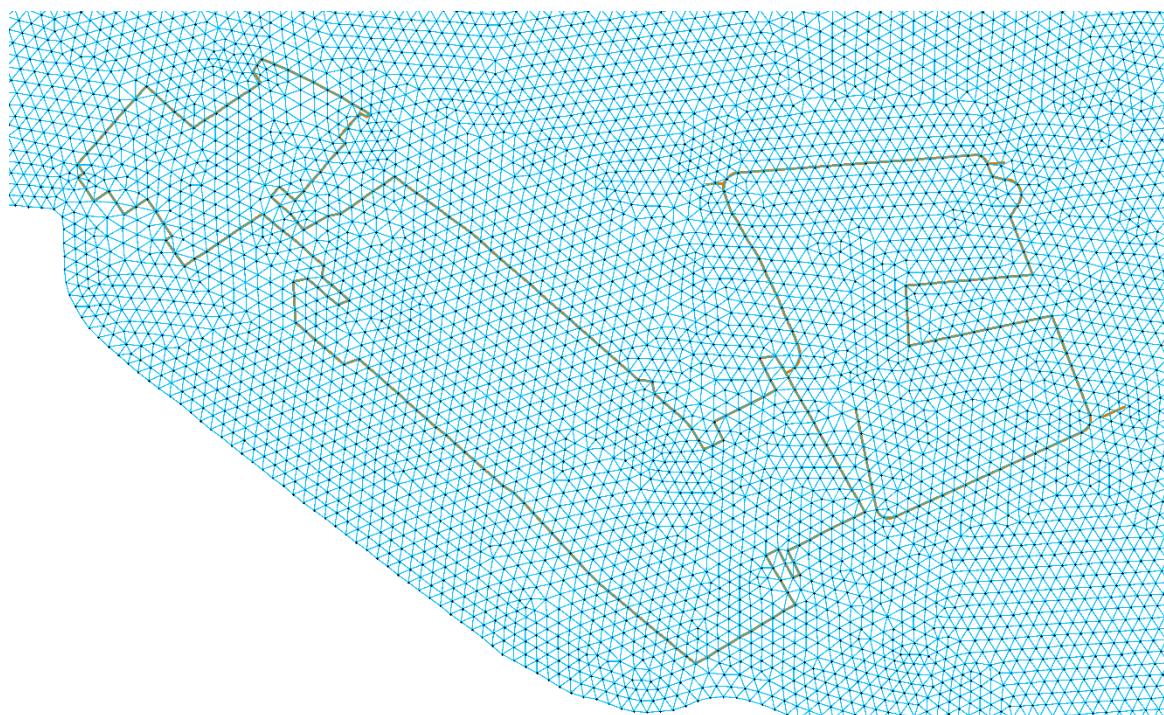
Voor de nieuwe Reevesluis en Reevedam (zie ook sectie 3.1.4) is het rooster van de Veluwerandmeren lokaal aangepast, zie Figuur 4.11. Na de update bevat het D-Flow FM deelrekenrooster voor de Veluwerandmeren (met driehoeken ten zuiden van de Reevedam en curvilineaire cellen ten noorden van de Reevedam) 91291 elementen (rekencellen) en 47506 nodes (hoekpunten).



Figuur 4.8 Detail van update rekenrooster rondom Marker Wadden.



Figuur 4.9 Detail van update rekenrooster bij Houtribdijk.



Figuur 4.10 Detail van update rekenrooster rondom IJburg.



Figuur 4.11 Detail van aanpassing rekenrooster rondom Reevesluis en Reevedam.

4.2.4 Gridconvergentie

Gridconvergentie is in 2016 uitgezocht in de pilot schematisatie voor het Markermeer [4]. In de analyse van D-Flow FM voor de storm rond 5 december 2013 op de Veluwerandmeren (zie Bijlage D) is gebruik gemaakt van verschillende roosters en roosterresoluties.

4.3 Projectie vanuit Baseline

Met Bas2FM v1.1.1 zijn de volgende invoer bestanden aangemaakt:

- fixed-weirs
- observation_points
- dry_areas
- thin_dams
- trachytopes

De diepte punten staan op het NetCDF bestand. De diepte is met Bas2FM opgelegd op de hoekpunten van de driehoekige roosterzellen.

Voor Markermeer zijn vier Baseline schematisaties gebruikt:

- 1) markermeer-j10_5-v1 (zie sectie 3.1.1),
- 2) markermeer-j17_5-v1 (zie sectie 3.1.2) en
- 3) markermeer-j18_5-v1 (zie sectie 3.1.2)
- 4) markermeer-j19_5-v1 (zie sectie 0)

Voor Veluwerandmeren zijn twee Baseline schematisaties gebruikt:

- 1) veluwerandmeren-j10_5-v1 (zie sectie 3.1.1), en
- 2) veluwerandmeren-j18_5-v1 (zie sectie 3.1.3).

Resultaten van de validatie verricht in 2017 voor 1) worden gerapporteerd in sectie 5.3.

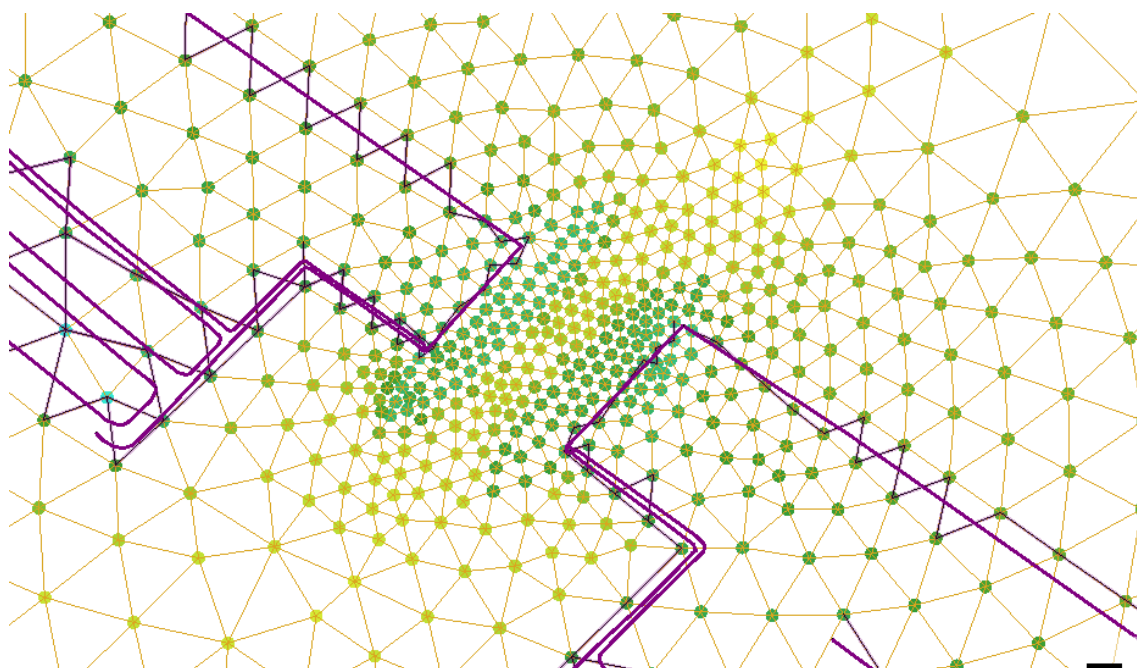
2) voor Markermeer en 3) betreffen de update in 2018, resultaten van de verificatie hiervoor worden afzonderlijk gerapporteerd in sectie 5.4.

2) voor Veluwerandmeren en 4) betreffende de update in 2019, resultaten van de verificatie hiervoor worden afzonderlijk gerapporteerd in secties 5.5, 5.6 en 5.7.

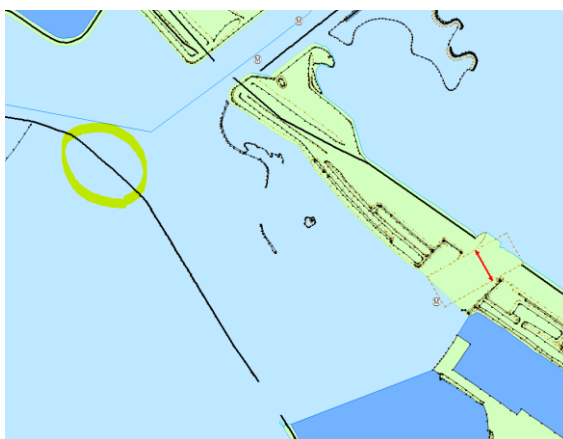
Fixed weirs

Het fixed-weirs bestand is gemaakt op basis van hoogteverschillijnen, kades, en kribben.

- In het oorspronkelijke model met een lokale resolutie van 50 m bij het aquaduct wordt het debiet door het aquaduct aanzienlijk overschat. De uiteindelijke versie van het model bevat een lokale resolutie van 5 m (zie Figuur 4.12) bij het aquaduct; desondanks is het nodig de bodem ter plekke aan te passen ($z = -3.3$). Dit blijkt over het algemeen geen stringente consequentie te hebben voor de rekentijdstep.
- In 2007 was de opening in de leidam ten zuiden van de brug in de Knardijk nog gesloten, de scheepvaartgeul voor de beroepsvaart moest nog worden gegraven. In deze opening is handmatig (in D-Flow FM) een extra overlaat geplaatst met hoogtes die aansluiten op de resterende dam voor de j07 berekening (zie Figuur 4.13) (dit is het enige verschil tussen j07 en j10 model voor Veluwerandmeren).



Figuur 4.12 Uiteindelijke versie van model met lokaal 5 m resolutie bij het aquaduct van Harderwijk met diepte punten en aan weerszijden van de opening handmatig (in D-Flow FM) aangebrachte fixed weirs (paarse lijnen aan weerszijden van de opening).



Figuur 4.13 Detail Harderwijk van Baseline schematisatie veluwerandmeren_j07_5-v1. Zuidelijk van de brug is de opening in leidam nog dicht (gele cirkel).

Kunstwerken

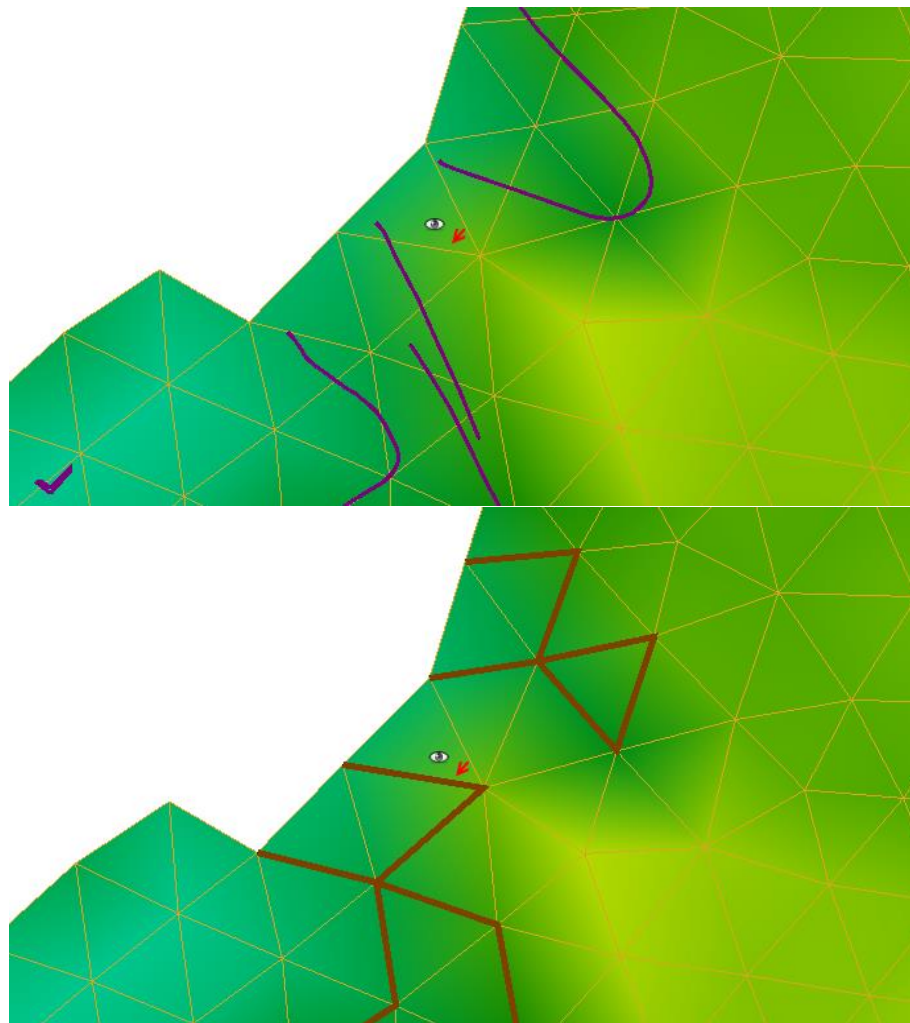
- Voor de testsimulaties zijn Markermeer en Veluwerandmeren als afzonderlijke systemen gerund, hiervoor is gebruik gemaakt van een rekenroosterbegrenzing ('enclosure'). Het debiet door de Nijkerkerspuisluis is als laterale bron geschematiseerd voor beide meren. Ter plekke van de Nijkerkerspuisluis is nu handmatig een enkelvoudige overlaat toegevoegd, zonder feedback control (met feedback control krijg je een dynamische koppeling tussen de twee deelmodellen). De breedte is op 80 m gezet, de hoogte op een willekeurig hoge waarde: NAP + 100 m. Voor toekomstig gebruik is het de bedoeling dat deze 2 meren als 1 (gekoppeld) systeem worden gerund. Daarvoor moeten dan de beheerregels van deze sluis worden ingebouwd (de feedback control).
- Het aquaduct is in wezen geen kunstwerk. In WAQUA was deze als kunstwerk geschematiseerd, omdat het rooster te grof was. In D-Flow FM met een lokale resolutie van 5 m bij het aquaduct is dat niet nodig. Zodoende kon de oorspronkelijke Baseline schematisatie voor j10 (veluwerandmeren_j10_5-v1) worden gebruikt, zonder de aanpassingen die specifiek voor WAQUA waren gedaan (maatregel aquaduct, bodemhoogte aan weerszijde van de barrier). Zie Figuur 4.14.



Figuur 4.14 Detail Harderwijk van originele Baseline schematisatie veluwerandmeren_j10_5-v1 zoals gebruikt voor uiteindelijke D-Flow FM model met lokale 5 m resolutie bij het aquaduct (links) en specifiek aangepaste Baseline schematisatie veluwerandmeren_j10_5-v1_edit voor 5^e generatie WAQUA model (rechts)

Observatiepunten

De locaties van de observatiepunten voor gemaal Lovink respectievelijk Nijkerk-west zijn handmatig 1 gridcel verschoven. Door grid snapping worden voor deze twee gemalen bij de automatische afbeelding vanuit Baseline op het nieuwe rooster de overlaten geplaatst voor het observatiepunt waardoor waterstanden niet vergelijkbaar met die van WAQUA zouden zijn, zie Figuur 4.15.



Figuur 4.15 Detail bij gemaal Lovink met overlagen volgens Baseline (boven) en hoe ze automatisch op het rekenrooster geprojecteerd worden (onder). Het oog symbool is de locatie van het observatiepunt, het rode pijltje geeft de laterale discharge aan.

4.4 Randvoorwaarden

4.4.1 Lateralen

De bestanden met laterale bronnen zijn direct omgezet uit het overeenkomstige WAQUA model. Sommige bestanden met bronnen uit WAQUA beslaan niet de volledige simulatie periode. Omdat D-Flow FM deze bronnen niet automatisch aanvult, is een handmatige aanpassing in de tijdserie nodig. De reeks is aangevuld met de laatst beschikbare waarde, zoals WAQUA dat zelf doet. Voor de preciese reeksen die zijn opgelegd wordt verwezen naar de rapportages van de 5^e generatiemodellen ([2] en [3]).

4.4.2 Meteorologie

Er zijn simulaties gedaan met zowel uniforme wind als ruimtelijk variërende wind. De uniforme wind bestanden voor Veluwerandmeren zijn overgenomen uit de eerdere WAQUA berekeningen van [3]. Dit zijn metingen van station Lelystad luchthaven. De uniforme windbestanden voor Markermeer zijn opnieuw aangemaakt. Hiervoor is de *potentiele wind* voor station Wijdenes van de KNMI site gehaald. Vervolgens is met een openwatertransformatie een *openwater wind* bepaald (dit is de gebruikelijke aanpak voor het IJsselmeer en het Markermeer en is beschreven in [7]).

De ruimtelijk variërende wind voor Veluwerandmeren en Markermeer – Hirlam met downscaling - kon niet worden overgenomen uit eerdere WAQUA projecten (SDS formaat) i.v.m. het gewenste NetCDF formaat voor D-Flow FM van de bestanden en het coördinatenstelsel toegepast in het hydrodynamisch model (D-Flow FM heeft nog geen mogelijkheid voor interne transformatie van latitude/longitude naar Rijksdriehoeken (RD), WAQUA wel). De windvelden zijn opnieuw uit de Matroos database (Multifunctional Access Tool foR Operational Oceandata Services) gehaald als NetCDF bestanden met coördinaten conform Rijksdriehoeken (RD).

Hierna volgt een beknopte beschrijving van de stormen. Dit wordt gedaan aan de hand van de metingen bij de stations Wijdenes resp. Lelystad luchthaven.

Storm 2006, Markermeer

Op 30 oktober 2006 is er een ZZW wind met een snelheid van ongeveer 2 m/s. De windsnelheid neemt geleidelijk toe en ruimt. Op 1 november 2006 is de snelheid toegenomen tot 14 m/s en is de richting NNW. Na de piek in de windsnelheid op 1 november neemt de wind vrij snel af; op 2 november is de snelheid slechts 2 m/s. De windrichting is dan variabel tussen W en NW. Tijdens deze storm treedt er eerst opwaaiing op richting de zuidoostelijke zijde van het meer. Als op 1 november de wind meer noordelijk wordt, is er opwaaiing vanaf het Markermeer richting het IJmeer. Er is dus tijdens deze storm afwaaiing bij Edam en Krabbersgat-Zuid. Bij Hollandse Brug, Houtrib-Zuid, Nijkerk-West en Schellingwoude is er sprake van opwaaiing.

Storm 2007, Markermeer

Op 18 januari 2007 is er een zuidelijke wind met een snelheid van ongeveer 3 m/s. De wind draait dan naar het ZW en de windsnelheid neemt binnen een paar uur toe tot 21 m/s. Na de eerste piek in de windsnelheid zwakt de wind af tot 12 m/s en neemt dan weer toe tot een tweede piek van 21 m/s. De wind draait hierbij naar W. Na de tweede piek in de windsnelheid neemt de wind af tot een snelheid van ongeveer 5 m/s op 19 januari. Er zijn dus twee pieken van 21 m/s in deze storm, een met richting ZW en een met richting W (Figuur 4.12).

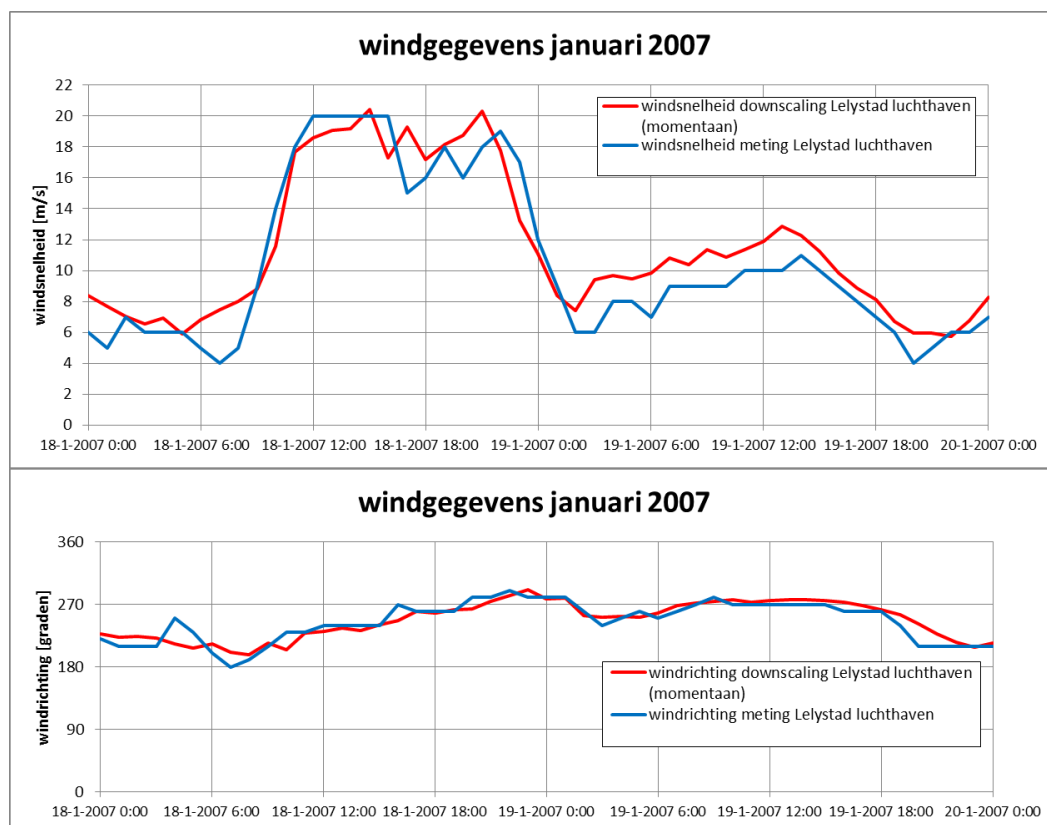
Tijdens deze storm is er opwaaiing van het IJmeer richting het Markermeer. Ook bij Nijkerk-West is er sprake van opwaaiing. Dit zorgt dus voor afwaaiing bij Edam, Hollandse Brug en Schellingwoude. Bij Houtrib-Zuid, Krabbersgat-Zuid en Nijkerk-West is er opwaaiing.

Storm 2007, Veluwerandmeren

Op 18 januari staat er vroeg in de ochtend een matige zuiden wind. Vervolgens neemt deze snel toe (in 5 uur tijd) tot stormachtige conditie (20 m/s). Ondertussen is de windrichting gedraaid naar ZW richting. De stormpiek houdt 4 uur aan. Daarna volgen in de avond nog 2 kleine stormpieken, waarbij de windrichting ruimt naar west. Laat in de avond neemt de wind weer af. Ook op 19 januari is er krachtige wind, maar dan uit westelijke richting. De downscaling voorspelt de windrichting goed, de windsnelheid op 18 januari redelijk qua windkracht; de tijdstippen waarop de pieken optreden komen echter niet overeen. De verschillen in tijdstippen kunnen het gevolg zijn van het vergelijken van uurgemiddelde waarden versus de momentane voorspelling. Op 19 januari wordt de windsnelheid door de downscaling overschat.

Het verloop van de storm is te zien in Figuur 4.16.

Met deze storm zal er tijdens alle stormpieken afwaaiing bij Nijkerk-west optreden en opwaaiing bij Elburgerbrug en Roggebotsluis.



Figuur 4.16 Windsnelheid en windrichting storm januari 2007 bij Lelystad luchthaven, meting (blauw) en gemodelleerd met Hirlam en downscaling (rood) (overgenomen uit rapportage [3]).

Storm 2011, Markermeer

Op 7 december 2011 is er een ZZW wind met een snelheid van ongeveer 5 m/s. Bij Wijdenes neemt de wind (slechts) toe tot 10 m/s, bij station Berkhout is dat meer: 17 m/s. Na deze eerste stormpiek zwakt de wind af naar 4 m/s op 8 december, waarna de wind voor een tweede keer toeneemt tot 18 m/s. Tijdens de tweede stormpiek is de wind gedraaid naar ZZW. Op 10 december is de windsnelheid afgenomen tot 2 m/s. Er zijn tijdens deze stormperiode dus twee verschillende stormpieken, de eerste kleine uit westelijke richting en de tweede van 18 m/s uit ZZW.

Tijdens de eerste stormpiek is er opwaaiing van west naar oost. Er is dus sprake van afwaaiing bij Edam, Hollandse Brug (licht), Krabbersgat-Zuid en Schellingwoude. Bij Houtrib-Zuid en Nijkerk-West is er opwaaiing. Tijdens de tweede stormpiek is er opwaaiing van het IJmeer richting het Markermeer. Er is sprake van afwaaiing bij Hollandse Brug, Nijkerk-West en Schellingwoude. Er is opwaaiing bij Edam (licht), Houtrib-Zuid en Krabbersgat-Zuid.

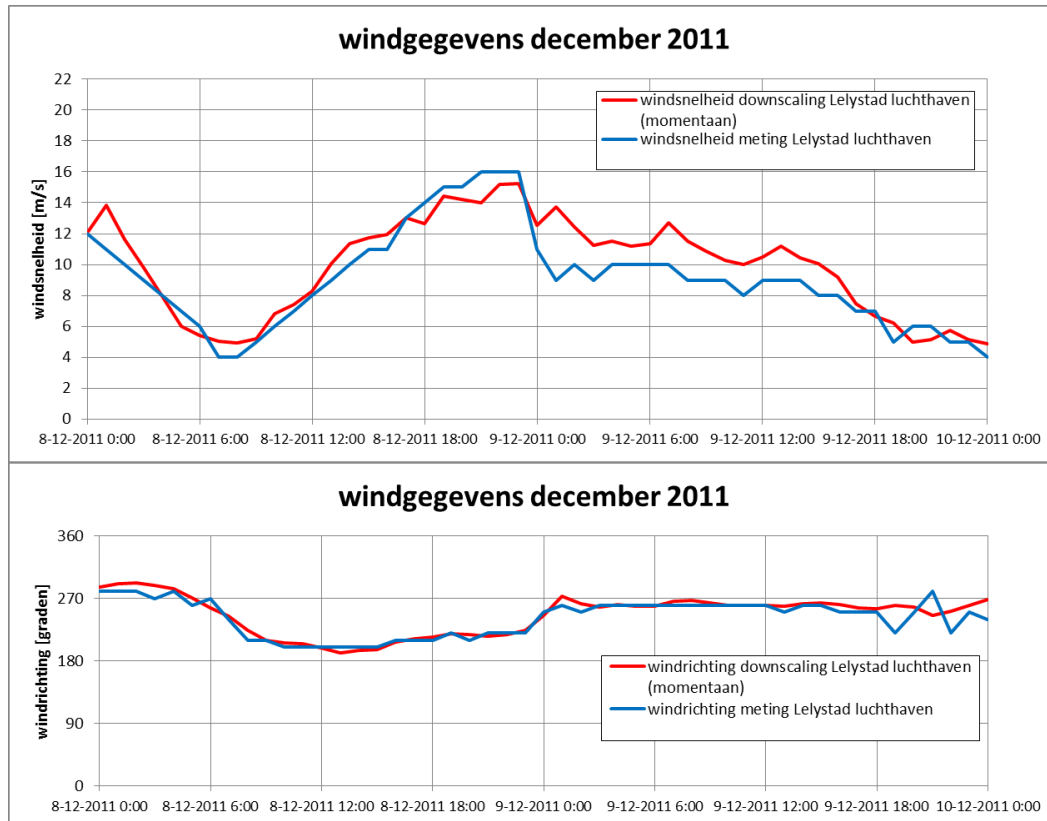
Storm 2011, Veluwerandmeren

Op 8 december neemt de wind geleidelijk toe van matig naar hard (16 m/s). De windrichting is aanvankelijk WZW, krimpt vervolgens naar ZZW en ruimt tijdens de piek naar ZW. De stormpiek duurt maar kort, vervolgens neemt rond middernacht de wind snel af naar 10 m/s. De windrichting is dan westelijk.

De downscaling voorspelt het verloop van de windrichting correct, de stormpiek wordt echter onderschat. Het verloop in de achterflank wordt juist overschat.

Het verloop van de storm is te zien in Figuur 4.17.

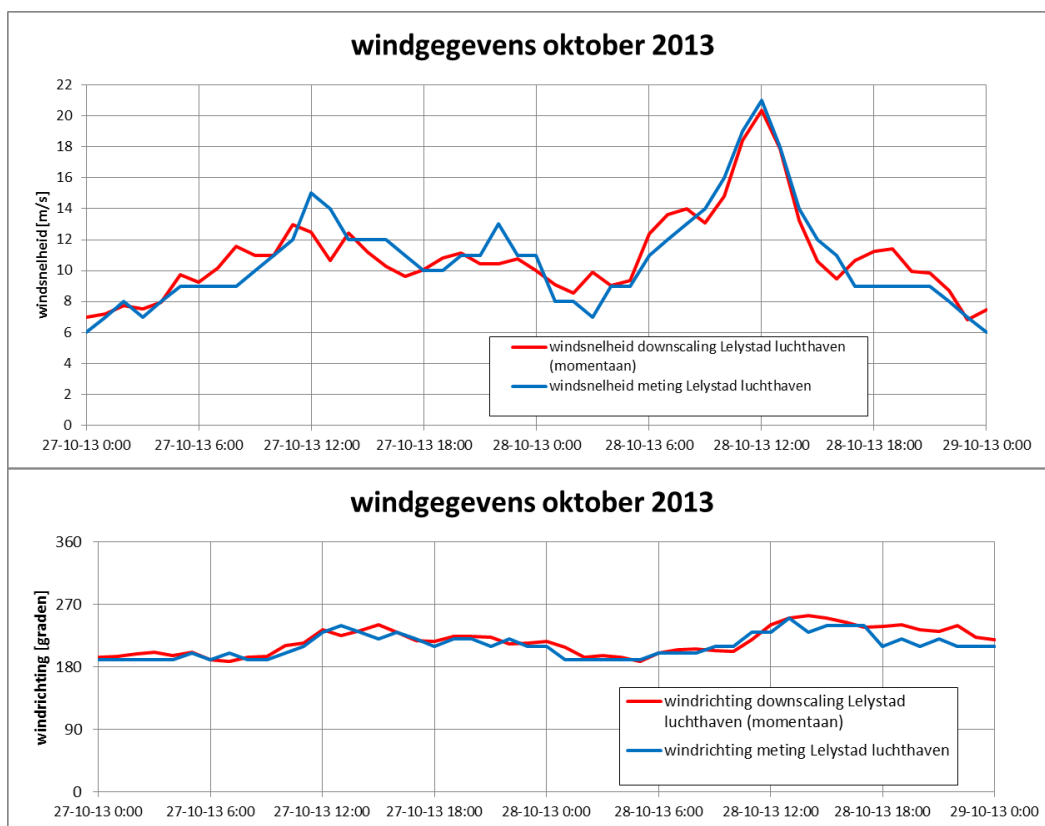
Met deze storm zal er afwaaiing bij Nijkerk-west optreden en opwaaiing bij Elburgerbrug en Roggebotsluis.



Figuur 4.17 Windsnelheid en windrichting storm december 2011 bij Lelystad luchthaven, meting (blauw) en gemodelleerd met Hirlam en downscaling (rood) (overgenomen uit rapportage [3]).

Storm 2013, Veluwerandmeren

Op 27 oktober zijn er 2 kleine ZW stormenpieken, maar de echte storm is op 28 oktober. Dan neemt de wind toe in 9 uur tijd van 7 m/s naar 21 m/s. De windrichting tijdens de voorflank ruikt van zuid naar ZW. De stormpiek is kort, in 5 uur tijd neemt vervolgens de wind af tot 9 m/s, waarbij de windrichting vooral WZW is. De downscaling onderschat de stormpieken, de windrichting is correct. Het verloop van de storm is te zien in Figuur 4.18. Met deze storm zal er afwaaiing bij Nijkerk-west optreden en opwaaiing bij Elburgerbrug en Roggebotsluis.



Figuur 4.18 Windsnelheid en windrichting storm oktober 2013 bij Lelystad luchthaven, meting (blauw) en gemodelleerd met Hirlam en downscaling (rood) (overgenomen uit rapportage [3]).

4.4.3 Initiële condities

Omdat voor D-Flow FM Waqini niet gebruikt kan worden zijn initiële waterstanden met de volgende stappen gegenereerd:

1. Start met een uniforme waterstand van -4 m +NAP.
2. Pas in deze simulatie een constant debiet toe vanuit verschillende locaties om het water niveau uniform te doen laten stijgen over het hele gebied.
3. Stop deze simulatie als de waterstand de beoogde initiële waterstand bereikt, hiervoor zijn dezelfde beoogde waarden gebruikt als WAQUA.
4. Draai enkele dagen zonder enkele input om de waterstand een evenwicht te laten bereiken.
5. Herhaal dit met een kleinere instroom totdat de waterstandsfout gemiddeld 1 tot 2 mm is.

Dit multistap proces is nodig omdat de hoogte van enkele stukken land achter de dijk kleiner is dan de initiële waterstand en het daardoor daar nat lijkt te zijn. Echter, het zal het resultaat niet beïnvloeden zolang er geen overtopping bij de dijk optreedt in een extreme situatie. Tabel 4.1 toont de zo verkregen initiële waterstanden voor elk geval. Deze zijn bij benadering hetzelfde als in de overeenkomstige WAQUA modellen.

Tabel 4.1 Initiële waterstanden voor deelmodellen en stormen.

Storm	Markermeer deelmodel	Veluwerandmeren deelmodel
2013		-0.305 m +NAP
2006	-0.405 m +NAP	
2007	-0.35 m +NAP	
2007		-0.27 m +NAP
2011	-0.39 m +NAP	
2011		-0.25 m +NAP

4.5 Schematisatie kunstwerken

Kunstwerken en belangrijke stroombepalende elementen zijn waar mogelijk door het rooster (roosterlijnen) gevolgd zodat hiermee een goede projectie op het rooster bewerkstelligd wordt, zie ook secties 4.2 en 4.3. De spuiwijken in de Houtribdijk, spuiwerk bij Oranjesluizen en spuiwerk bij Roggebotsluis zijn allen geschematiseerd middels een laterale bron.

4.6 Fysisch-numerieke instellingen

- Bodemruwheid
In de uiteindelijke berekeningen is de parameter UnifFrictType op 2 gezet. In eerdere testberekeningen (zo ook die in Bijlage H), staat die parameter ingesteld op 3. Met de waarde 3 wordt een fout bij de berekening met White-Colebrook in WAQUA ook in D-Flow FM nagebootst.
Verder is roughcombination bestand versie 2015_5-v1 gebruikt. Voor Markermeer en Veluwerandmeren zijn hierin de codes 411 t/m 420 opgenomen, allen met Manningwaarde $0.0263 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ en voor de Eem code 180 met k-Nikuradse waarde 0.05 m . Deze waarden worden gebruikt voor de meerbodem.
- Windschuifspanning
Dezelfde instellingen voor windstresscoefficient zijn gebruikt als in WAQUA (standaard tabellen voor Markermeer, Veluwerandmeren): Cdbreakpoints= 0.00136673, 0.0039
Windspeedbreakpoints= 7.77886 m/s, 50 m/s.
- Viscositeit
Staat voor beide meren op $1 \text{ m}^2/\text{s}$ zoals ook in de WAQUA modellen.
- Dichtheid
 $\text{Rhoair} = 1.2265 \text{ kg}/\text{m}^3$, $\text{Rhomean} = 1000 \text{ kg}/\text{m}^3$, $g = 9.813 \text{ m}/\text{s}^2$.
- Parameter voor overlagen
Methode Villemonte is toegepast, zoals bij alle KPP hydrodynamica projecten. De parameter *Silldepthmin* is op 0 gezet. Dat is de minimum drempel diepte die D-Flow FM gebruikt voor de berekening. De default waarde is 0.5 m (t.b.v. stabiliteit bij overstromen van de kruin), dan zouden echter veel van de overlagen niet beschouwd worden.
- Parameter "hu0" voor effect diepte in windformulering
Voor de Veluwerandmeren bleken in 2017 opvallende afwijkingen op te treden in D-Flow FM. Deze zijn verder geanalyseerd in Bijlage D en een aanvullende studie [22]. Op basis van de bevindingen in [22] is -om een gedeelte van deze afwijkingen op te lossen- een parameter in D-Flow FM ingebouwd die het effect van de diepte in de windformulering anders doorvertaalt. Dit is van belang voor windgedreven stroming door smalle geulen, zoals de vaargeul in de Veluwerandmeren.

De diepte in de snelheidspunten die in de windschuifspanning gebruikt wordt, is in Delft3D-FLOW/WAQUA de upwind H_u ("hu based"). Deze bestaat uit een upwind/centrale waterstand met een lokale bodemhoogte die een gemiddelde is van de diepte in de 2 hoekpunten van het wandje. In D-Flow FM wordt de diepte in de snelheidspunten die hiervoor standaard gebruikt wordt ("zws based"), gewogen tussen de 2 omliggende celdieptes (links en rechts van het wandje). Deze celdieptes zijn voor de default instellingen in D-Flow FM bepaald uit de maximale bodemdiepte van de 4 omliggende snelheidspunten, die zelf dan weer het gemiddelde zijn van de 2 dieptes in de 2 hoekpunten van het betreffende wandje. Doordat er een max-operator op de diepte zit (maximale diepte dus minimale bodemhoogte) is de waarde bij D-Flow FM die in de windschuifspanning gebruikt wordt, altijd groter of gelijk aan die van Delft3D-FLOW/WAQUA. Voor variabele bodem en vooral op kleine diepte, kan het relatieve verschil aanzienlijk zijn.

Zowel voor Markermeer als Veluwerandmeren wordt deze parameter expliciet op de volgende waarde gezet:

Windhuorzwsbased = 0 # Wind hu or zws based , 0 = hu, 1 = zws

In deze rapportage worden echter ook resultaten met Windhuorzwsbased = 1 getoond om het effect te laten zien. In het vervolg wordt met "hu0" bedoeld D-Flow FM met Windhuorzwsbased = 0 en met "hu1" D-Flow FM met Windhuorzwsbased = 1.

5 Kalibratie en validatie

5.1 Kalibratiemethodiek

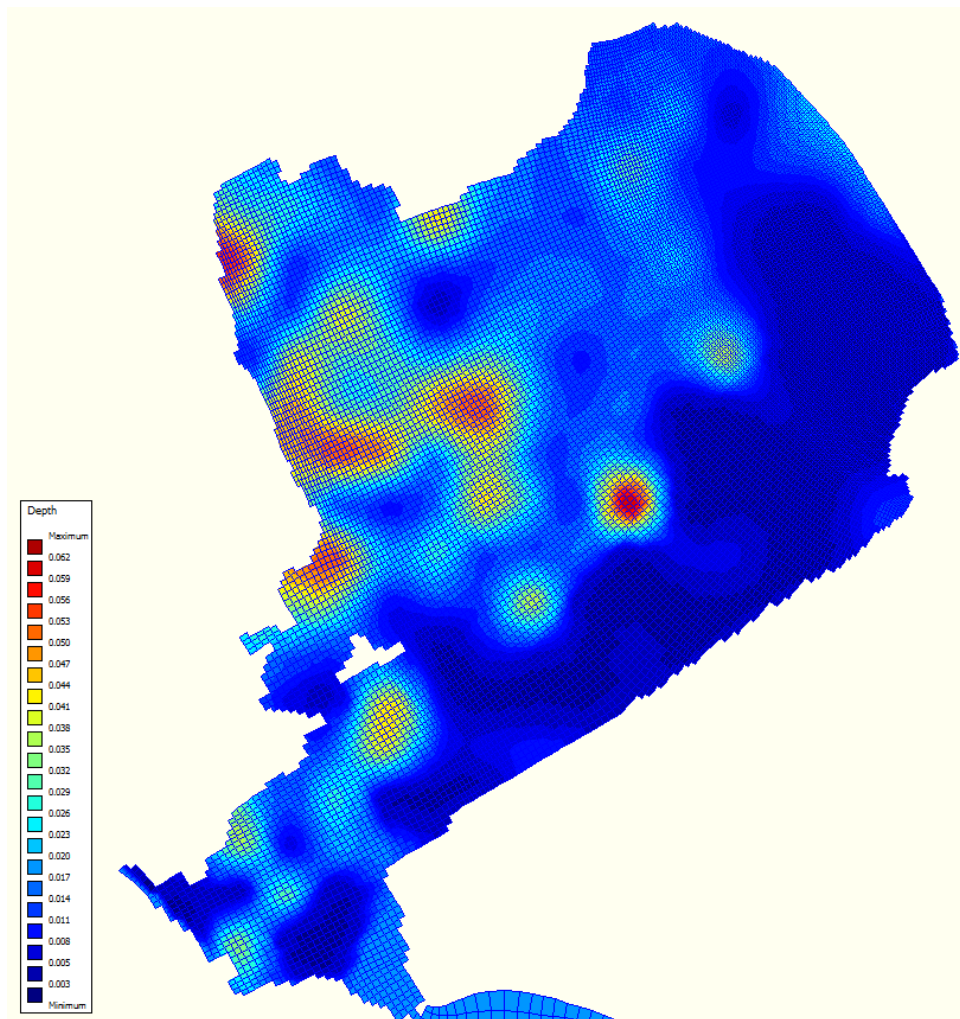
Bij het maken van eerdere modelschematisaties voor Markermeer en Veluwerandmeren is niet eerder echt sprake geweest van kalibratie. Daarom is in dit project met inbreng van verschillende experts nagegaan wat een goede te volgen kalibratiestrategie zou zijn. Daarbij is eerst ingegaan op wat bij eerdere schematisaties van dit gebied op dit vlak gedaan is (sectie 5.1.1). Vervolgens is nagegaan of een pragmatische aanpak in dit project haalbaar was (sectie 5.1.2). Daar bleken verschillende inhoudelijke argumenten te zijn die om verdere verdieping/overweging vragen. Ook bleek dat in het bijzonder voor de Veluwerandmeren aanvullend onderzoek nodig was (zie Bijlage D). Daarom zijn in dit project wel alle beoogde stormperiodes gedraaid met de oude 5^e generatie WAQUA en de nieuwe 6^e generatie D-Flow FM modellen van dit gebied maar is er geen kalibratie uitgevoerd. Hierbij zijn voor de nieuwe 6^e generatie D-Flow FM modellen de instellingen (o.a. bodemruwheden) zo goed als mogelijk overgenomen van de 5^e generatie dieptegemiddelde WAQUA modellen.

5.1.1 Aanpak in eerdere modelschematisaties voor dit gebied

Belangrijkste aandrijvende kracht in dit gebied is de wind. In de twee 5^e generatie modelschematisaties [2] en [3] is gebruik gemaakt van ruimtelijk variërende windvelden verkregen door downscaling vanuit HIRLAM. Voor de windschuifspanningscoëfficiënt is hiervoor gebruik gemaakt van een trapvormig profiel zoals dat gebruikt wordt sinds [7].

Behalve voor de Eem is voor de bodemruwheid een constante waarde van $0.0263 \text{ m}^{1/3\text{s}^{-1}}$ (Manning) gebruikt met verwijzing naar [9]. In [9] wordt hiervoor weer verwezen naar [7] (IJsselmeer). Voor de Eem is een Nikuradse bodemruwheid van 0.05 m gebruikt met verwijzing naar [10] (Markermeer). Er is niet aangegeven waarom deze keuzen indertijd zijn gemaakt. Voor meer aanvullende informatie hierover zie Bijlage E.

Het Markermeer slibmodel gebruikt voor de waterbeweging een ruimtelijk variërende bodemruwheid die gebaseerd is op schelpenkaarten van het Markermeer [11]: de Nikuradse bodemruwheid varieert tussen 0.003 m (geen schelpen) en 0.07 m (schelpen) (zie Figuur 5.1).



Figuur 5.1 Ruimtelijk variërende bodemruwheid gebaseerd op schelpenkaarten zoals gebruikt in het slibmodel.

In [10] worden gevoeligheidsberekeningen gedaan voor windschuifspanningscoëfficiënt, initiële waterstand, bodemruwheid en eddy viscositeit: “De windschuifspanningscoëfficiënt is de belangrijkste ijkfactor in een watersysteem waarin de wind de enige drijvende kracht is.” In de twee 5^e generatie modelschematisaties [2] en [3] voor dit gebied is geen kalibratie uitgevoerd. Er zijn wel gevoeligheidsberekeningen gedaan voor bodemruwheid, eddy viscositeit en tijdstap.

In [12] is voor de windforcering van WAQUA HIRLAM met HARMONIE vergeleken evenals het trapvormig profiel uit [7] met de Charnock formulering (zoals gebruikt voor de Noordzee, dit ten behoeve van de uniformering) voor de windschuifspanningscoëfficiënt. Dit is gedaan voor twee stormen. Er is toen aanbevolen om naar meer stormen te kijken: er kon geen uitsluitel gegeven worden of HARMONIE een verbetering is.

In RWsOS Meren wordt op het ogenblik naast windvelden na downscaling vanuit HIRLAM ook gebruik gemaakt van COSMO [13] voor ensemble berekeningen met WAQUA [14].

Het Markermeer slibmodel gebruikt op het ogenblik een ruimtelijk uniforme tijdreeks voor wind. In het kader van NMIJ (Natuurlijker Markermeer IJmeer) is dit model gevalideerd met metingen van het luwte experiment bij Warder. In de rapportage [11] daarvan wordt aanbevolen de gevoeligheidsanalyse uit te breiden door ook te kijken naar een ruimtelijk variërend windveld omdat verwacht wordt dat dit het hydrodynamische en golven model verbetert.

5.1.2 Pragmatische aanpak

Zowel de windforcering en de bodemruwheid zijn van belang voor de modelopzet. Echter, niet alles kan in een keer uitgezocht/bepaald worden. Zeker ook omdat gebruik gemaakt wordt van nieuwe software en een nieuwe manier van roosters genereren. Bovendien is de wens om dezelfde schematisatie ook te kunnen gebruiken voor meerdere toepassingen (zie sectie 2.4). Daarom is aan verschillende experts de volgende pragmatische aanpak voorgesteld voor de kalibratiestrategie:

- 1) Voor de wind wordt dezelfde aanpak gehanteerd als in de vorige 5^e generatie schematisaties [2] en [3]. Er loopt een traject met het KNMI dat wellicht op langere termijn (na 2017) tot wijzigingen zal kunnen leiden.
- 2) Nagaan in hoeverre de ruimtelijke variërende bodemruwheid van het slibmodel [11] (toepassing 4 uit sectie 2.4) ook bruikbaar is voor toepassing 1. Vraag daarbij is hoe bodemruwheden voor 3 dimensionale modellen omgezet moeten worden voor 2 dimensionale modellen. Dit specifiek voor een meer met windgedreven stroming (met bv. retourstroming en ruimtelijke stromingsdraaiing in de verticaal, dit itt. bv. een afvoergedreven stroming in rivieren waarbij de snelheid in de verticale richting een logaritmisch profiel aanneemt).
- 3) Nagaan wat voor de Veluwerandmeren gebruikt kan worden, zijn er bv. schelpenkaarten aanwezig die op een zelfde manier gebruikt kunnen worden als voor de ruimtelijke variërende bodemruwheid van het slibmodel (zie 2).
- 4) Hoe verder te optimaliseren, bijvoorbeeld door gebruik te maken van een extra shielding faciliteit in D-Flow FM om op basis van de opgelegde (en zoveel mogelijk fysische werkelijke) bodemruwheden toch lokaal (ruimtelijk) te kunnen tunen.

Voor 1) is door experts aangegeven een zo zuiver mogelijke windinput te gebruiken die het meest overeenkomt met de gemeten openwater wind. Daarbij behorend een zo zuiver mogelijk dragcoëfficiënt CD die dan ook consistent gebruikt moet worden in alle modellen in modelketen voor wind, waterbeweging en golven. Dit kan dus niet gebruikt worden voor kalibratie.

Mbt. 2) is door experts het volgende aangegeven. Bodemruwheid is gekoppeld aan de logaritmische grenslaag bij de bodem. Bij de omrekening van een 3D ruwheid (Nikuradse) naar een 2D Chezy coëfficiënt wordt gebruik gemaakt van een aanname over het verticale snelheidsprofiel. Dit is ook gebeurd voor het vegetatiehandboek voor rivieren. In de combinatie met wind en met golven zal het verticale snelheidsprofiel gaan afwijken van logaritmisch, zeker in combinatie met dichtheidsstratificatie ten gevolge van slib. Daardoor verliezen alle theoretische afleidingen voor een 2D Chezy coëfficiënt hun geldigheid. Grootste afwijking is dat de bodemschuifspanningsvector bij de bodem op basis van de snelheden bij de bodem, niet overeenkomt met de bodemschuifspanningsvector op basis van de dieptegemiddelde snelheden (in een diepe oceaan is dat de Ekman-spiraal). Voor een ondiep meer (wind over gesloten bak) ontstaan er op basis van de continuïteitsvergelijking 1 of 2 circulatiecellen. Ook deze stroming is 3D met een andere stroomrichting aan het oppervlak (richting wind en in ondiepe delen) dan aan de bodem (tegenstroming op basis van continuïteit). Geadviseerd is daarom voor de 6^e generatie modellen over te stappen op 3D rekenen: "Ga niet een 2D model kalibreren op waterstanden op basis van bodemruwheid, maar maak het model 3D en stop er meer fysica in."

Voor 3) is door een expert een overzicht gemaakt van beschikbaar materiaal (bijlage F). Ook is de vraag of het effect van de bijna het hele jaar aanwezige waterplanten in de Veluwerandmeren moet worden meegenomen in de modellering.

5.1.3 Goodness-of-fit criteria

In bijlage G is de modelprestatie (goodness-of-fit) beschreven. De hier gebruikte parameters voor de modelprestatie zijn *bias* “B”, *root mean square error* “RMSE”, *standaardafwijking* “stdv” en *verschil in maxima* gedurende storm piek van 2 uur “dmax13” (of *verschil in minima gedurende stormpiek* “dmin13”, afhankelijk van of er bij het betreffende observatiestation sprake is van een maximum of minimum wordt dmax13 of dmin13 vermeld in de tabel). Hierbij staat 13 voor het aantal punten dat meegenomen is bij het bepalen van het verschil in de maxima (minima): de 6 meetpunten om de 10 minuten voor de piek, het meetpunt bij de piek zelf en de 6 meetpunten daarna. Doorgaans wordt voor deze laatste parameter als criterium gesteld dat deze maximaal 20 cm mag zijn. Voor RMSE zijn geen criteria, dat is alleen zinvol als de relatieve RMSE wordt berekend.

5.2 Stormperiod(en)

In onderstaande tabellen is aangegeven welke simulatieperiodes zijn gebruikt. De te kiezen periodes hangen samen met de eerder verzamelde data voor de WAQUA modellen. Alhoewel deels dezelfde stormen zijn gesimuleerd voor beide meersystemen, is de preciese periode voor Markermeer respectievelijk Veluwerandmeren niet dezelfde. Voor de Veluwerandmeren is steeds slechts 2 dagen gesimuleerd om de waterbalans op orde te kunnen houden. Voor Markermeer is doorgaans een ruimere simulatieperiode aangehouden. In de tabellen is aangegeven wat de maximale windsnelheid tijdens de storm was en hoe de windrichting globaal tijdens de storm verliep. Voor de berekeningen met uniforme wind is voor Markermeer daarvoor de meting bij Wijdenes gebruikt, voor Veluwerandmeren de meting bij Lelystad luchthaven (zie ook sectie 4.4.2).

Tabel 5.1 Simulatieperiodes voor Markermeer.

Meetlocatie	begin	einde	maximale windsnelheid	windrichting
Wijdenes				
oktober 2006	27-10-2006 00:00	03-11-2006 00:00	14 m/s	NNW
januari 2007	16-01-2007 00:00	20-01-2007 00:00	20 m/s	Z → W
december 2011	04-12-2011 00:00	11-12-2011 00:00	18 m/s	Z → W

Tabel 5.2 Simulatieperiodes voor Veluwerandmeren.

meetlocatie	begin	einde	maximale windsnelheid	windrichting
Lelystad				
januari 2007	18-01-2007 00:00	20-01-2007 00:00	20 m/s	WZW → W
december 2011	08-12-2011 00:00	10-12-2011 00:00	16 m/s	ZW
december 2013	05-12-2013 00:00	07-12-2013 00:00	17 m/s	ZW → NW

De stormen 2007 en 2011 zijn doorgerekend met het uiteindelijke deelmodel met het gecombineerde rooster voor Markermeer en Veluwerandmeren (hierbij zijn de deelmodellen wel apart gerund). Voor storm 2006 voor Markermeer is het rooster met alleen Markermeer gebruikt, voor storm 2013 Veluwerandmeren is het rooster met alleen Veluwerandmeren gebruikt.

5.3 Resultaten validatie voor j10 modellen

Zoals in Sectie 5.1.2 aangegeven heeft er in 2017 geen kalibratie plaatsgevonden maar alleen een validatie. Hier wordt het verloop van de waterstand voor de beide modellen D-Flow FM en WAQUA, respectievelijk WAQUA j10 en D-Flow FM j10 voor Markermeer en WAQUA j10 en D-Flow FM j10 voor Veluwerandmeren kort beschreven. Dit aan de hand van de resultaten gepresenteerd in Bijlage C.

Men moet zich realiseren dat de modellen geforceerd worden door uurlijkse windvelden (storm 2007 zelfs 3 uurlijkse velden). Hierdoor zijn kortstondige fluctuaties die zichtbaar zijn in de metingen uiteraard niet te simuleren.

5.3.1 Markermeer 2006, uniforme wind

(Figuren C.1 t/m C.6 en Tabel C.1 (= Tabel 5.3 hieronder) in sectie C.1.1 van Bijlage C)

Voor alle stations m.u.v. Nijkerk-west zijn de resultaten van WAQUA en D-Flow FM onderling vergelijkbaar. Opwaaiing bij Hollandsebrug is redelijk, bij Houtrib-zuid te weinig. Bij Nijkerk wordt de opwaaiing door WAQUA overschat (orde 10 cm), door D-Flow FM iets minder.

Tabel 5.3 Modelprestatie voor storm oktober 2006 met uniforme wind.

Station	D-Flow FM j10 - observaties					WAQUA j10 - observaties				
	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13
Edam	0.004	0.027	0.026		0.039	0.005	0.027	0.026		0.041
Hollandse Brug	0.008	0.025	0.024		*	0.011	0.025	0.023		*
Houtrib-Zuid	-0.015	0.035	0.031		-0.042	-0.014	0.034	0.031		-0.039
Krabbersgat-Zuid	-0.005	0.036	0.035	0.042		-0.004	0.036	0.035	0.036	
Nijkerk-West	0.015	0.039	0.036		*	0.025	0.047	0.040		*
Schellingwoude	-0.011	0.039	0.038		0.055	-0.011	0.040	0.038		0.053
Mean stations	-0.001	0.033	0.032			0.002	0.035	0.032		
RMS stations	0.011	0.034	0.032			0.014	0.036	0.033		

* Onvoldoende metingen rondom piek.

5.3.2 Markermeer 2007, uniforme wind

(Figuren C.7 t/m C.12 en Tabel C.2 (= Tabel 5.4 hieronder) in sectie C.2.1 van Bijlage C)

Voor alle stations m.u.v. Nijkerk-west zijn de resultaten van WAQUA en D-Flow FM vergelijkbaar. Er is te weinig opwaaiing bij Houtribzuid, Krabbersgat-zuid en Hollandsebrug. Bij Nijkerk-west is er met WAQUA ruim 10 cm te weinig opwaaiing, met D-Flow FM zelfs bijna 20 cm te weinig.

Tabel 5.4 Modelprestatie voor storm januari 2007 met uniforme wind.

Station	D-Flow FM j10 - observaties					WAQUA j10 - observaties				
	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13
Edam	-0.005	0.052	0.052	-0.085		-0.009	0.053	0.052	-0.087	
Hollandse Brug	0.021	0.073	0.070	-0.045		0.018	0.070	0.068	-0.036	
Houtrib-Zuid	-0.034	0.074	0.066		0.050	-0.039	0.076	0.065		0.047
Krabbersgat-Zuid	-0.035	0.061	0.051		-0.105	-0.042	0.065	0.050		-0.114
Nijkerk-West	-0.004	0.064	0.064		-0.156	0.011	0.065	0.064		-0.081
Schellingwoude	-0.017	0.118	0.117	-0.008		-0.022	0.119	0.117	-0.002	
Mean_stations	-0.012	0.074	0.070			-0.014	0.075	0.069		
RMS_stations	0.023	0.077	0.073			0.027	0.078	0.073		

5.3.3 Markermeer 2007, ruimtelijk variërende wind

(Figuren C.13 t/m C.18 en Tabel C.3 (= Tabel 5.5 hieronder) in sectie C.2.2 van Bijlage C)

Voor station Nijkerk-west is met WAQUA een onderschatting van 35 cm in de opwaaiing, met D-Flow FM is de onderschatting nog meer, ca. 43 cm. Ook bij Krabbersgat geven beide modellen een onderschatting van de opwaaiing. Bij Houtrib-zuid is er moeilijk een oordeel te vormen: er is een buistoot opgetreden (te zien aan snelle waterstandsfluctuatie).

Tabel 5.5 Modelprestatie voor storm januari 2007 met ruimtelijk variërende wind.

Station	D-Flow FM j10 - observaties					WAQUA j10 - observaties				
	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13
Edam	0.010	0.080	0.080	0.120		0.003	0.080	0.080	0.122	
Hollandse Brug	0.016	0.095	0.093	0.100		0.009	0.089	0.089	0.078	
Houtrib-Zuid	-0.027	0.083	0.078		-0.094	-0.027	0.079	0.074		-0.082
Krabbersgat-Zuid	-0.027	0.077	0.072		-0.222	-0.032	0.076	0.070		-0.210
Nijkerk-West	-0.047	0.097	0.085		-0.338	-0.033	0.079	0.072		-0.260
Schellingwoude	0.001	0.135	0.135	0.275		-0.008	0.131	0.131	0.247	
Mean_stations	-0.012	0.094	0.091			-0.015	0.089	0.086		
RMS_stations	0.026	0.096	0.093			0.022	0.091	0.089		

5.3.4 Markermeer 2011, uniforme wind

(Figuren C.19 t/m C.24 en Tabel C.4 (= Tabel 5.6 hieronder) in sectie C.3.1 van Bijlage D)

Bij Houtrib-zuid wordt de eerste opwaaiingspiek door beide modellen ernstig onderschat, de 2^e piek lijkt redelijk (moeilijk in te schatten door de slingeren ter plekke). De opwaaiing bij Krabbersgat-zuid wordt door beide modellen redelijk goed gesimuleerd. Bij Nijkerk-west is er eerst opwaaiing die door beide modellen wordt onderschat, D-Flow FM nog wat meer dan WAQUA. De afwaaiing die later volgt wordt door WAQUA redelijk berekend, D-Flow FM berekent teveel opwaaiing.

Tabel 5.6 Modelprestatie voor storm december 2011 met uniforme wind.

Station	D-Flow FM j10 - observaties					WAQUA j10 - observaties				
	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13
Edam	0.010	0.036	0.035		-0.005	0.011	0.036	0.034		-0.001
Hollandse Brug	-0.000	0.032	0.032	-0.181		0.002	0.031	0.031	-0.174	
Houtrib-Zuid	-0.021	0.048	0.043		-0.051	-0.020	0.048	0.043		-0.054
Krabbersgat-Zuid	-0.021	0.037	0.031		0.083	-0.021	0.037	0.031		0.082
Nijkerk-West	0.027	0.055	0.049	0.008		0.042	0.065	0.049	0.042	
Schellingwoude	0.026	0.057	0.051	-0.149		0.027	0.056	0.049	-0.125	
Mean_stations	0.003	0.044	0.040			0.007	0.046	0.040		
RMS_stations	0.020	0.045	0.041			0.024	0.047	0.040		

- 5.3.5 Markermeer 2011, ruimtelijk variërende wind (Figuren C.25 t/m C.30 en Tabel C.5 (= Tabel 5.7 hieronder) in sectie C.3.2 van Bijlage C)
 Er is een lichte onderschatting van de 1^{ste} opwaaiingspiek bij Houtrib-zuid, en een lichte overschatting tijdens de 2^e opwaaiingspiek. Bij Krabbersgat-zuid begint de opwaaiing tijdens de 2^e te snel en wordt vervolgens licht overschat. Bij Nijkerk-west geeft WAQUA teveel opwaaiing, vervolgens redelijke afwaaiing, D-Flow FM wat minder opwaaiing, en uiteindelijk en teveel afwaaiing.

Tabel 5.7 Modelprestatie voor storm december 2011 met ruimtelijk variërende wind.

Station	D-Flow FM j10 - observaties					WAQUA j10 - observaties				
	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13
Edam	-0.020	0.037	0.031		0.006	-0.020	0.036	0.030		0.013
Hollandse Brug	-0.016	0.034	0.030	-0.149		-0.013	0.034	0.031	-0.142	
Houtrib-Zuid	0.028	0.048	0.039		0.004	0.029	0.049	0.039		0.019
Krabbersgat-Zuid	-0.001	0.043	0.043		0.114	-0.001	0.042	0.042		0.111
Nijkerk-West	0.004	0.050	0.050	-0.072		0.020	0.057	0.053	-0.045	
Schellingwoude	0.005	0.048	0.048	-0.090		0.006	0.049	0.049	-0.080	
Mean_stations	0.000	0.043	0.040			0.004	0.044	0.041		
RMS_stations	0.016	0.044	0.041			0.018	0.045	0.042		

- 5.3.6 Veluwerandmeren 2007, uniforme wind (Figuren C.31 t/m C.34 en Tabel C.6 (= Tabel 5.8 hieronder) in sectie C.4.1 van Bijlage C)
 De opwaaiing bij Elburgerbrug en Roggebotsluis wordt onderschat, met D-Flow FM structureel meer dan met WAQUA. Vergelijkbare waarnemingen kunnen gedaan worden voor Nijkerkersluis. Weer treden hier opvallende afwijkingen op tussen D-Flow FM en WAQUA (zoals ook gezien voor de storm van december 2013).
 De meting bij gemaal Lovink wordt door zowel D-Flow FM als WAQUA redelijk benaderd, er is daar weinig verschil tussen WAQUA en D-Flow FM.

Tabel 5.8 Modelprestatie voor storm januari 2007 met uniforme wind.

Station	D-Flow FM j10 – observaties					WAQUA j10 - observaties				
	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13
Nijkerkersluis	0.045	0.071	0.055	0.143		0.021	0.043	0.037	0.061	
Elburgerbrug	0.014	0.048	0.046		-0.103	0.032	0.049	0.038		-0.047
Roggebotsluis	0.015	0.061	0.060		-0.138	0.046	0.067	0.048		-0.054
gemaal Lovink	-0.018	0.032	0.027	*		-0.020	0.036	0.030	*	
Mean_stations	0.014	0.053	0.047			0.020	0.049	0.038		
RMS_stations	0.026	0.055	0.048			0.032	0.050	0.039		

* Onvoldoende metingen rondom piek.

5.3.7 Veluwerandmeren 2007 ruimtelijk variërende wind

(Figuren C.35 t/m C.38 en Tabel C.7 (= Tabel 5.9 hieronder) in sectie C.4.2 van Bijlage C)

De waterstandsmeting bij gemaal Lovink wordt iets slechter gevolgd dan met de uniforme wind. De opwaaiing bij Elburgerbrug wordt door WAQUA onderschat en door D-Flow FM nog meer. Hetzelfde geldt voor Roggebotsluis. Door de forcering met 3 uren windvelden is er duidelijk minder dynamiek, wat vooral zichtbaar is bij Nijkerk-west. Weer treden hier opvallende afwijkingen op tussen D-Flow FM en WAQUA.

Tabel 5.9 Modelprestatie voor storm januari 2007 met ruimtelijk variërende wind.

Station	D-Flow FM j10 - observaties					WAQUA j10 - observaties				
	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13
Nijkerkersluis	0.035	0.083	0.075	0.223		0.002	0.052	0.052	0.131	
Elburgerbrug	0.031	0.071	0.064		-0.125	0.061	0.078	0.049		-0.058
Roggebotsluis	0.035	0.086	0.079		-0.159	0.080	0.101	0.062		-0.046
gemaal Lovink	-0.017	0.036	0.032	*		-0.024	0.040	0.032	*	
Mean_stations	0.021	0.069	0.062			0.030	0.068	0.049		
RMS_stations	0.031	0.072	0.065			0.052	0.072	0.050		

* Onvoldoende metingen rondom piek.

5.3.8 Veluwerandmeren 2011, uniforme wind

(Figuren C.39 t/m C.41 en Tabel C.8 (= Tabel 5.10 hieronder) in sectie C.5.1 van Bijlage C)

Voor deze storm zijn er geen metingen bij gemaal Lovink.

Bij Elburgerbrug berekent WAQUA de opwaaiing correct, D-Flow FM onderschat deze. Bij Roggebotsluis laat het WAQUA model teveel opwaaiing zien, D-Flow FM niet. Bij Nijkerk is er met WAQUA te weinig afwaaiing, met D-Flow FM nog veel minder.

Tabel 5.10 Modelprestatie voor storm december 2011 met uniforme wind.

Station	D-Flow FM j10 - observaties					WAQUA j10 - observaties				
	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13
Nijkerkersluis	0.014	0.039	0.037	0.101		-0.002	0.030	0.030	0.058	
Elburgerbrug	-0.000	0.030	0.030		-0.039	0.014	0.034	0.031		-0.000
Roggebotsluis	0.027	0.049	0.041		0.017	0.054	0.072	0.046		0.093
Mean_stations	0.014	0.040	0.036			0.022	0.045	0.036		
RMS_stations	0.018	0.040	0.036			0.032	0.049	0.036		

5.3.9 Veluwerandmeren 2011, ruimtelijk variërende wind

(Figuren C.42 t/m C.44 en Tabel C.9 (= Tabel 5.11 hieronder) in sectie C.5.2 van Bijlage C)

Bij Elburgerbrug en Roggebotsluis wordt er veel teveel opwaaiing berekend met WAQUA en ook D-Flow FM. De wind in de Hirlam-downscaling is daar vermoedelijk debet aan, dit is al eerder geconstateerd bij de bouw en validatie van het WAQUA model voor de Veluwerandmeren, zie [3].

Tabel 5.11 Modelprestatie voor storm december 2011 met ruimtelijk variërende wind.

Station	D-Flow FM j10 - observaties					WAQUA j10 - observaties				
	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13
Nijkerkersluis	-0.035	0.054	0.041	-0.012		-0.059	0.076	0.047	-0.079	
Elburgerbrug	0.069	0.092	0.062		0.123	0.089	0.115	0.073		0.183
Roggebotsluis	0.108	0.135	0.082		0.188	0.144	0.176	0.102		0.284
Mean_stations	0.047	0.094	0.062			0.058	0.122	0.074		
RMS_stations	0.077	0.100	0.064			0.103	0.129	0.077		

5.3.10 Veluwerandmeren 2013, uniforme wind

(Figuren C.45 t/m C.48 en Tabel C.10 (= Tabel 5.12 hieronder) in sectie C.6.1 van Bijlage C)

Bij Nijkerkersluis wordt de opwaaiing tijdens de stormpiek redelijk door WAQUA berekend, D-Flow FM onderschat deze (ca. 5 cm). Bij Roggebotsluis wordt de opwaaiing tijdens de stormpiek met WAQUA goed berekend, met D-Flow FM is er een onderschatting (ca. 8 cm). Bij Elburgerbrug geeft WAQUA wat te veel opwaaiing, D-Flow FM te weinig.

Vergelijkbare verschillen tussen D-Flow FM en WAQUA zijn waargenomen op WBI uitvoerlocaties op de Veluwerandmeren voor WBI condities (zie bijlage H).

De opvallende afwijkingen van D-Flow FM zijn separaat onderzocht. Zie voor een samenvatting van deze analyse Bijlage D. Hieruit bleek ondermeer dat de bodemwrijving voor D-Flow FM minstens een factor 10 verkleind moet worden om de uitkomsten enigszins bij die van WAQUA te krijgen.

Tabel 5.12 Modelprestatie voor storm december 2013 met uniforme wind.

Station	D-Flow FM j10 - observaties					WAQUA j10 - observaties				
	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13
Nijkerkersluis	-0.015	0.039	0.037	0.021		-0.027	0.039	0.028	-0.034	
Elburgerbrug	-0.001	0.032	0.032		-0.028	0.013	0.035	0.033		0.017
Roggebotsluis	0.004	0.034	0.034		-0.066	0.020	0.040	0.035		0.000
gemeaal Lovink	-0.044	0.051	0.025	*		-0.046	0.053	0.026	*	
Mean_stations	-0.014	0.039	0.032			-0.010	0.042	0.031		
RMS_stations	0.023	0.040	0.032			0.029	0.042	0.031		

* Onvoldoende metingen rondom piek.

- 5.3.11 Veluwerandmeren 2013 ruimtelijk variërende wind (Figuren C.49 t/m C.52 en Tabel C.11 (= Tabel 5.13 hieronder) in sectie C.6.2 van Bijlage C) Bij Elburgerbrug en Roggebotsluis wordt door WAQUA veel teveel opwaaiing berekend als gevolg van te sterke wind in Hrilam-downscaling. Dit is al eerder geconstateerd bij de bouw en validatie van het WAQUA model voor de Veluwerandmeren, zie [3]. Met D-Flow FM is de overschatting veel minder. De opvallende afwijkingen tussen D-Flow FM en WAQUA zoals gezien bij de uniforme wind blijven echter bestaan.

Tabel 5.13 Modelprestatie voor storm december 2013 met ruimtelijk variërende wind.

Station	D-Flow FM j10 - observaties					WAQUA j10 - observaties				
	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13	B	RMSE	Stdv	dmin13	dmax13
Nijkerkersluis	-0.045	0.060	0.040	-0.051		-0.067	0.081	0.046	-0.142	
Elburgerbrug	0.034	0.055	0.043		0.056	0.059	0.083	0.058		0.139
Roggebotsluis	0.038	0.063	0.051		0.047	0.065	0.098	0.073		0.149
gemeaal Lovink	-0.060	0.063	0.021	*		-0.063	0.067	0.022	*	
Mean_stations	-0.008	0.060	0.039			-0.002	0.082	0.050		
RMS_stations	0.045	0.061	0.040			0.064	0.083	0.053		

* Onvoldoende metingen rondom piek.

5.4 Resultaten verificatie j17 en j18 modellen Markermeer

Omdat zowel Baseline schematisatie markermeer-j17_5-v1 (sectie 3.1.2) als Baseline schematisatie markermeer-j18_5-v1 pas in 2018 beschikbaar kwamen is voor een van stormen door verificatie nagegaan wat de effecten zijn op het Markermeer. Dit ten opzichte van j10 modellen (sectie 3.1.1).

Om deze update in een beperkte inspanning te kunnen uitvoeren is er -in onderling overleg met Rijkswaterstaat- voor gekozen alleen een verificatie voor een van de stormen uit te voeren (en niet een volledige validatie voor alle stormen). Hiervoor is op basis van de veranderingen in de geometrie voor D-Flow FM tussen de drie schematisaties j10, j17 en j18 een storm geselecteerd. De belangrijkste veranderingen zitten zowel rondom de vaargeul in de zuidwest hoek van het Markermeer (observaties b) en c) in sectie 3.1.2) als de locatie van Marker Wadden aan de oostkant tegen de Houtribdijk aan. De storm van 2007 (zie ook Figuur 4.12 in sectie 4.4.2) is hiervoor geselecteerd omdat we denken dat voor deze veranderingen deze storm met een windsnelheid van 20 m/s uit het zuidwesten (dit is vrijwel parallel aan de vaargeul van Amsterdam naar Lelystad) tijdens de stormpiek het meeste de effecten van deze veranderingen zal laten zien.

5.4.1 Markermeer 2007, uniforme wind

(Figuren C.53 t/m C.58 en Tabel C.12 (= Tabel 5.14 hieronder) in sectie C.7.1 van Bijlage C en meer gedetailleerde en verschil Figuren J.1 t/m J12 in sectie J.1 van Bijlage J.)

Aanvullend op de j10 resultaten uit sectie 5.3.2 zijn er nu gedetailleerde en verschil figuren opgenomen in sectie J.1 tussen WAQUA j10, D-Flow FM j10, D-Flow FM j17 en D-Flow FM j18 model. Hieruit blijkt dat, behalve voor Hollandse Brug (Figuur J.4) en Schellingwoude (Figuur J.6), de grootste verschillen optreden tussen WAQUA j10 en D-Flow FM j10. Dit komt door de overgang van WAQUA op D-Flow FM.

Daarna volgen de verschillen tussen D-Flow FM j10 en D-Flow FM j17. De verschillen tussen D-Flow FM j17 en D-Flow FM j18 zijn vrij klein: de putten en eilanden van Marker Wadden hebben weinig effect op waterstanden op de schaal van het Markermeer. Voor Hollandse Brug en Schellingwoude treden wel relatief grote verschillen op tussen D-Flow FM j10 en D-Flow FM j17. Dit is te verklaren door het relatief grote diepte verschil van j10 en j17 van de vaargeul bij Hollandse Brug en die bij Schellingwoude (zie Figuur I.13, Figuur I.14 en Figuur I.16 in sectie I.5 van Bijlage I).

Hoewel de verschillen tussen D-Flow FM j17 en D-Flow FM j18 vrij klein zijn is het wel de aanbeveling om D-Flow FM j18 na te rekenen voor een stormperiode na het gereedkomen van de huidige outline van Marker Wadden in 2016.

Tabel 5.14 Modelprestatie voor storm januari 2007 met uniforme wind voor verschillende diepte van j17 en j18 .

Station	D-Flow FM j17 - observaties					D-Flow FM j18 - observaties				
	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13
Edam	-0.004	0.052	0.052	-0.074		-0.003	0.052	0.052	-0.071	
Hollandse Brug	0.025	0.079	0.075	-0.040		0.025	0.079	0.075	-0.037	
Houtrib-Zuid	-0.036	0.076	0.067		0.041	-0.036	0.076	0.068		0.042
Krabbersgat-Zuid	-0.037	0.064	0.052		-0.114	-0.037	0.063	0.051		-0.112
Nijkerk-West	-0.001	0.063	0.063		-0.136	-0.000	0.063	0.063		-0.134
Schellingwoude	-0.010	0.119	0.118	0.042		-0.010	0.119	0.118	0.045	
Mean_stations	-0.011	0.075	0.071			-0.010	0.075	0.071		
RMS_stations	0.024	0.078	0.075			0.024	0.078	0.075		

5.4.2 Markermeer 2007, ruimtelijk variërende wind

(Figuren C.59 t/m C.64 en Tabel C.13 (= Tabel 5.15 hieronder) in sectie C.7.2 van Bijlage C en meer gedetailleerde en verschil Figuren J.13 t/m J24 in sectie J.2 van Bijlage J.)

Aanvullend op de j10 resultaten uit sectie 5.3.3 zijn er nu gedetailleerde en verschil figuren opgenomen in sectie J.2 tussen WAQUA j10, D-Flow FM j10, D-Flow FM j17 en D-Flow FM j18 model. Hieruit blijkt dat, behalve voor Hollandse Brug (Figuur J.16) en Schellingwoude (Figuur J.18), de grootste verschillen optreden tussen WAQUA j10 en D-Flow FM j10. Dit komt door de overgang van WAQUA op D-Flow FM.

Daarna volgen de verschillen tussen D-Flow FM j10 en D-Flow FM j17. De verschillen tussen D-Flow FM j17 en D-Flow FM j18 zijn vrij klein: de putten en eilanden van Marker Wadden hebben weinig effect op waterstanden op de schaal van het Markermeer. Voor Hollandse Brug en Schellingwoude treden wel relatief grote verschillen op tussen D-Flow FM j10 en D-Flow FM j17. Dit is te verklaren door het relatief grote diepte verschil van j10 en j17 van de vaargeul bij Hollandse Brug en die bij Schellingwoude (zie Figuur I.13, Figuur I.14 en Figuur I.16 in sectie I.5 van Bijlage I).

Hoewel de verschillen tussen D-Flow FM j17 en D-Flow FM j18 vrij klein zijn is het wel de aanbeveling om D-Flow FM j18 na te rekenen voor een stormperiode na het gereedkomen van de huidige outline van Marker Wadden in 2016.

Tabel 5.15 Modelprestatie voor storm januari 2007 met ruimtelijk variërende wind voor verschillende diepte van j17 en j18.

Station	D-Flow FM j17- observaties					D-Flow FM j18 - observaties				
	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13
Edam	0.010	0.081	0.080	0.125		0.011	0.082	0.081	0.128	
Hollandse Brug	0.020	0.098	0.096	0.111		0.020	0.099	0.097	0.114	
Houtrib-Zuid	-0.029	0.085	0.080		-0.102	-0.028	0.085	0.080		-0.099
Krabbersgat-Zuid	-0.030	0.078	0.072		-0.230	-0.029	0.078	0.072		-0.228
Nijkerk-West	-0.044	0.094	0.083		-0.325	-0.043	0.093	0.082		-0.324
Schellingwoude	0.006	0.140	0.139	0.297		0.007	0.140	0.140	0.300	
Mean_stations	-0.011	0.096	0.092			-0.010	0.096	0.092		
RMS_stations	0.026	0.098	0.095			0.026	0.098	0.095		

5.5 Resultaten verificatie j19 model Markermeer

Voor Baseline schematisatie markermeer-j19 is voor een van stormen door verificatie nagegaan wat de effecten zijn op het Markermeer. Dit ten opzichte van het j17 model. Om deze update in een beperkte inspanning te kunnen uitvoeren is er -in onderling overleg met Rijkswaterstaat- voor gekozen alleen een verificatie voor een van de stormen uit te voeren (en niet een volledige validatie voor alle stormen). Hiervoor is op basis van de veranderingen in de geometrie voor D-Flow FM tussen de vier schematisaties j10, j17, j18 en j19 een storm geselecteerd. De belangrijkste veranderingen zitten zowel rondom de vaargeul in de zuidwest hoek van het Markermeer (observaties b) en c) in sectie 3.1.2) als de locatie van Marker Wadden aan de oostkant tegen de Houtribdijk aan. De storm van 2007 (zie ook Figuur 4.12 in sectie 4.4.2) is hiervoor geselecteerd omdat we denken dat voor deze veranderingen deze storm met een windsnelheid van 20 m/s uit het zuidwesten (dit is vrijwel parallel aan de vaargeul van Amsterdam naar Lelystad) tijdens de stormpiek het meeste de effecten van deze veranderingen zal laten zien.

5.5.1 Markermeer 2007, uniforme wind
(Figuren C.73 t/m C.78 en Tabel C.16 in sectie C.10.1 van Bijlage C.)
Uit de figuren vallen geen noemenswaardige verschillen op.

5.5.2 Markermeer 2007, ruimtelijk variërende wind
(Figuren C.79 t/m C.83 en Tabel C.17 in sectie C.10.2 van Bijlage C.)
Uit de figuren vallen geen noemenswaardige verschillen op.

5.6 Resultaten verificatie j10 model Veluwerandmeren

Voor de Veluwerandmeren traden in 2017 opvallende afwijkingen van D-Flow FM op. Deze zijn verder geanalyseerd in Bijlage D en een aanvullende studie [22]. Op basis van de bevindingen in [22] is -om een gedeelte van deze afwijkingen op te lossen- een parameter "hu0" (zie ook sectie 4.6) in D-Flow FM ingebouwd die het effect van de diepte in de windformulering anders doorvertaalt. Dit is van belang voor windgedreven stroming door smalle geulen, zoals de vaargeul in de Veluwerandmeren.

5.6.1 Veluwerandmeren j10 met parameter “hu0” voor D-Flow FM, 2013, uniforme wind (Figuren C.65 t/m C.68 en Tabel C.14 in sectie C.8.1 van Bijlage C)

In deze figuren zijn resultaten voor verschillende D-Flow FM versies getoond. Versie 52638 is ook gebruikt in 2017. Vanaf versie 64973 is de parameter “hu0” ingebouwd. Versie 65541 is de meest recente D-Flow FM versie waarmee de uiteindelijke verificaties verricht zijn. Uit de resultaten is te concluderen dat D-Flow FM versie 64973 (met “hu0”) acceptabelere resultaten geeft voor het j10 model van de Veluwerandmeren. WAQUA lijkt in de meeste gevallen net wat beter in vergelijking met de metingen tijdens de top van de storm. Merk op dat de meetresolutie indirect waarneembaar is in de schoksgewijze verhogingen/verlagingen in de gemeten waterstanden (waarschijnlijk door het gebruik van een stappenbaak).

5.7 Resultaten verificatie j18 model Veluwerandmeren

5.7.1 Veluwerandmeren j18, 2013, uniforme wind

(Figuren C.69 t/m C.72 en Tabel C.15 in sectie C.9.1 van Bijlage C)

In deze figuren zijn resultaten voor de D-Flow FM modellen j10 (D-Flow FM versie 64973 met “hu0”) en j18 (D-Flow FM versie 65541 met “hu0”) voor de Veluwerandmeren getoond in vergelijking met het WAQUA j10 model en observaties. Opvalt is dat j18 het minder goed doet in het noorden bij Roggebotsluis en Elburg. Waarschijnlijk komt dit door net wat andere initiële condities als gevolg van het aangepaste, nieuwe rekenrooster. Voor j10 zijn de initiële condities bepaald met de procedure zoals beschreven in sectie 4.4.3. Voor j18 zijn de in j10 gebruikte initiële condities als samples geprojecteerd op het aangepaste, nieuwe rekenrooster om een vergelijkbare initiële condities te krijgen. Door de andere ligging van de rekencellen en de daarvoor gebruikte interpolatie kan dit mogelijk lijden tot verschillen in de initiële condities. Voor een betere verificatie wordt aanbevolen om eerst j10 te projecteren op het aangepaste rekenrooster en de berekeningresultaten te vergelijken met j10 op het oude rekenrooster.

5.8 Conclusies

5.8.1 Markermeer specifiek

Overall conclusie is dat het nieuwe 6^e generatie deelmodel voor het Markermeer goed overeenkomt met metingen en het vorige 5^e generatie WAQUA model. Verder is voor het Markermeer geen duidelijke uitspraak te doen of beter de uniforme wind gebruikt kan worden dan de ruimtelijke variërende.

Voor het Markermeer zijn in 2018 nieuwe dieptegegevens beschikbaar gekomen. Hiermee is in 2018 een update voor het model uitgevoerd door over te gaan van de vorige Baseline schematisatie markermeer-j10 naar de nieuwe Baseline schematisaties markermeer-j17_5-v1 en markermeer-j18_5-v1 (met eilanden en putten van Marker Wadden). Uit de verificatie hiervoor is het volgende gebleken:

- De grootste verschillen treden op in het Markermeer door de overgang van WAQUA op D-Flow FM voor dezelfde Baseline schematisatie markermeer-j10.
- Daarna volgen de verschillen tussen D-Flow FM j10 en D-Flow FM -j17.
- De verschillen tussen D-Flow FM-j17 en D-Flow FM-j18 zijn vrij klein, in de orde van enkele millimeters: de eilanden en putten van Marker Wadden hebben weinig effect op waterstanden op de schaal van het Markermeer.

Hoewel de laatsgenoemde verschillen vrij klein zijn wordt wel aanbevolen om de situatie met Marker Wadden na te rekenen voor een stormperiode na het gereedkomen van de outline van Marker Wadden in 2016 (zoals deze in Baseline schematisatie markermeer-j18_5-v1 is verwerkt).

Voor het Markermeer zijn ook in 2019 nieuwe gegevens beschikbaar gekomen. Hiermee is in 2019 een update voor het model uitgevoerd door over te gaan van de vorige Baseline schematisatie markermeer-j17 naar de nieuwe Baseline schematisatie markermeer-j19. Uit de verificatie zijn geen opvallende zaken naar voren gekomen.

Wel verdient het de aanbeveling dat gegevens van belangrijke lopende en toekomstige ontwikkelingen in het gebied tijdig gebundeld en aangeleverd worden bij RWS-CIV. Zowel in 2018 en 2019 was dit niet zo waardoor aanvullend werk nodig was.

5.8.2 Veluwerandmeren

Bij de Veluwerandmeren was voor de te gebruiken wind bij het vorige 5^e generatie WAQUA model al geconcludeerd dat beter de uniforme wind gebruikt kan worden dan de ruimtelijke variërende.

Voor de Veluwerandmeren traden in 2017 opvallende afwijkingen van D-Flow FM op. Deze zijn verder geanalyseerd in Bijlage D en een aanvullende studie [22]. Op basis van de bevindingen in [22] is -om een gedeelte van deze afwijkingen op te lossen- een parameter “hu0” (zie ook sectie 4.6) in D-Flow FM ingebouwd die het effect van de diepte in de windformulering anders doorvertaalt. Dit is van belang voor windgedreven stroming door smalle geulen, zoals de vaargeul in de Veluwerandmeren. Zowel voor Markermeer als Veluwerandmeren wordt “hu0” nu expliciet gebruikt. Met “hu0” komt het nieuwe 6^e generatie deelmodel voor het Veluwerandmeren beter overeen met de metingen en het vorige 5^e generatie WAQUA model. Tijdens de top van de storm lijkt WAQUA meestal net wat beter in vergelijking met de metingen.

6 Modeltoepassing

6.1 Toetsing voor gebruikstoepassingen

Het nieuwe 6^e generatie deelmodel voor het Markermeer doet het goed voor de beschouwde stormperiodes. Dit is van belang voor RWsOS Meren. Voor WBI zal dit deelmodel nog verder getest moeten worden voor extreme condities. Er zijn nog geen testen gedaan met unSWAN op het bijbehorende rooster.

Voor het Markermeer slibmodel is het van belang dat het D-Flow FM in 3 dimensies getest wordt in combinatie met unSWAN.

Door het gebruik van de windparameter “hu0” doet het nieuwe 6^e generatie deelmodel van de Veluwerandmeren het nu beter dan in 2017 voor de beschouwde stormperiode. Voor WBI zal dit deelmodel nog verder getest moeten worden voor extreme condities.

6.2 Rekentijden en parallelisatie

De rekentijd en schaalbaarheid is bepaald met het Markermeer j17 (deel)model voor de oktober 2006 storm met uniforme wind. De bijbehorende simulatie periode is 7 dagen en omvat het voortraject tot aan de storm en de storm zelf. Ook worden de voor dit geval typische I/O acties (in- en uitvoer acties tijdens modelsimulatie) meegenomen in de rekentijden. Omdat D-Flow FM automatisch de tijdstap aanpast kan het zijn dat vooral tijdens de piek van de storm meer tijdstappen verricht worden. Hierdoor is er op dat moment een grotere rekentijd. De hier gepresenteerde rekentijden dienen als indicatie van wat te verwachten is. Voor typisch andere toepassingen wordt aanbevolen ter verdere aanscherping altijd de rekentijd specifiek te bepalen. De hier gepresenteerde resultaten kunnen daarbij wel gebruikt worden voor het omrekenen naar andere hardware en andere aantallen cores/nodes.

De rekentijd en schaalbaarheid is bepaald op de volgende hardware:

- nodes van het Deltares H6 linux-cluster, 1 socket nodes met 4 cores (1 Intel quad-core Xeon E3-1276 v3 processor per node, 3.6 GHz per core), in het vervolg aangeduid met **E3-1276 v3 node**,
- nodes van de nationale supercomputer Cartesius bij SURFsara, 2 socket nodes met 24 cores (2 Intel twelve-core Xeon E5-2695 v2 processoren per node, 2.4 GHz per core), in het vervolg aangeduid met **E5-2695 v2 node** en
- nodes van RWsOS Meren hardware, 2 socket nodes met 24 cores (2 Intel twelve-core Xeon E5-2697 v2 processoren per node, 2.7 GHz per core), in het vervolg aangeduid met **E5-2697 v2 node**.

Voor de E3-1276 v3 en E5-2695 v2 nodes zijn de rekentijden gemeten door het 5^e generatie en 6^e generatie model erop te draaien met respectievelijk WAQUA (Simona 2016 versie op E3-1276 v3 nodes, Simona 2013 versie op E5-2695 v2 nodes) en D-Flow FM (versie 1.1.264.52751 voor zowel E3-1276 v3 nodes als E5-2695 v2 nodes). In deze 2018 update van het rapport uit 2017 zijn nu ook de rekentijden voor WAQUA bij handmatige partitionering toegevoegd. Dit is gedaan omdat uit eerdere ervaringen voor het Markermeer bekend is [14] dat automatische partitionering niet altijd tot de meest snelle rekentijden hoeft te leiden. Dit als gevolg van een ongunstige opdeling van het rekenrooster door een combinatie van geometrie en memory layout van de deelrekenroosters. Met de handmatige partitionering is hier met behulp van visipart voor WAQUA meer rekening mee gehouden. Voor D-Flow FM is nu nog geen handmatige partitionering mogelijk.

Met rekentijd wordt hier de “wall clock tijd” bedoeld: het verschil tussen start en stop tijd van een modelberekening. De hier gerapporteerde tijden zijn gemiddelden van drie metingen, de standaardafwijking van het gemiddelde wordt aangegeven achter de “+/-”.

Voor de E5-2697 v2 nodes, die veel lijken op de E5-2695 v2 nodes, zijn de rekentijden geschat door die voor de E5-2695 v2 nodes te vermenigvuldigen met een vaste factor van 2.4 / 2.7 (schaling op basis van klokfrequentie).

Tabellen 6.1, 6.2 en 6.3 laten de gemeten en geschatte rekentijden zien. Het 5^e generatie WAQUA model is voor een laag aantal cores zo'n 3 tot 4 keer sneller dan het 6^e generatie D-Flow FM model. Dit is te verklaren door het aantal rekencellen van de twee Markermeer (deel)modellen: voor het 6^e generatie model is dat een factor 3.5 groter (zie einde sectie 4.2.2). Uit Tabel 6.2 is op te maken dat voor meer dan 16 cores (automatische partitionering) en 24 cores (handmatige partitionering) de rekestijd voor het 5^e generatie WAQUA model juist weer toeneemt (het model is relatief klein). Voor het 6^e generatie D-Flow FM model zakt de rekestijd nog verder: op 4 nodes met in totaal 96 cores is deze te vergelijken met de laagste rekestijd bij automatische partitionering van het 5^e generatie WAQUA model op 1 node met in totaal 16 cores. Uit Tabel 6.3 kan daarom geconcludeerd worden dat voor de beschikbare hardware van RWsOS Meren de rekentijden van het nieuwe 6^e generatie D-Flow FM model in de benodigde range voor operationele toepassing vallen.

Tabel 6.1 Gemeten rekentijden 5^e en 6^e generatie Markermeer model voor oktober 2006 storm met uniforme wind op Deltares H6 linux-cluster.

hardware type	aantal nodes	totaal aantal cores	rekestijd 5 ^e generatie WAQUA model, automatische partitionering	rekestijd 6 ^e generatie D-Flow FM model
E3-1276 v3	1	4	15.41 m +/- 0.24 m	64.48 m +/- 0.43 m
E3-1276 v3	2	8	10.25 m +/- 0.11 m	34.29 m +/- 0.23 m
E3-1276 v3	4	16	7.30 m +/- 0.55 m	19.79 m +/- 0.19 m

Tabel 6.2 Gemeten rekentijden 5^e en 6^e generatie Markermeer model voor oktober 2006 storm met uniforme wind op SURFsara Cartesius supercomputer.

hardware type	aantal nodes	totaal aantal cores	rekestijd 5 ^e generatie WAQUA model, automatische partitionering	rekestijd 5 ^e generatie WAQUA model, handmatige partitionering	rekestijd 6 ^e generatie D-Flow FM model
E5-2695 v2	1	4	13.39 m +/- 0.23 m	13.02 m +/- 0.20 m	52.05 m +/- 0.48 m
E5-2695 v2	1	8	8.06 m +/- 0.47 m	7.72 m +/- 0.10 m	28.17 m +/- 0.16 m
E5-2695 v2	1	16	5.89 m +/- 0.16 m	4.85 m +/- 0.10 m	16.53 m +/- 0.07 m
E5-2695 v2	1	24	7.55 m +/- 0.25 m	4.26 m +/- 0.07 m	13.23 m +/- 0.31 m
E5-2695 v2	2	12		4.22 m +/- 0.06 m	
E5-2695 v2	2	48	10.44 m +/- 0.08 m	9.04 m +/- 0.13 m	8.14 m +/- 0.03 m
E5-2695 v2	4	96	19.37 m +/- 0.38 m	12.82 m +/- 0.04 m	6.00 m +/- 0.04 m

Tabel 6.3 Geschatte rekentijden 5^e en 6^e generatie Markermeer model voor oktober 2006 storm met uniforme wind op RWSOS Meren hardware.

hardware type	aantal nodes	totaal aantal cores	rekentijd 5 ^e generatie WAQUA model, automatische partitionering	rekentijd 5 ^e generatie WAQUA model, handmatige partitionering	rekentijd 6 ^e generatie D-Flow FM model
E5-2697 v2	1	4	11.90 m	11.57 m	46.27 m
E5-2697 v2	1	8	7.17 m	6.86 m	25.04 m
E5-2697 v2	1	16	5.23 m	4.31 m	14.69 m
E5-2697 v2	1	24	6.71 m	3.79 m	11.76 m
E5-2697 v2	2	48	9.28 m	8.03 m	7.23 m
E5-2697 v2	4	96	17.22 m	11.39 m	5.34 m

6.3 Update in 2019, rekentijden en parallelisatie

Het j19 D-Flow FM model voor het Markermeer heeft 23% meer rekencellen dan j17 en j18 (425033 versus 345634 rekencellen, zie secties 4.2.2 en 4.2.3). Ook worden er plannen gemaakt om de RWSOS Meren hardware te vernieuwen. Daarom zijn met de j17 en j19 modellen, als aanvulling op sectie 6.2, rekentijden bepaald voor de oktober 2006 storm met uniforme wind met een simulatie periode van 7 dagen. Dit is gedaan op de volgende hardware:

- nodes van de nationale supercomputer Cartesius bij SURFsara,
 - 2 socket nodes met 24 cores (2 Intel twelve-core Xeon E5-2695 v2 processoren per node, 2.4 GHz per core), in het vervolg aangeduid met **E5-2695 v2 node** (zelfde als in sectie 6.2),
 - 2 socket nodes met 24 cores (2 Intel twelve-core Xeon E5-2690 v3 processoren per node, 2.6 GHz per core), in het vervolg aangeduid met **E5-2690 v3 node**,
 - 2 socket nodes met 32 cores (2 Intel sixteen-core Xeon E5-2697A v4 processoren per node, 2.6 GHz per core), in het vervolg aangeduid met **E5-2697A v4 node**,
- nodes van RWSOS Meren hardware, 2 socket nodes met 24 cores (2 Intel twelve-core Xeon E5-2697 v2 processoren per node, 2.7 GHz per core), in het vervolg aangeduid met **E5-2697 v2 node**.

Hiervoor is D-Flow FM versie 64757 gebruikt (in sectie 6.2 was dit 52751). Tabellen 6.4 en 6.5 tonen de gemeten en geschatte rekentijden. Hieruit is op te maken dat voor het j19 model de rekentijd zo'n 10% groter is dan voor j17. Ook is te zien in Tabel 6.4 dat met de overgang naar nieuwe hardware de rekentijd aanzienlijk verlaagd kan worden.

In 2018 en 2019 was het D-Flow FM j17 model van het Markermeer één van de testcases in het PRACE (Preparatory Access Type D) project 2010PA3775 (project van Deltares, SURFsara en CINECA [23, 24]). Deze testcase bevat dezelfde oktober 2006 storm met uniforme wind en een simulatie periode van 7 dagen als hiervoor. Figuur 6.1 laat hiervan een belangrijk resultaat zien: het toont de schaalbaarheid² van D-Flow FM voor verschillende testcases op de E5-2690 v3 nodes van Cartesius van SURFsara. Hieruit is op te maken dat D-Flow FM voor het j17 model van het Markermeer goed schaalbaar tot orde 100 cores, daarna vlakt deze af. Ook geeft Figuur 6.1 een indicatie van de schaalbaarheid als dit model in drie dimensies gebruikt gaat worden. De 2 dimensionale Noordzee testcase "North Sea 2D" heeft vrijwel dezelfde hoeveelheid rekencellen als het j17 model van het Markermeer. De 3 dimensionale Noordzee testcases "North Sea 3D" en "North Sea 3D ST" (met zout en temperatuur) zijn gebaseerd op "North Sea 2D" met 25 rekenlagen in de verticaal. Te zien is in de figuur dat het j17 model van het Markermeer en "North Sea 2D" hetzelfde schalingsgedrag

² Hierbij wordt de rekentijd van een modelsimulatie met D-Flow FM op X cores gedeeld door de rekentijd van dezelfde modelsimulatie op 1 core. Dit geeft een indruk of D-Flow FM voor de betreffende modelsimulatie sneller kan draaien door het gebruik van meer cores.

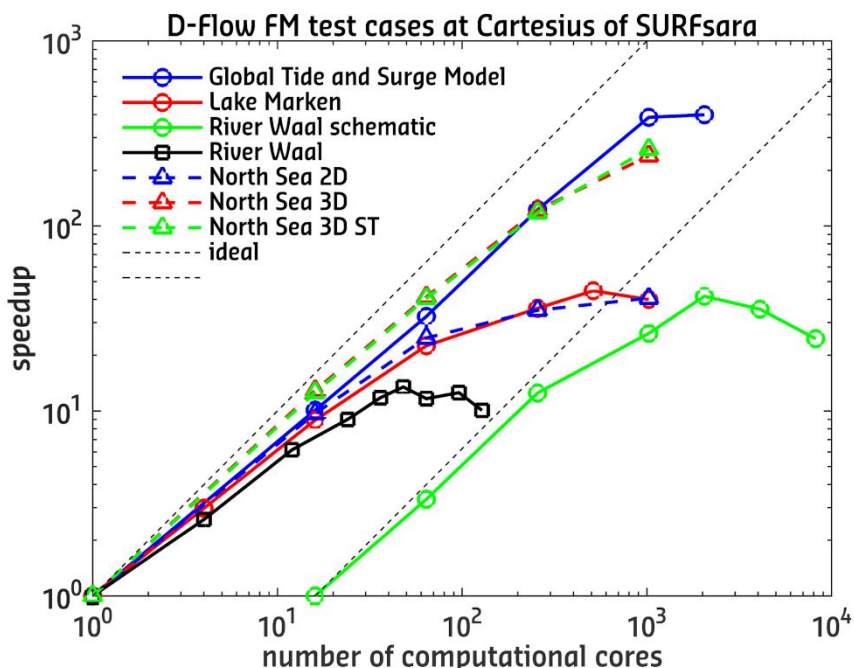
vertonen. “North Sea 3D” en “North Sea 3D ST” schalen goed tot orde 1000 cores. Op basis van deze figuur is de verwachting dat bij gebruik van 25 rekenlagen in de verticaal het model voor ondiep water storming in het Markermeer een vergelijkbare schaling vertoont.

Tabel 6.4 Gemeten rekestijden 6^e generatie Markermeer j17 en j19 modellen voor oktober 2006 storm met uniforme wind op SURFsara Cartesius supercomputer.

hardware type	aantal nodes	totaal aantal cores	rekestijd 6 ^e generatie D-Flow FM j17 model	rekestijd 6 ^e generatie D-Flow FM j19 model
E5-2695 v2	1	24	13.43 m +/- 0.08 m	15.02 m +/- 0.14 m
E5-2690 v3	1	24	10.78 m +/- 0.04 m	12.13 m +/- 0.09 m
E5-2697A v4	1	32	8.56 m +/- 0.04 m	9.36 m +/- 0.04 m

Tabel 6.5 Geschatte rekestijden 6^e generatie Markermeer j17 en j19 modellen voor oktober 2006 storm met uniforme wind op RWsOS Meren hardware.

hardware type	aantal nodes	totaal aantal cores	rekestijd 6 ^e generatie D-Flow FM j17 model	rekestijd 6 ^e generatie D-Flow FM j19 model
E5-2697 v2	1	24	11.94 m	13.35 m



Figuur 6.1 Schaalbaarheid van D-Flow FM voor verschillende modellen op SURFsara Cartesius supercomputer.

6.4 Programma van eisen 6^e generatie modelschematisaties

- Voor de nieuwe 6^e generatie modelschematisaties is een programma van eisen opgesteld. De nieuwe 6^e generatie modelschematisatie voor Markermeer en Veluwerandmeren uit dit rapport voldoet aan de volgende eisen: het 6^e generatie deelmodel van het Markermeer presteert gelijk aan het 5^e generatie model van het Markermeer.
- Er is bij de roostergeneratie rekening gehouden met de actuele situatie en reeds bekende toekomstige ontwikkelingen. Dit geldt echter niet voor de Baseline schematisaties.

- Het beheergebied van RWS wordt gedekt. Modelgrenzen van de twee deelmodellen zijn zodanig geplaatst dat er een naadloze koppeling tussen de deelmodellen mogelijk is. Roosterovergangen verlopen geleidelijk (factor 1.1). Resolutie in het midden van het Markermeer is minder dan bij de oeverzones. Kunstwerken en belangrijke stroombepalende elementen zijn waar mogelijk op de roosterlijnen geschematiseerd. Het rekenrooster bevat voldoende resolutie in interessegebieden. Nagegaan is dat dit voor operationele toepassingen op de huidige beschikbare hardware tot aanvaardbare rekestijden leidt, dit is ook afgezet tegen de rekestijden van de 5^e generatie modelschematisaties.
- De modelschematisatie dient als basis voor meerdere toepassingen: hoogwaterveiligheid, operationele hoogwatervoorspelling en waterkwaliteit/ecologie. Hiervoor is vanaf het begin van de modelontwikkeling rekening gehouden.

7 Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

7.1 Samenvatting

In dit project is voor het eerst een zogenaamde 6^e generatie modelschematisatie ontwikkeld van het Markermeer en de Veluwerandmeren. Het grote verschil hierin met de vorige 5^e generatie modelschematisaties is dat nu de modelsoftware SOBEK en WAQUA voor waterstroming is vervangen door D-Flow FM. De nieuwe modelschematisatie dient als basis voor meerdere toepassingen: hoogwaterveiligheid, operationele hoogwatervoorspelling en waterkwaliteit/ecologie.

7.2 Conclusies

Het nieuwe 6^e generatie deelmodel voor het Markermeer doet het goed voor de beschouwde stormperiodes. Dit is van belang voor RWS OS Meren. De verificatie voor de geupdate diepte (zowel met en zonder Marker Wadden) heeft laten zien dat ook het geupdate 6^e generatie deelmodel voor het Markermeer het goed doet voor de beschouwde stormperiode in 2007. Wel wordt voor dit laatste aanbevolen om de situatie met Marker Wadden na te rekenen met een stormperiode die optrad na het gereedkomen van Marker Wadden in 2016. Voor WBI zal dit deelmodel nog verder getest moeten worden voor extreme condities. Er zijn nog geen testen gedaan met unSWAN op het bijbehorende rooster. Voor het Markermeer slibmodel is het van belang dat het D-Flow FM in 3 dimensies getest wordt in combinatie met unSWAN.

Door het gebruik van de windparameter "hu0" doet het nieuwe 6^e generatie deelmodel van de Veluwerandmeren het nu beter dan in 2017 voor de beschouwde stormperiode. Voor WBI zal dit deelmodel nog verder getest moeten worden voor extreme condities.

7.3 Aanbevelingen

In dit project is nagegaan of/en wat voor een kalibratie strategie mogelijk is. Er bleken echter verschillende inhoudelijke argumenten te zijn die om verdere verdieping/overweging vragen. Geadviseerd wordt om een kalibratiestrategie nader te bepalen, op basis van het in dit project verzamelde materiaal.

Tijdens de uitvoering van dit project zijn er verbeteringen gebracht aan de Bas2FM software. Als gevolg daarvan zijn er verschillende versies gebruikt voor het genereren van D-Hydro FM modellen. Het uiteindelijke gecombineerde rooster model voor Markermeer en Veluwerandmeren gebied is op basis van de laatste beschikbare Bas2FM software versie 1.3.4 gemaakt. Advies is om dit model op te nemen in subversion. In het gecombineerde model van Markermeer en Veluwerandmeren zullen beheerregels van de Nijkerkersluis moeten worden ingebouwd. De andere aparte modellen moeten opnieuw geconverteerd worden met dezelfde Bas2FM versie mocht men besluiten om deze ook in subversion op te nemen.

Omdat in dit gebied en aangrenzende gebieden er een aantal lopende ontwikkelingen zijn wordt aanbevolen geregeld de Baseline schematisatie te updaten. Het verdient hierbij de aanbeveling dat gegevens van belangrijke lopende en toekomstige ontwikkelingen in het gebied tijdig gebundeld en aangeleverd worden bij RWS-CIV. Zowel in 2018 en 2019 was dit niet zo waardoor aanvullend werk nodig was.

Parallel draaien met D-Flow FM in combinatie met restart vanuit een NetCDF file (waterstanden, wind) geeft problemen, dit moet verder getest en opgelost worden.

8 Referenties

- [1] Aukje Spruyt e.a., Ontwikkeling zesde-generatie modellen met D-HYDRO - Generieke technische en functionele specificaties Deltares rapport 11200569-000-ZWS-0028, 2017.
- [2] Mirjam van der Mheen, Markermeer WAQUA model 5^{de} generatie – Modelopzet en validatie, Deltares rapport 1207880-009-ZWS-0007, 2013.
- [3] Carlijn Bak-Eijsberg, Veluwerandmeren WAQUA-model 5^{de} generatie – Modelopzet en validatie, Deltares rapport 1220072-011-ZWS-0006, 2015.
- [4] Menno Genseberger (ed.), Merenmodellen in D-HYDRO – Pilot-applicatie Markermeer, Deltares rapport 1230071-011-ZWS-0019, 2016. Bijlage van Aukje Spruyt e. a., Advies voor algemeen functioneel ontwerp voor de 6e-generatie modellen van RWS, Deltares rapport 1230071-011-ZWS-0009, 2016.
- [5] Menno Genseberger, Werkplan KPP 2017 project - Markermeer en Veluwerandmeren, Deltares rapport 11200569-009, 2017.
- [6] Nelle Jan van Veen en Nadine Slotjes, Hydraulische randvoorwaarden voor categorie c-keringen - Achtergrondrapport keringen langs de Veluwe Randmeren (dijkkring 8, 11 en 45), HKV rapport PR1322, 2008.
- [7] Bak, C., en Vlag, D., Achtergronden hydraulische belastingen dijken IJsselmeergebied, deel 5 WAQUA modellering, 1997.
- [8] Opbouwen roosters voor Markermeer en Veluwerandmeren, aanpassen rooster IJsselmeer en uitbreiding Rijntakkenrooster, Vechtgedeelte”, Arcadis rapport C03041.002993, 2013.
- [9] Y. H. G. van Haaren, G. B. H. Spaan, Onafhankelijk onderzoek Markermeer - technisch inhoudelijke en integrerende studie, verslag fase 1b-2: bouw DELFT2D-systeem, rapport Waterloopkundig Laboratorium (WL), H3211_1b2, 1997.
- [10] Alkyon. (2005). Uitbreiding WAQUA schematisatie Markermeer, fase 2.
- [11] Boderie P., Smale A. J., & Thiange C., Validation suspended sediment model Markermeer & Application to silt screen. Deltares report 1201198, 2012.
- [12] Carlijn Bak-Eijsberg, Harmonie toegepast op 'IJsselmeer', Deltares memo 1230072-002-ZKS-0003, 2016.
- [13] COSMO - Consortium for small-scale modelling, www.cosmo-model.org
- [14] Genseberger, M, Spee, E.J, & Voort, L. (2016). Domain decomposition in shallow lake modelling for operational forecasting of flooding. doi:10.1007/978-3-319-18827-0_21, <https://ir.cwi.nl/pub/23300>

- [15] Wijbenga et. al., Veluwerandmeren Hydraulische omstandigheden, HKV, 2004.
- [16] Koen Berends, FM2PROF prototype - Beschrijving en verkenning, Deltares rapport 1230070-006-DSC-0008 (concept), 2016.
- [17] Klaudia Horváth, Sensitivity analysis on the size of the SOBEK vakken, Deltares report 1230071-006-ZWS-0001, 2016.
- [18] Noordhuis, R., V. Harezlak, P. Boderie & M. Genseberger, Waterbeheer en ecologische draagkracht in het Markermeer-IJmeer – Een eerste verkenning aan de hand van hydrologie en nutriënten, Powerpoint presentatie, Deltares project 1230835, 2016.
- [19] Menno Genseberger, Carlijn Eijsberg - Bak en Asako Fujisaki, Ontwikkeling zesde-generatie IJsselmeer, IJssel-Vechtdelta en Overijsselse Vecht model, Deltares rapport 11202220-008-ZWS-0014 (concept), 2018.
- [20] Iris Niesten en Aukje Spruyt, Ontwikkeling zesde-generatie Rijntakken-model: Modelbouw, kalibratie en validatie, Deltares rapport 11202220-005-ZWS-0006 (concept), 2018.
- [21] Anke Becker en Asako Fujisaki, Nieuwe modelschematisatie IJsselmeer-Vecht-IJsseldelta voor WBI2017 met Reevediep fase 2, Deltares rapport 11200569-008-ZWS-0004, 2017.
- [22] Frank Platzek, Analysis D-Flow FM results Veluwerandmeren, Deltares memo 11202220-009-ZWS-0005, 2018.
- [23] M. Mogé, M. J. Russcher, A. Emerson, and M. Genseberger, Scalable Delft3D Flexible Mesh for Efficient Modelling of Shallow Water and Transport Processes, PRACE White Paper 284, 2019. Online available via <http://www.prace-ri.eu/IMG/pdf/WP284.pdf>
- [24] Menno Genseberger, Maxime Mogé, Martijn Russcher, and Andrew Emerson, Towards scalable Delft3D Flexible Mesh on PRACE infrastructures for real life hydrodynamic applications, poster at the 26th International Conference on Domain Decomposition Methods, December 2nd-6th, 2019, Hong Kong, China.

A Lijst gebruikte instellingen

In Tabel A.1 worden de gebruikte instellingen voor D-Flow FM voor de onderdelen [numerics], [physics] en [wind] vermeld. Er is voor een aantal instellingen afgeweken van de generieke instellingen voor de 6^e generatie modelschematisaties (zoals weergegeven in Bijlage C van [1]). Enkele instellingen die afwijken, gelabeld met * in de tabel, hebben geen effect omdat het betreffende proces (o.a. verticaal en temperatuur) niet aanstaat. De andere afwijkende instellingen, gelabeld met ** in de tabel, zijn zo gekozen omdat dit overeenkomt met de instellingen van het 5^e generatie WAQUA model en dit een belangrijk proces is (ruwheid en wind).

Tabel A.1 *instellingen D-Flow FM.*

Parameter	waarde
[numerics]	
CFLMax	0.7
AdvecType	33
TimeStepType	2
Limtyphu	0
Limtypmom	4
Limtypsa	4
TransportMethod	1
Vertadvtypsal	5
Icgsolver	4
Maxdegree	6
FixedWeirScheme	9
FixedWeirContraction	1
FixedWeirfrictscheme	1
Fixedweirtopwidth	3
Fixedweirtopfrictcoef	-999
Fixedweirtalud	0.25
Izbdpos	0
Tlfsmo	0*
Slopedrop2D	0
Chkadvd	0.1
Teta0	0.55
Qhrelax	0.01
Jbasqbnddownwindhs	0
cstbnd	0
Maxitverticalforestersal	100*
Maxitverticalforestertem	0
Jaorgsethu	1
Turbulencemodel	3
Turbulenceadvection	3
AntiCreep	0
Maxwaterleveldiff	0
Maxvelocitydiff	0
Epshu	0.0001

Parameter	waarde
SobekDFM_umin	0
[physics]	
UnifFrictCoef	0.102**
UnifFrictType	2**
UnifFrictCoef1D	0.023
UnifFrictCoefLin	0
Umodlin	0
Vicouv	1
Dicouv	1
Vicoww	5E-05
Dicoww	5E-05*
Vicwminb	0
Smagorinsky	0
Elder	0
Irov	0
wall_ks	0
Rhomean	1000
ldensform	1
Ag	9.813
TidalForcing	0
Doodsonstart	55.565
Doodsonstop	375.575
Doodsoneps	0
Salinity	0
InitialSalinity	0
Sal0abovezlev	-999
DeltaSalinity	-999
Backgroundsalinity	30
Temperature	0
InitialTemperature	6
Secchidepth	1*
Stanton	-1*
Dalton	-1*
Backgroundwatertemperature	6
SecondaryFlow	0
EffectSpiral	0
BetaSpiral	0
[wind]	
ICdtyp	2
Cdbreakpoints	0.00136673 0.0039**
Windspeedbreakpoints	7.77886 50**
Windhuorzwsbased	0/1
	de instelling met waarde 0 wordt verkort aangeduid met "hu0" en met waarde 1 met "hu1", zie ook sectie 4.6, deze parameter is gebruikt voor rapport versie 2018 en 2019
Rhoair	1.2265**

Parameter	waarde
PavBnd	0
PavIni	0

Tabel A.2 Instellingen WAQUA modellen Veluwerandmeren en Markermeer.

Parameter	Waarde	Beschrijving
ITERCON	20	Maximaal aantal iteraties voor de continuïteitsvergelijking
ITERMOM	8	Maximaal aantal iteraties voor de impulsbalans vergelijking
CHECKCONT	WL	Type convergentiecriterium
ITERACCURWL	0.0005 m	Convergentiecriterium: verschil in waterstanden (WL) < 0.0005
THETAC ³	0.6	Energieverlies bij overlaten: 40% van de actuele tijdstap en 60% van de vorige tijdstap

³ In tegenstelling tot Simona is de waarde voor THETAC niet instelbaar in D-Flow FM. Dwz. in D-Flow FM wordt altijd THETAC = 0.6 toegepast, wat overeenkomt met de defaultwaarde in Simona.

B Roostergeneratie

B.1 Polygonen

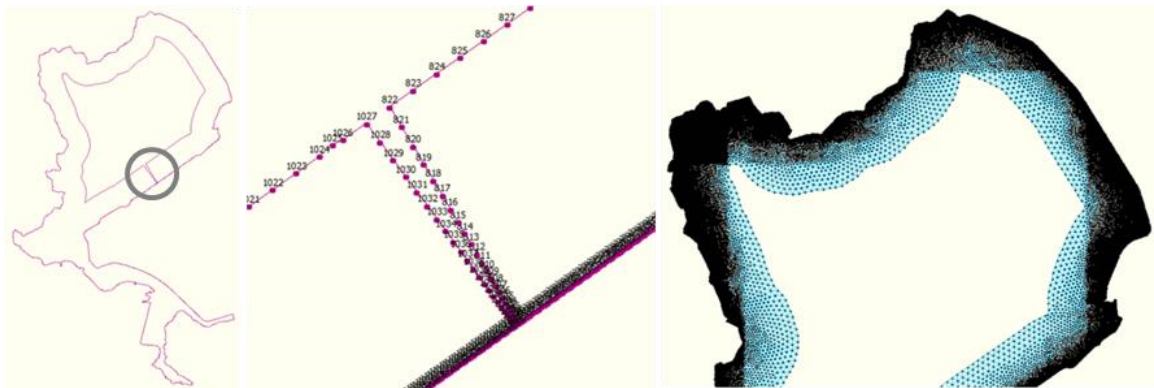
RGFGRID genereert driehoekige rekenroosters op basis van polygonen. Deze polygonen omsluiten een aangewezen gebied en worden in deze toepassing gebruikt om het rekenrooster op te bouwen. De resolutie van de polygoonrand bepaalt de resolutie van het rekenrooster. Een regelmatige polygoonrand (i.e. de afstand tussen twee opeenvolgende punten is dezelfde over de hele rand) levert een rekenrooster met uniforme resolutie, vergelijkbaar met de resolutie van de polygoonrand.

RGFGRID interpoleert de grootte van de driehoeken binnen een polygoon met niet uniforme resolutie. Dit maakt het mogelijk om de graduele resolutieovergangen te genereren.

B.2 Interpolatie algoritme

Het huidige algoritme dat voor de interpolatie van de resolutie binnen een polygoon zorgt, levert niet altijd het gewenste resultaat. Vooral met grotere of complexe polygonen kan dit het geval zijn. Figuur B.1 geeft hier een voorbeeld van. De buitenrand van de polygoon heeft een resolutie van 50 m en de binnenrand een resolutie van 400 m. Het resulterende rekenrooster heeft duidelijk niet de gewenste resolutie overgang.

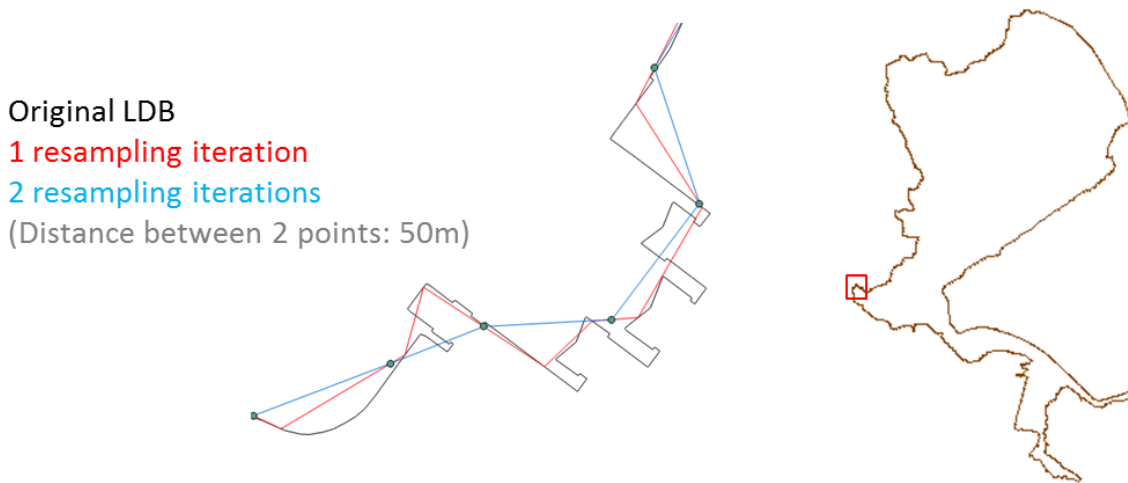
Om dit te verhelpen moet het gebied in een aantal kleinere polygonen verdeeld worden. Dit wordt in paragraaf B.4 gedemonstreerd.



Figuur B.8.1 Rekenroosterdeel met 50-400 m resolutie overgang gegenereerd met een enkele polygoon.

B.3 Downsampling landgrens

De gewenste resolutie langs de landgrens is 50 m. De oorspronkelijke landgrens heeft een zeer hoge resolutie (< 50 m) en moest daarom eerst vereenvoudigd worden. Dit zorgt er ook voor dat kleine details uit de landgrens geveegd worden. De landgrens is om de 50 m gesampled (zie rode lijn in Figuur B.2). Omdat deze polygoon nog steeds teveel detail bevatte is de 50 m sampling een tweede keer uitgevoerd (blauwe lijn).



Figuur B.2 Detail van oorspronkelijke landgrens en 50 m resolutie polygoon na 1 en 2 sampling iteraties.

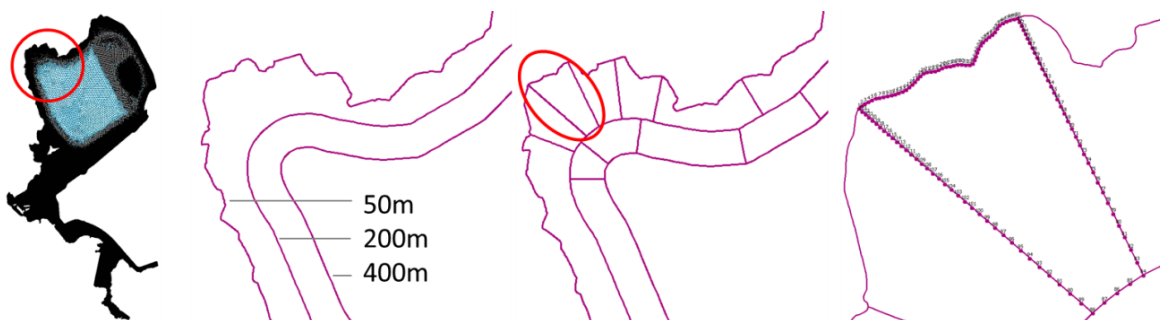
B.4 Variërende resolutie

Om het aantal rekenpunten te verlagen is voor een resolutie van 400 m in het open water gekozen. De overgang van 50 m naar 400 m wordt geforceerd a.d.h.v. polygoon met verschillende resoluties. Om het algoritme van RGFGRID dat voor het interpoleren van de resolutie binnen een polygoon zorgt te helpen, is het nodig om meerdere relatief kleine polygoon te gebruiken om de overgang tussen de verschillende resoluties gelijkelijk te laten verlopen. Deze polygoon worden gebouwd uit een aantal basispolygoon met de gewenste resolutie. Zo zijn er midden in het meer twee polygoon gemaakt met een resolutie van 200 m en 400 m. De 200m polygoon ligt op een afstand van ongeveer 1700 m van de landgrens. Dit maakt het mogelijk voor de rooster cellen om van 50 m naar 200 m te groeien met een groeifactor niet groter dan 1.1. De afstand tussen de 200 m en 400 m polygoon is even groot genomen (Figuur B.3).

Door de 50 m, 200 m en 400 m polygoon op bepaalde punten met elkaar te verbinden kunnen kleinere polygoon gemaakt worden. Dit zorgt ervoor dat er voor dat het rekenrooster in kleinere delen gegenereerd kan worden. De resolutie op de grenslijnen tussen twee polygoon varieert gradueel in resolutie. Dit kan in RGFGRID eenvoudig bereikt worden met de *Refine linear* tool.

Elk polygoon kan omgezet worden tot een stukje rekenrooster. Uiteindelijk is het de bedoeling alle roosterdelen samen te voegen tot een enkel rooster. Dit gebeurt via de operatie *Merge grids*.

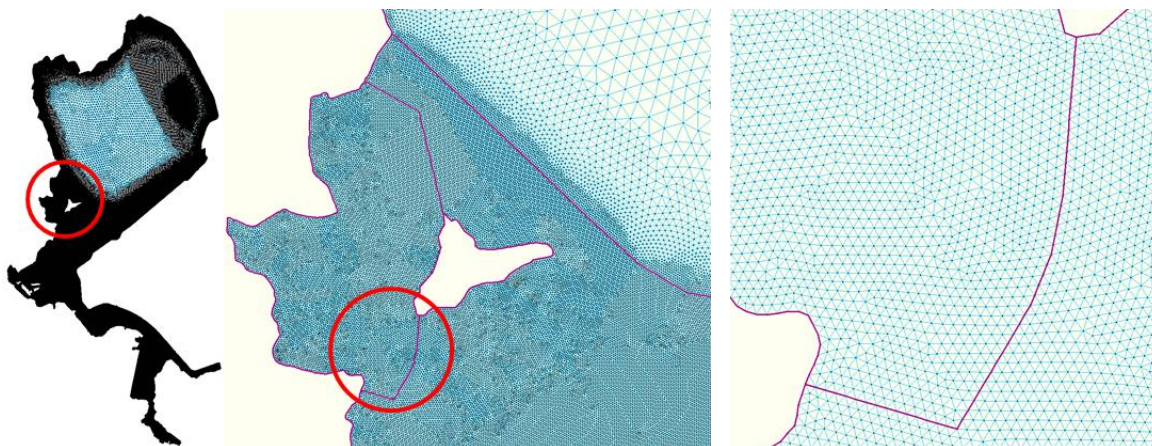
Alle gemeenschappelijke polygoonranden moeten met de resolutie van rekencellen op elkaar aansluiten om de verschillende roosterdelen zonder probleem samen te kunnen voegen.



Figuur B.3 Voorbeeld van polygoon voor het genereren van graduele resolutie overgangen.

B.5 Uitlijnen

Een aantal roostercellen zijn uitgelijnd om bathymetrie eigenschappen te volgen of om het plaatsen van dunne dammen te vergemakkelijken. Figuur B.4 toont hier een voorbeeld van het rekenrooster bij de dammen rondom de Gouwzee. De celranden zijn uitgelijnd door het gebruik van meerdere polygonen. De rand van de polygonen komt overeen met de dammen. Op die manier kunnen dunne dammen precies langs de dammen geplaatst worden en waar nodig kan het rekenrooster open blijven.



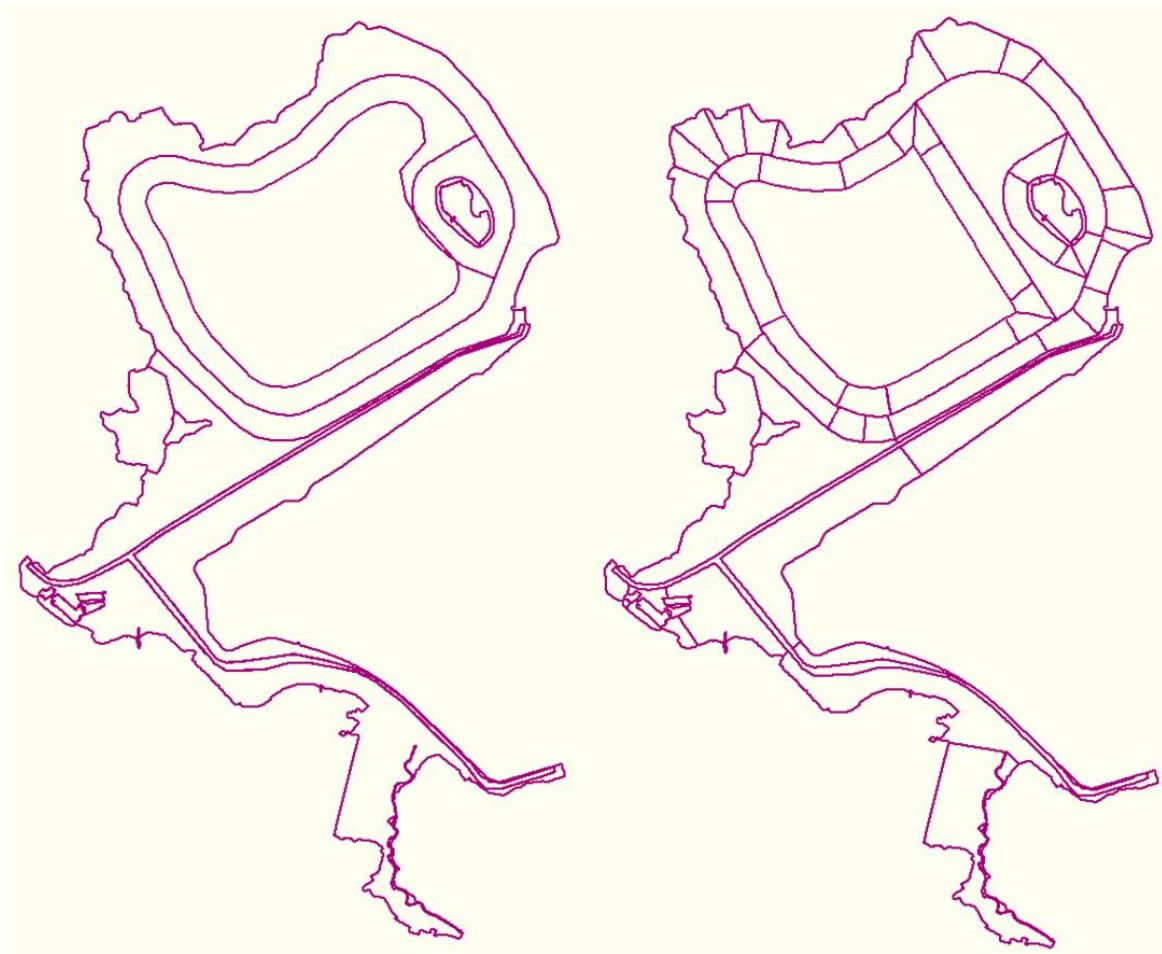
Figuur B.4 Roostercellen uitgelijnd langs dammen rondom Gouwzee (polygonen in paars).

B.6 Polygoon script

Om de resolutie en de oriëntatie van de roostercellen te beïnvloeden is een groot aantal polygonen nodig. Het genereren van deze polygonen vraagt veel handwerk dat vaak opnieuw uitgevoerd moet worden bij elke aanpassing. Om het proces te versnellen en deels te automatiseren is er voor gekozen om enkel een aantal basis polygonen met de hand te genereren. Vervolgens is een script geschreven dat de basis polygonen inleest en verwerkt tot kleinere polygonen.

Elk positie van een polygoon heeft een uniek nummer dat in RGFGRID gevisualiseerd kan worden. In het script wordt a.d.h.v. van deze nummers aangegeven welke polygoononderdelen samengevoegd moeten worden. Waar nodig kan het script ook voor een lineaire interpolatie van de resolutie zorgen (dit is hetzelfde als de *Refine linear* operatie in RGFGRID).

De gebruikte basispolygonen zijn links in Figuur B.5 te zien. In dezelfde figuur zijn rechts alle deelpolygonen te zien die door het script aangemaakt zijn.

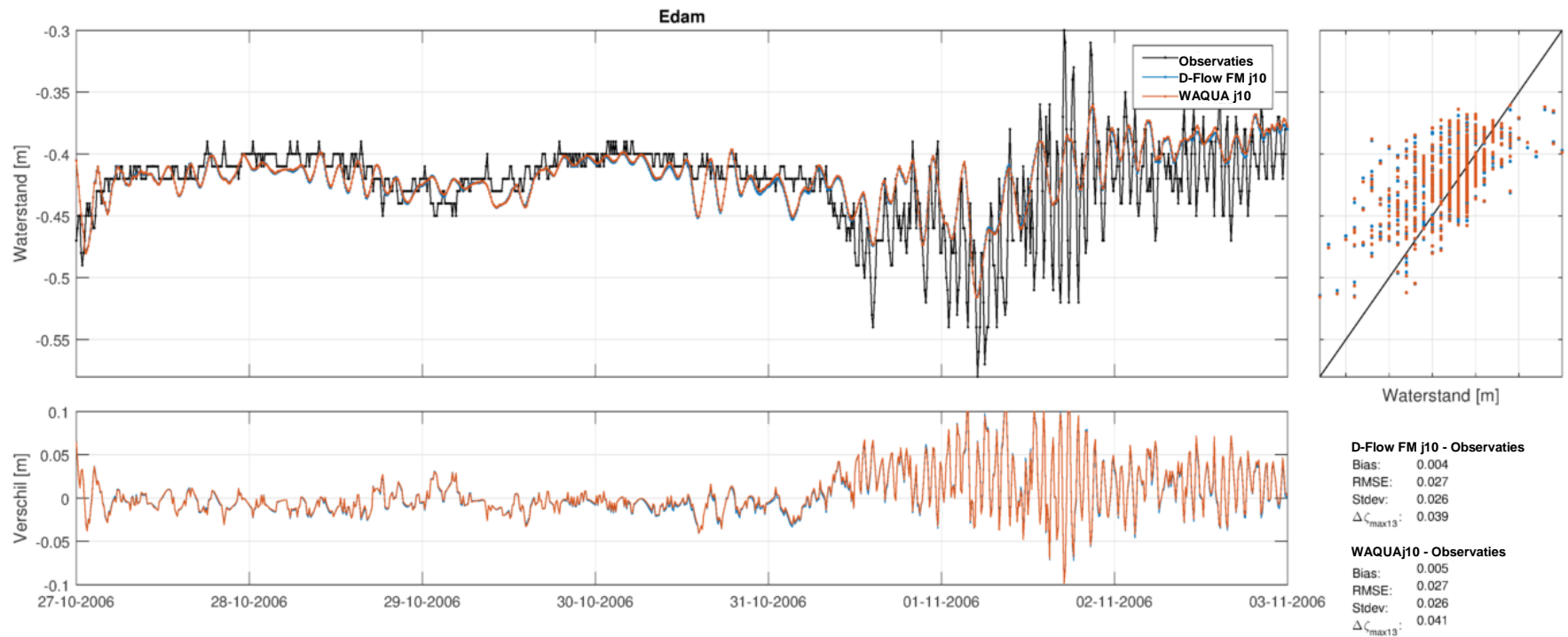


Figuur B.5 Basispolygonen (links) en met script gegenereerde deelpolygonen (rechts).

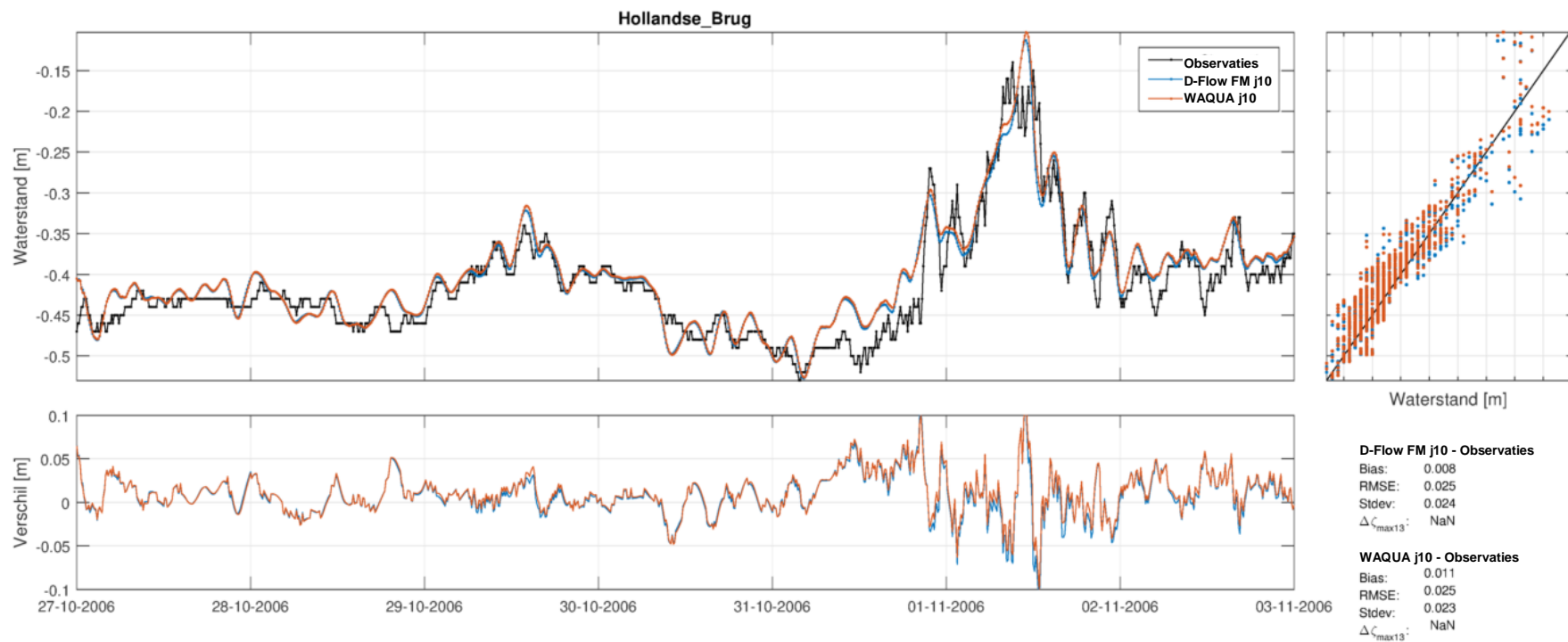
C Validatie en verificatie

C.1 Storm oktober 2006 Markermeer, validatie voor WAQUA j10 en D-Flow FM j10

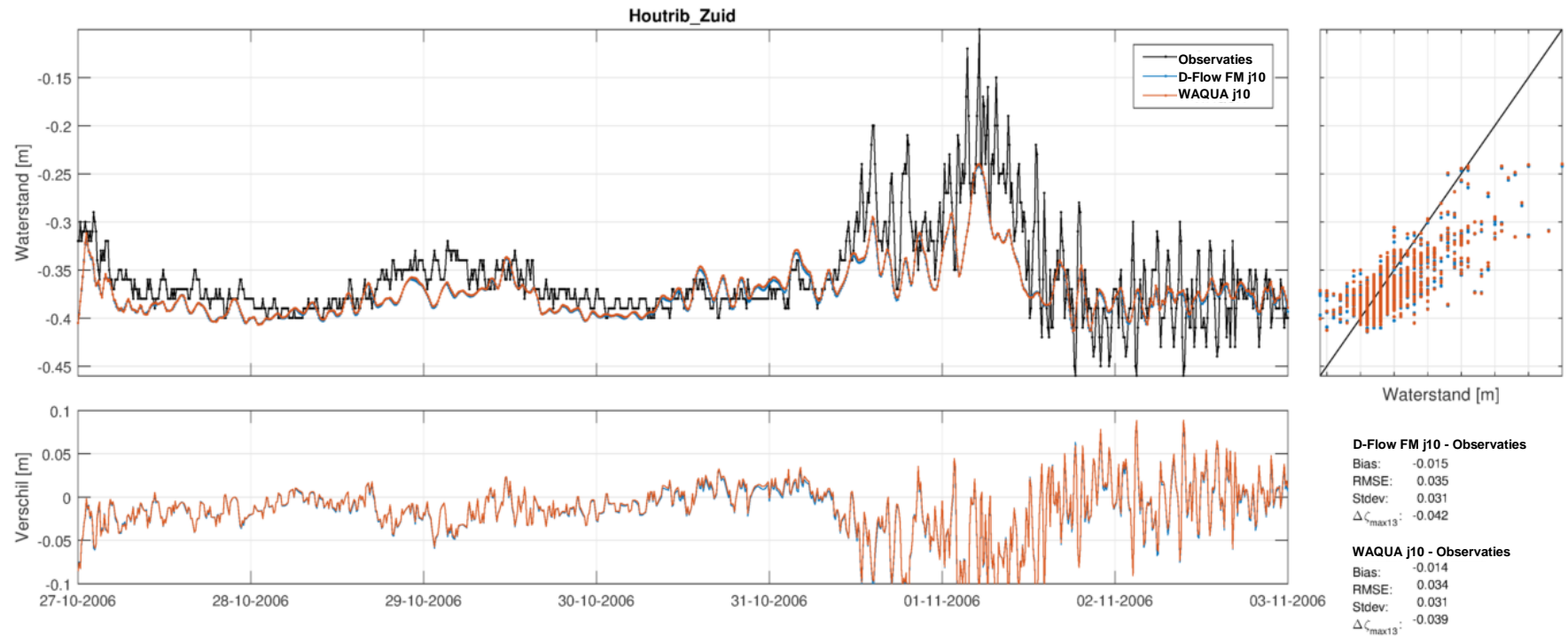
C.1.1 Uniforme wind



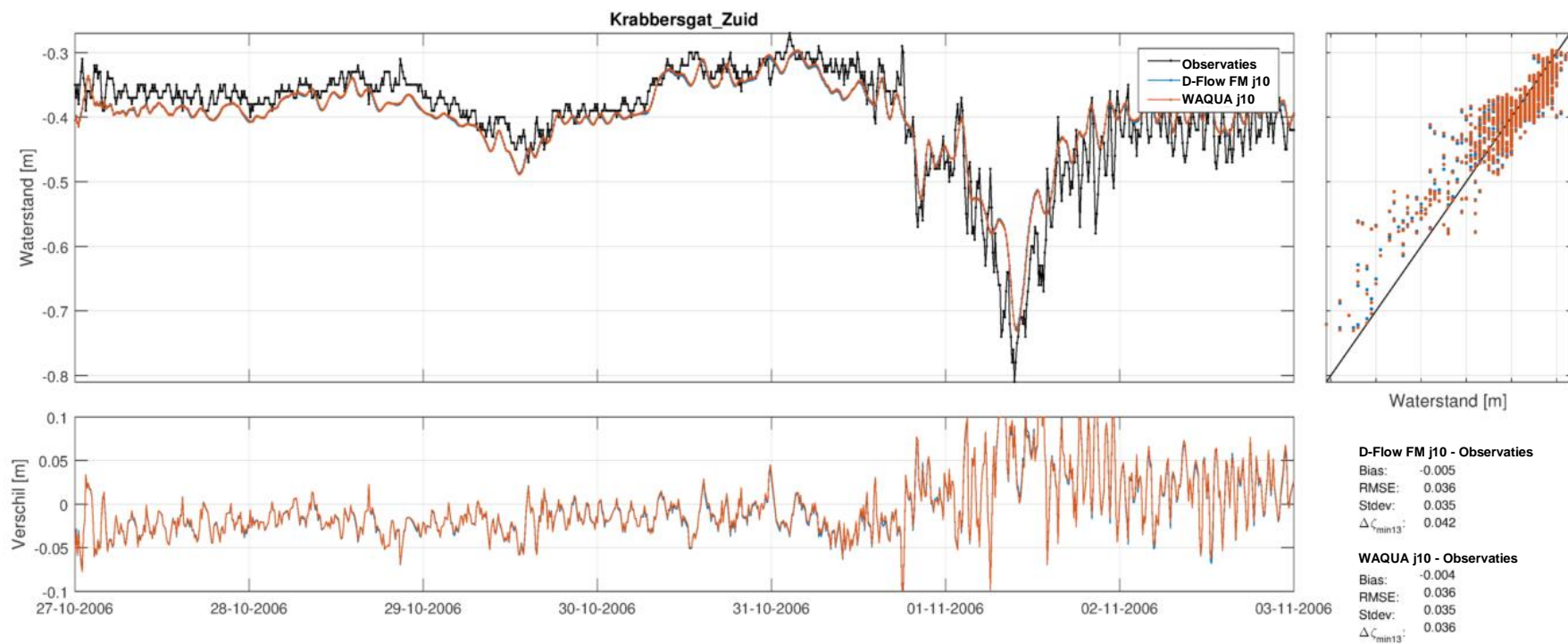
Figuur C.1 Resultaten bij Edam voor stormperiode oktober 2006 met uniforme wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.



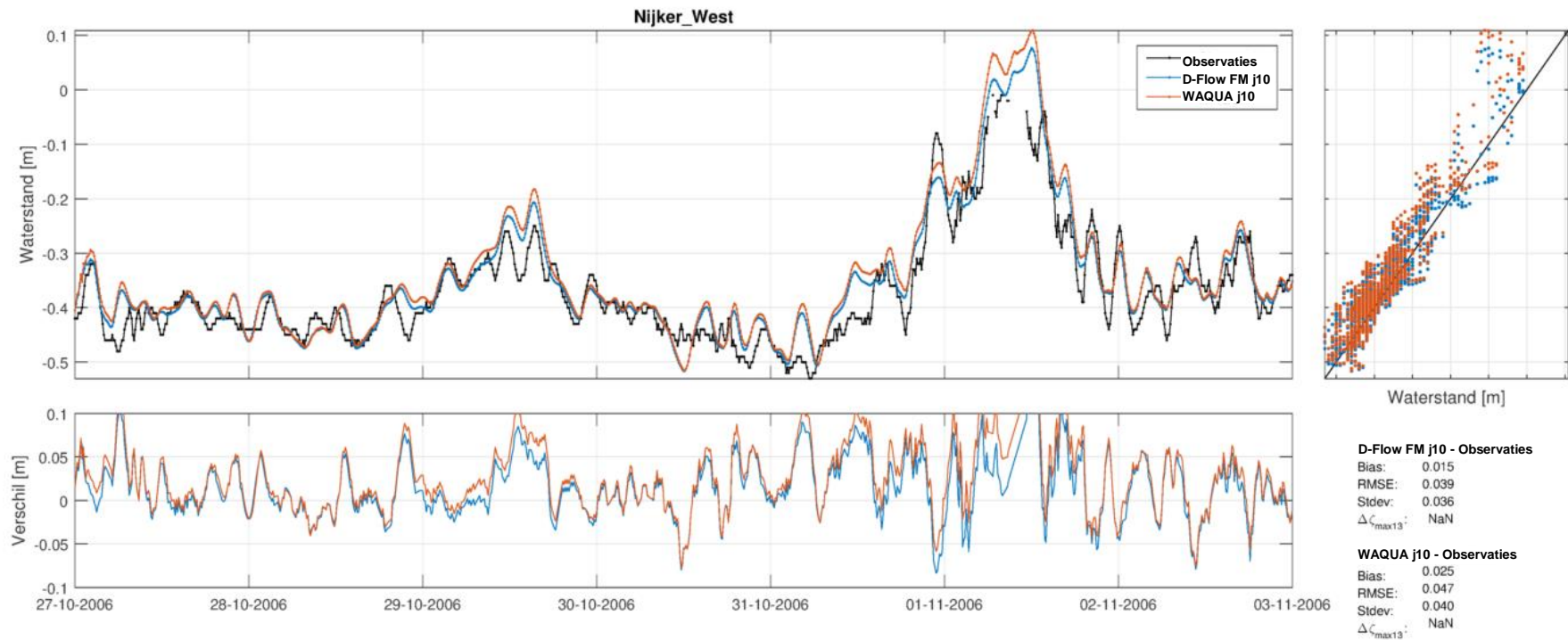
Figuur C.2 Resultaten bij Hollandse Brug voor stormperiode oktober 2006 met uniforme wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.



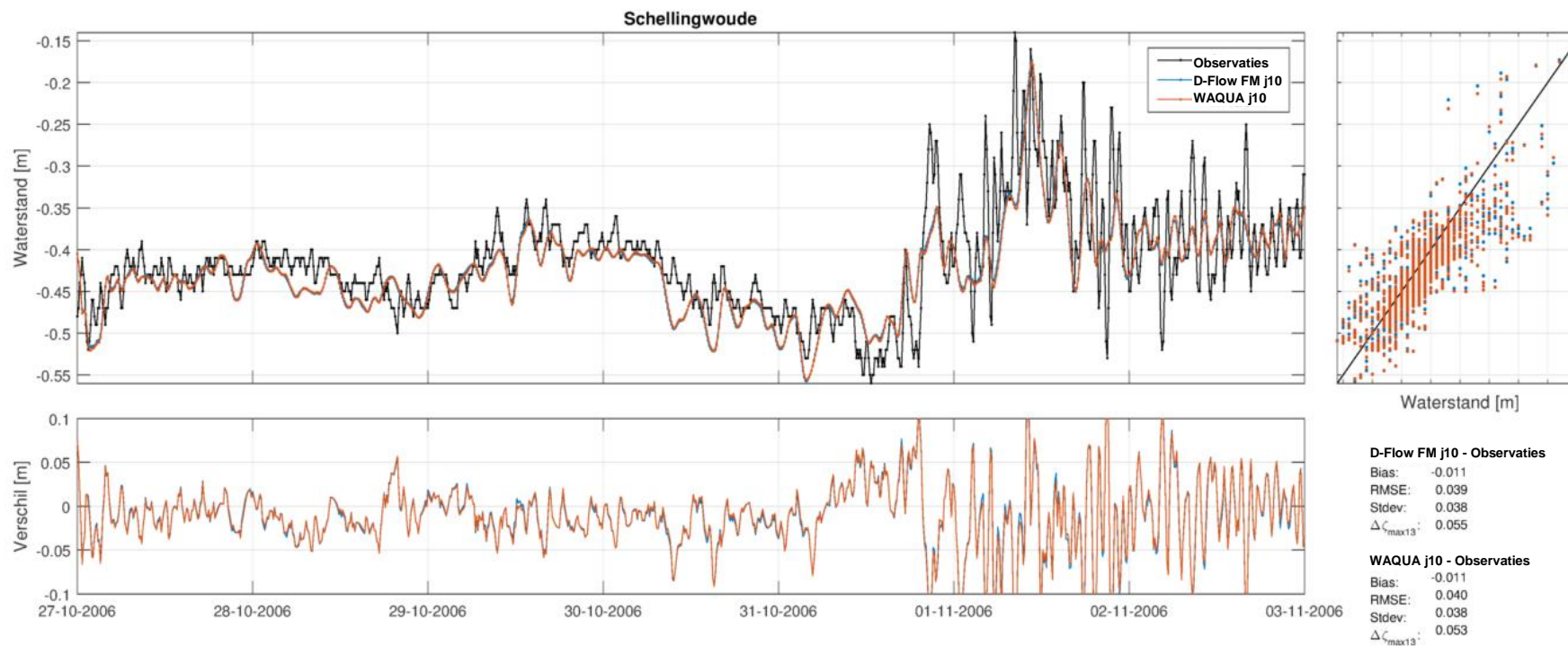
Figuur C.3 Resultaten bij Houtrib-Zuid voor stormperiode oktober 2006 met uniforme wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.



Figuur C.4 Resultaten bij Krabbersgat-Zuid voor stormperiode oktober 2006 met uniforme wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.



Figuur C.5 Resultaten bij Nijker-West voor stormperiode oktober 2006 met uniforme wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.



Figuur C.6 Resultaten bij Schellingwoude voor stormperiode oktober 2006 met uniforme wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.

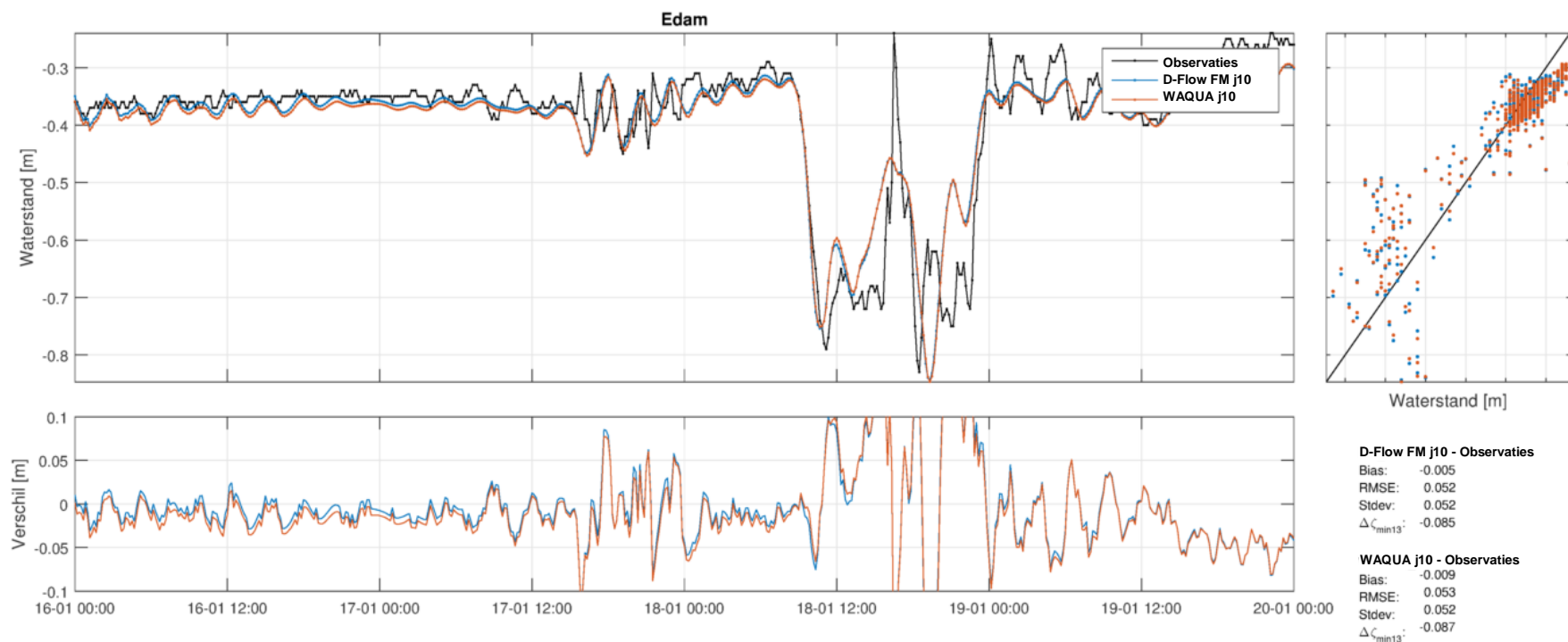
Tabel C.1 Modelprestatie voor storm oktober 2006 met uniforme wind.

Station	D-Flow FM j10 - observaties					WAQUA j10 - observaties				
	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13
Edam	0.004	0.027	0.026		0.039	0.005	0.027	0.026		0.041
Hollandse Brug	0.008	0.025	0.024		*	0.011	0.025	0.023		*
Houtrib-Zuid	-0.015	0.035	0.031		-0.042	-0.014	0.034	0.031		-0.039
Krabbersgat-Zuid	-0.005	0.036	0.035	0.042		-0.004	0.036	0.035	0.036	
Nijkerk-West	0.015	0.039	0.036		*	0.025	0.047	0.040		*
Schellingwoude	-0.011	0.039	0.038		0.055	-0.011	0.040	0.038		0.053
Mean_stations	-0.001	0.033	0.032			0.002	0.035	0.032		
RMS_stations	0.011	0.034	0.032			0.014	0.036	0.033		

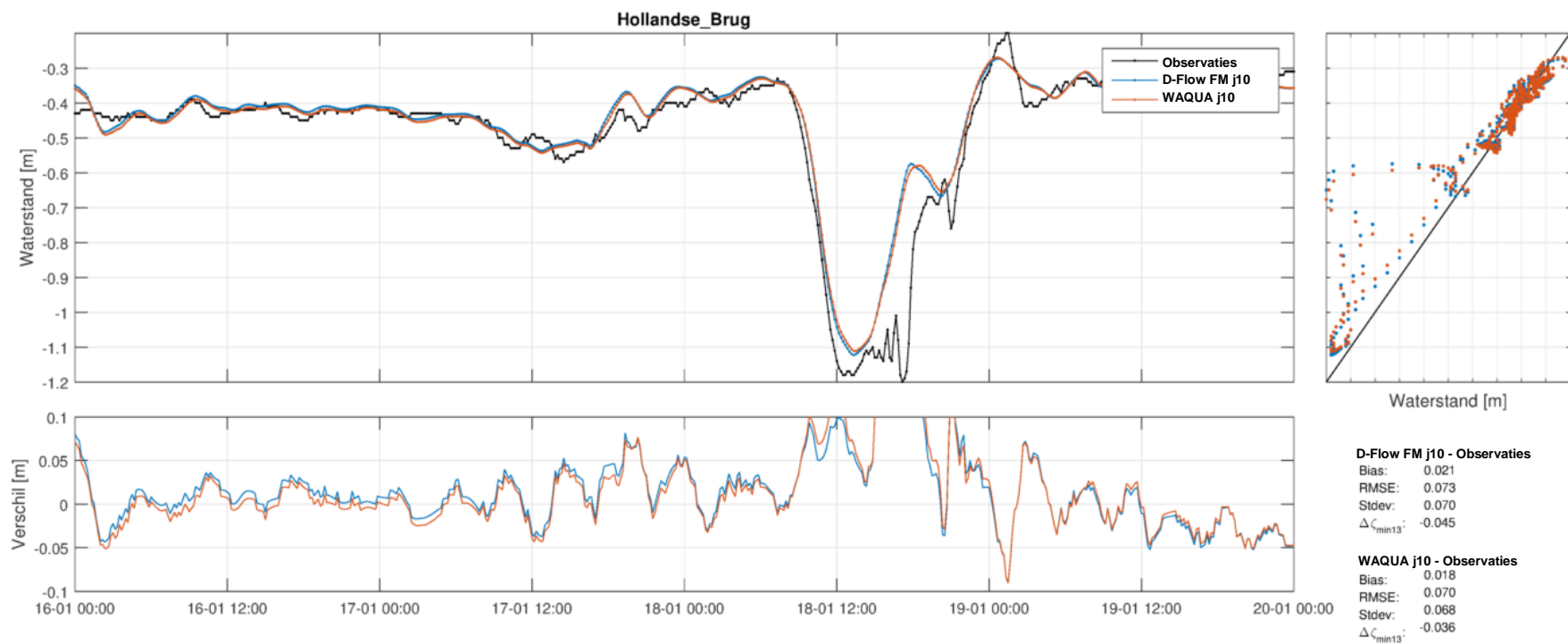
* Onvoldoende metingen rondom piek.

C.2 Storm januari 2007 Markermeer, validatie voor WAQUA j10 en D-Flow FM j10

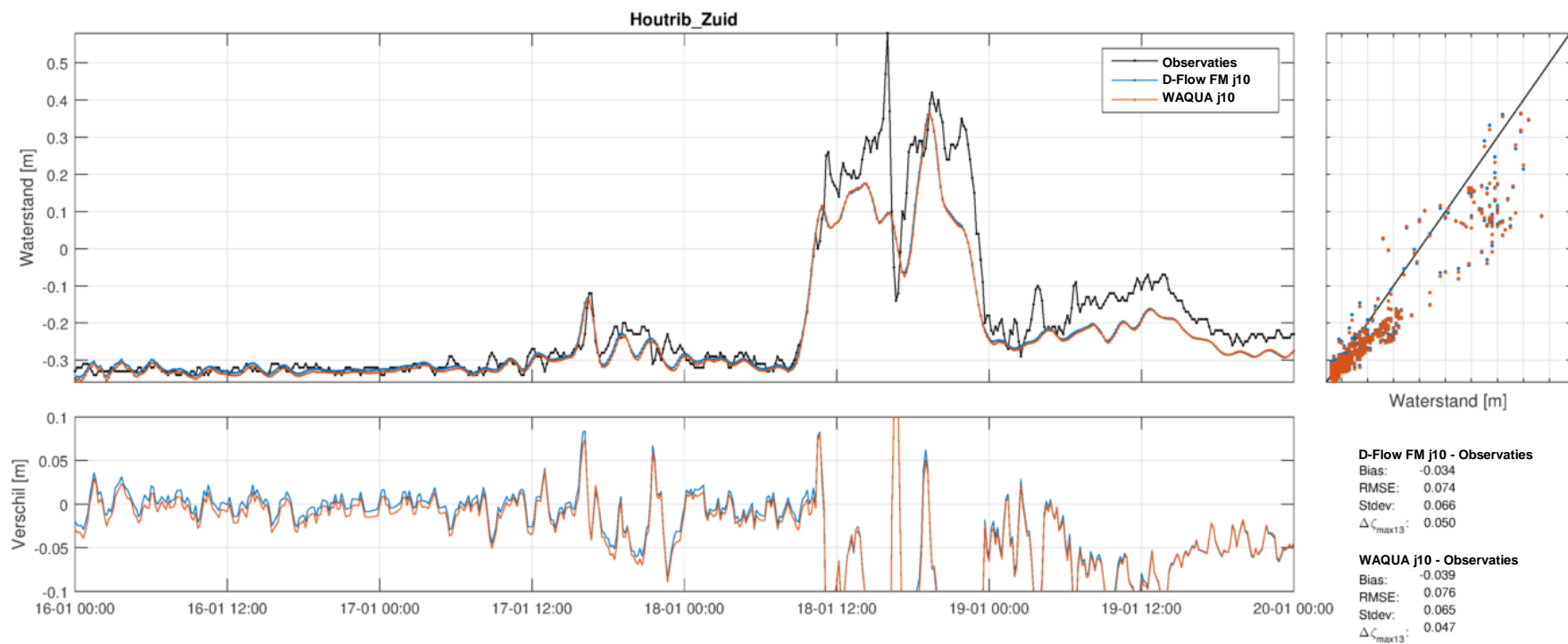
C.2.1 Uniforme wind



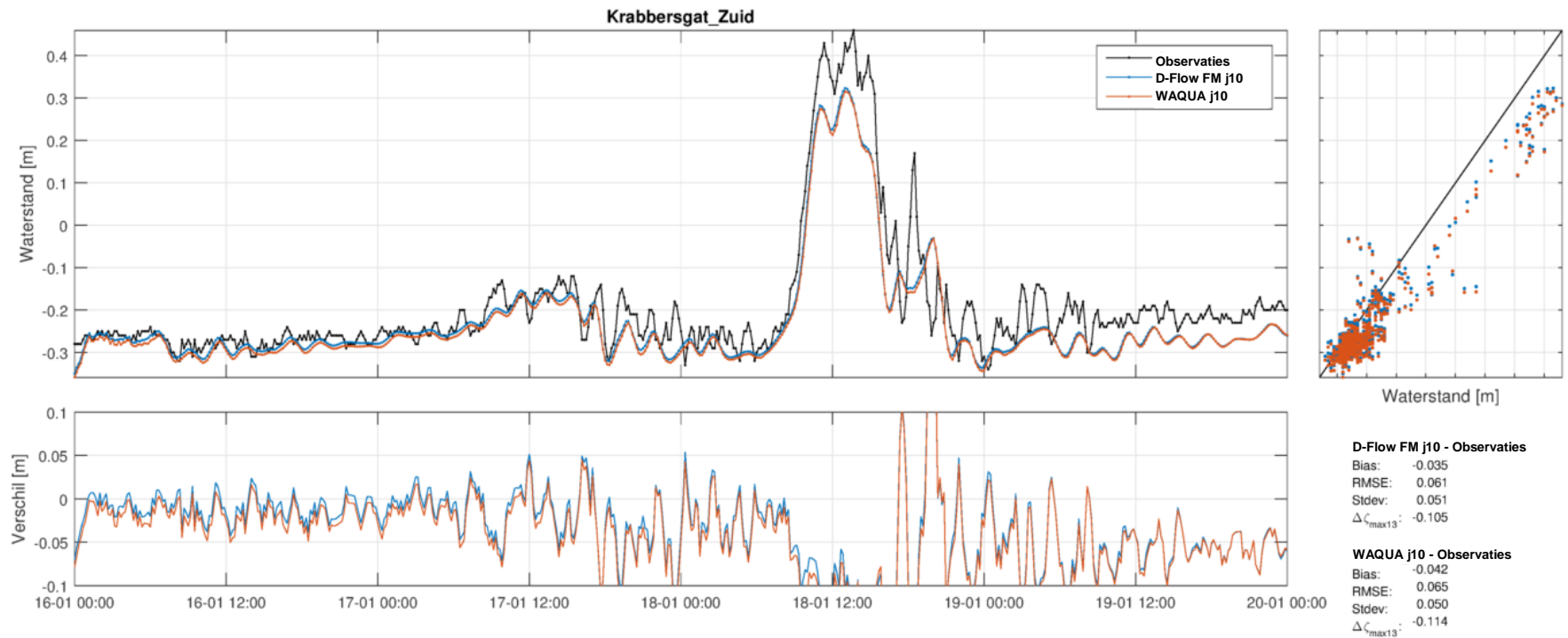
Figuur C.7 Resultaten bij Edam voor stormperiode januari 2007 met uniforme wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.



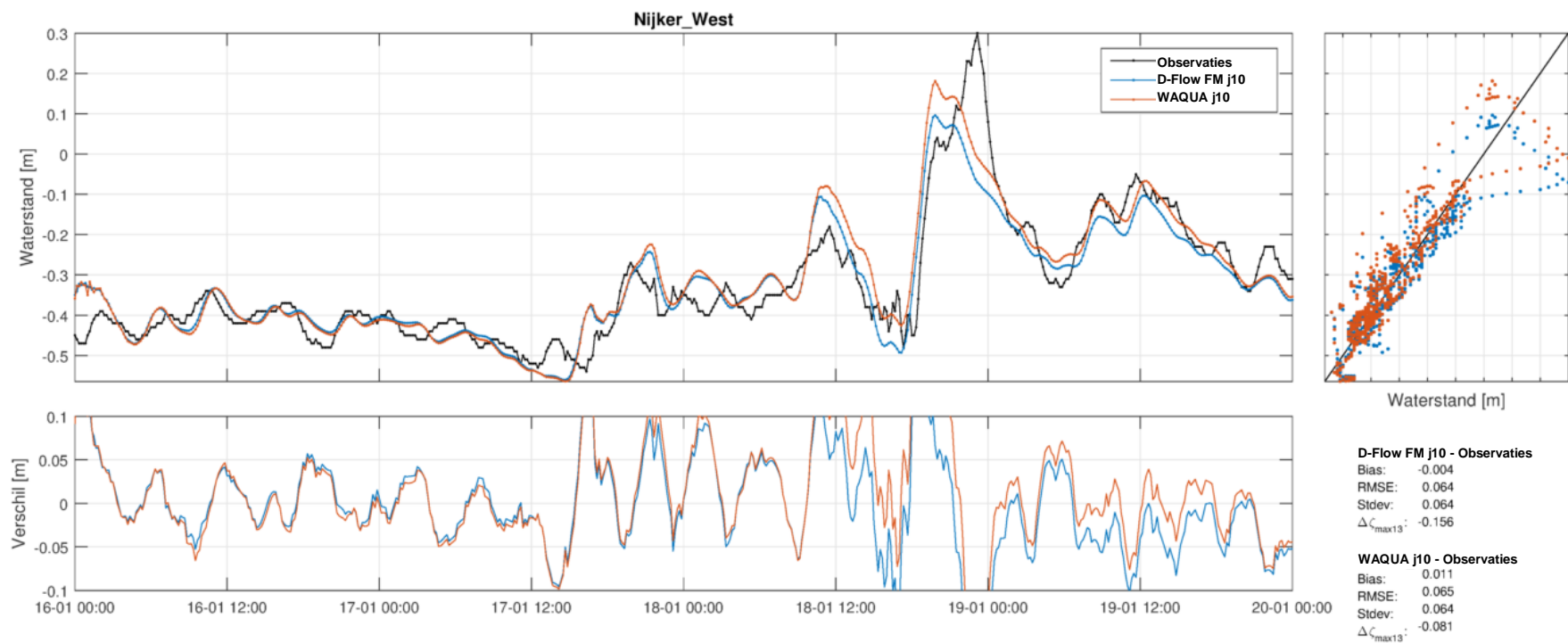
Figuur C.8 Resultaten bij Hollandse Brug voor stormperiode januari 2007 met uniforme wind. Berekening door D-Flow FM j10_5-v1 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10_5-v1 in rood.



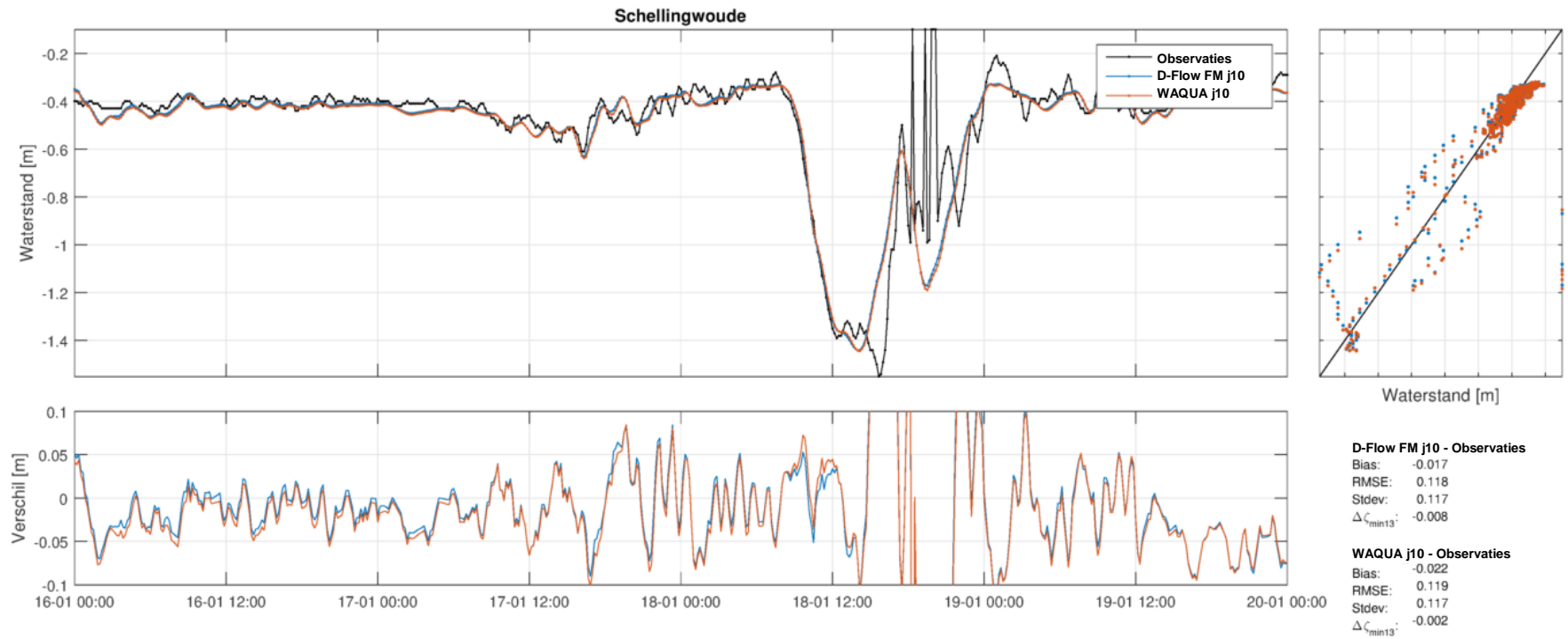
Figuur C.9 Resultaten bij Houtrib-Zuid voor stormperiode januari 2007 met uniforme wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.



Figuur C.10 Resultaten bij Krabbersgat-Zuid voor stormperiode januari 2007 met uniforme wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.



Figuur C.11 Resultaten bij Nijkerk-West voor stormperiode januari 2007 met uniforme wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.

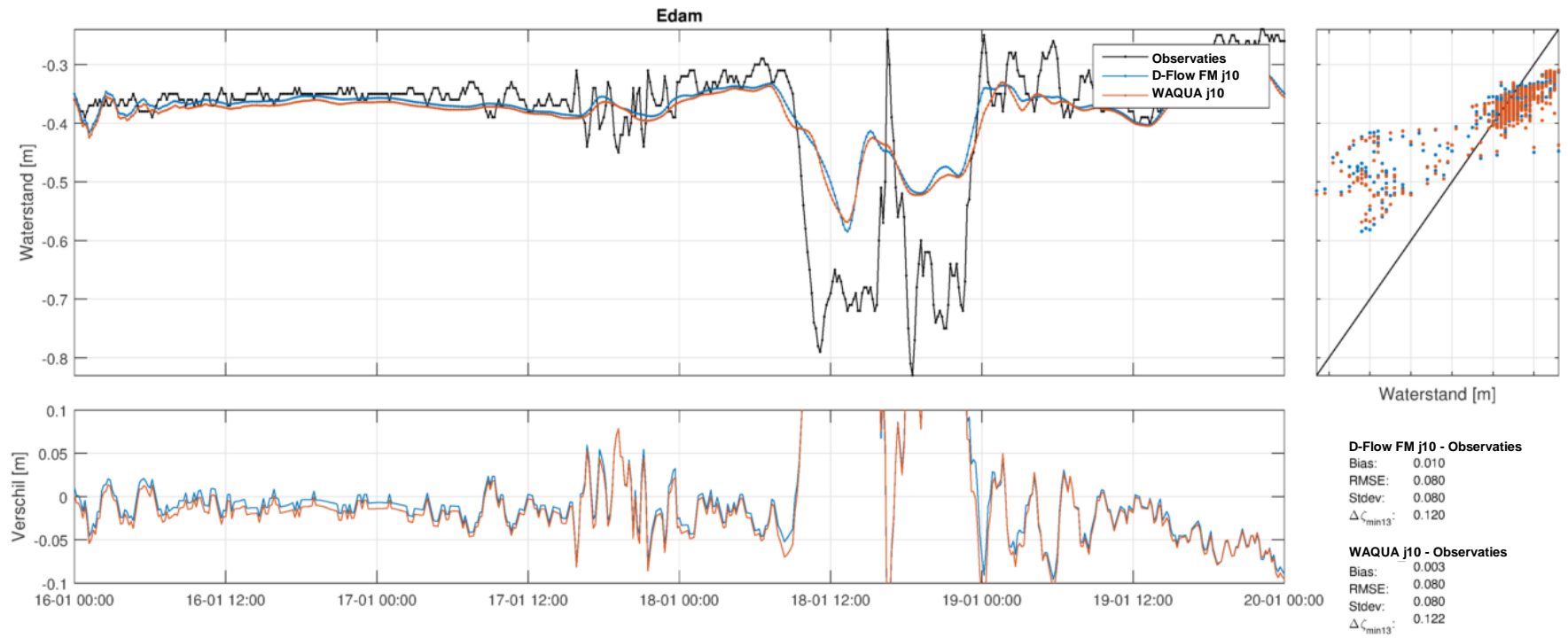


Figuur C.12 Resultaten bij Schellingwoude voor stormperiode januari 2007 met uniforme wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.

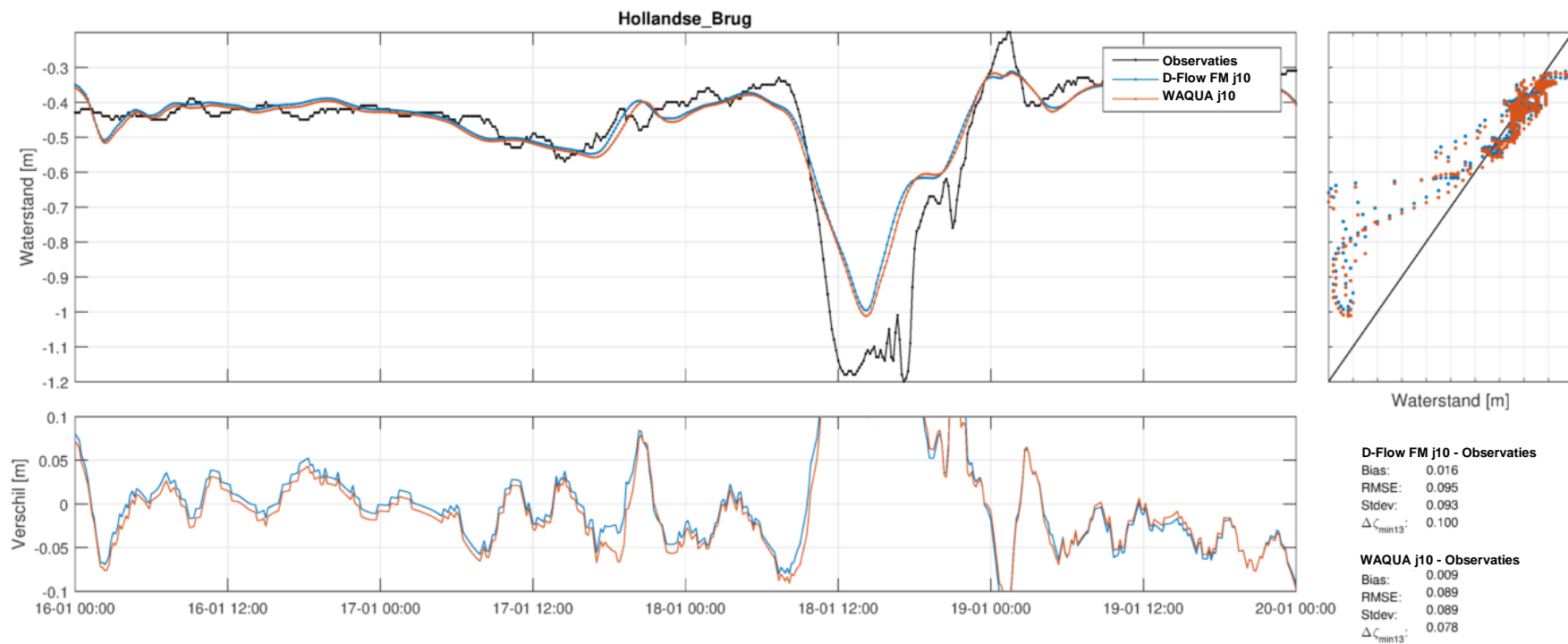
Tabel C.2 Modelprestatie voor storm januari 2007 met uniforme wind.

Station	D-Flow FM j10 - observaties					WAQUA j10 - observaties				
	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13
Edam	-0.005	0.052	0.052	-0.085		-0.009	0.053	0.052	-0.087	
Hollandse Brug	0.021	0.073	0.070	-0.045		0.018	0.070	0.068	-0.036	
Houtrib-Zuid	-0.034	0.074	0.066		0.050	-0.039	0.076	0.065		0.047
Krabbersgat-Zuid	-0.035	0.061	0.051		-0.105	-0.042	0.065	0.050		-0.114
Nijkerk-West	-0.004	0.064	0.064		-0.156	0.011	0.065	0.064		-0.081
Schellingwoude	-0.017	0.118	0.117	-0.008		-0.022	0.119	0.117	-0.002	
Mean_stations	-0.012	0.074	0.070			-0.014	0.075	0.069		
RMS_stations	0.023	0.077	0.073			0.027	0.078	0.073		

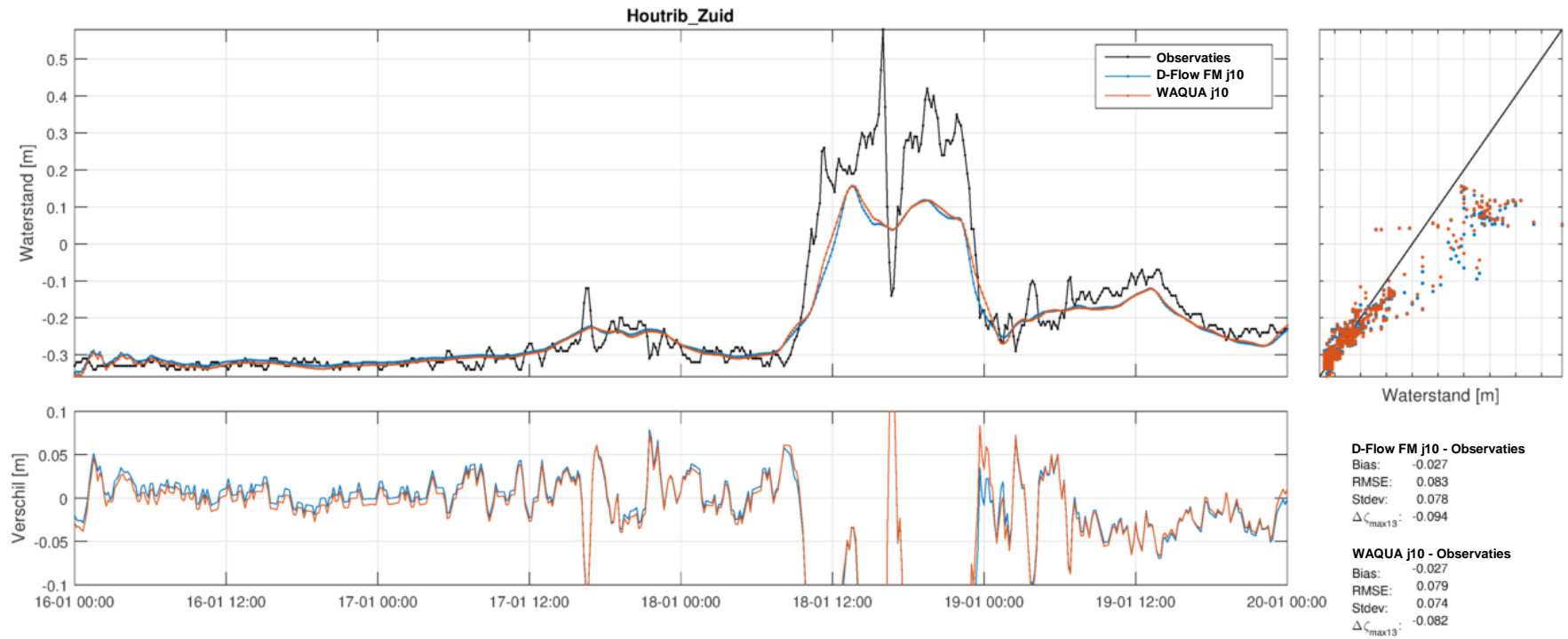
C.2.2 Ruimtelijk variërende wind



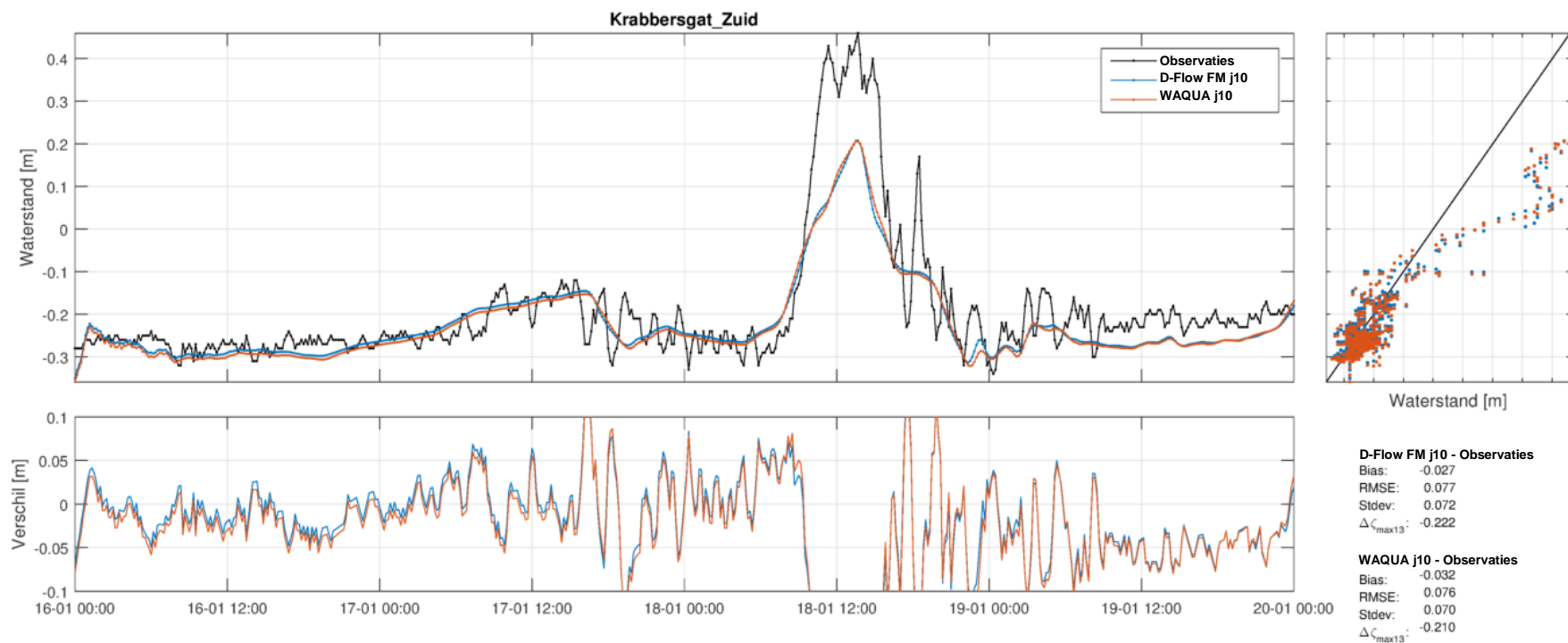
Figuur C.13 Resultaten bij Edam voor stormperiode januari 2007 met ruimtelijk variërende wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.



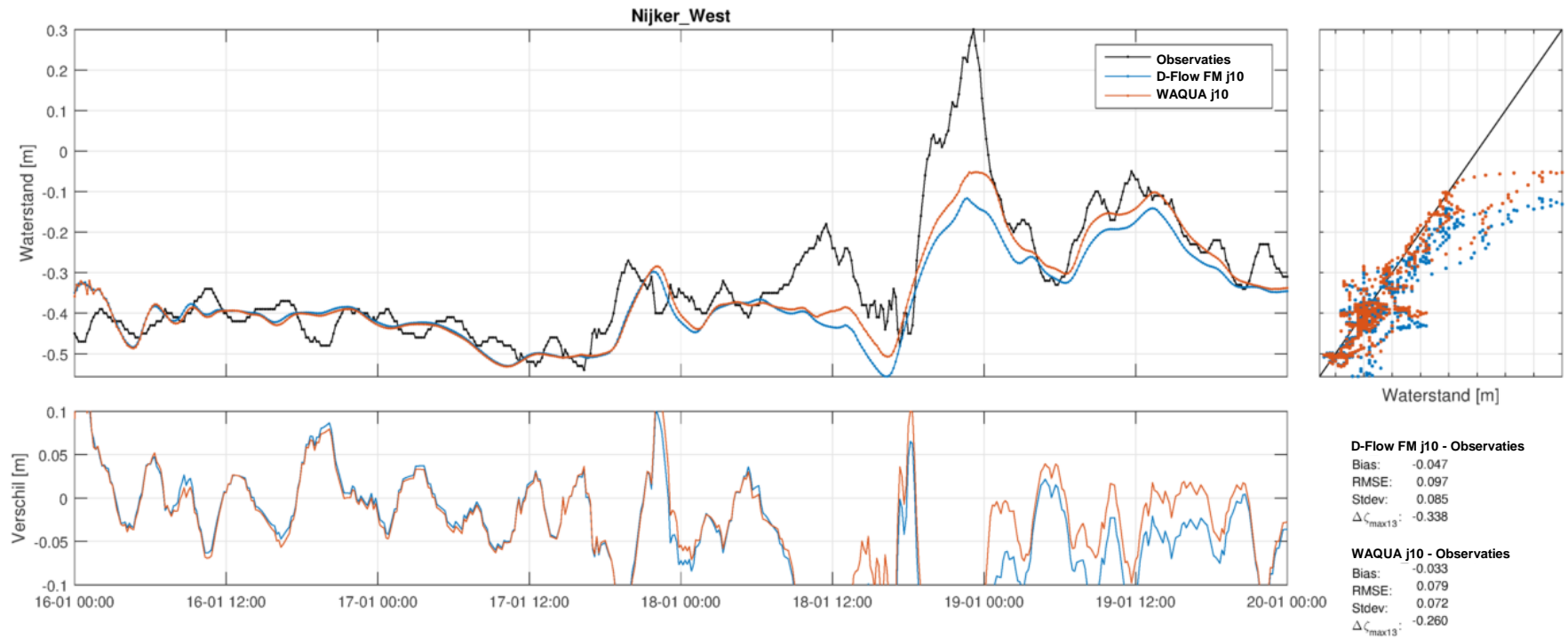
Figuur C.14 Resultaten bij Hollandse Brug voor stormperiode januari 2007 met ruimtelijk variërende wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.



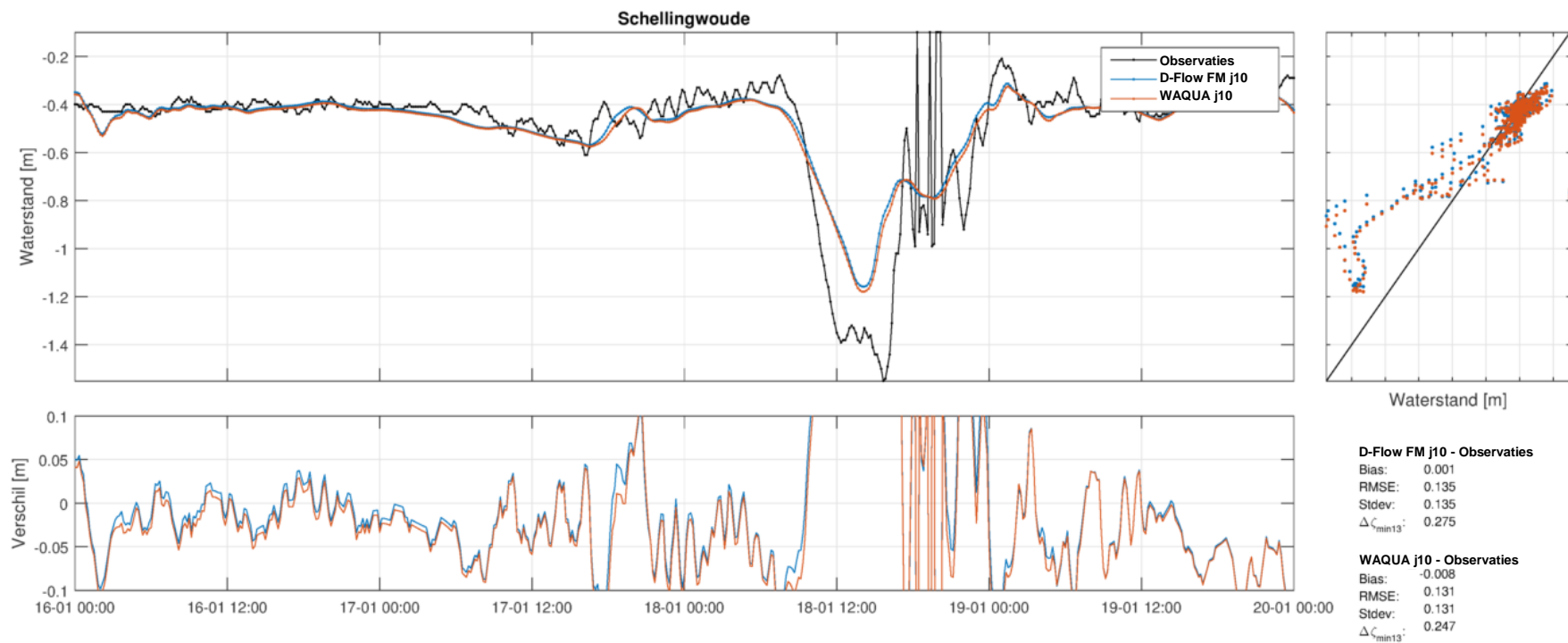
Figuur C.15 Resultaten bij Houtrib-Zuid voor stormperiode januari 2007 met ruimtelijke variërende wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.



Figuur C.16 Resultaten bij Krabbersgat-Zuid voor stormperiode januari 2007 met ruimtelijke variërende wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.



Figuur C.17 Resultaten bij Nijkerk-West voor stormperiode januari 2007 met ruimtelijke variërende wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.



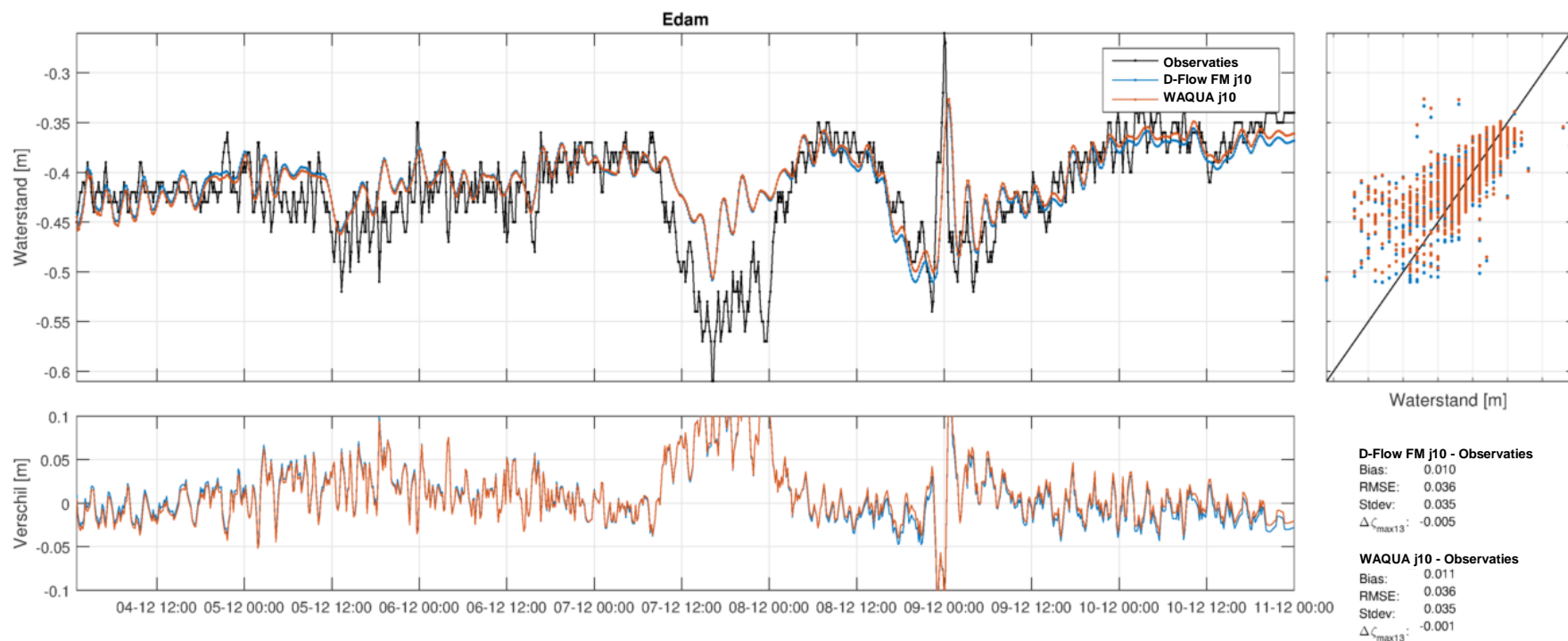
Figuur C.18 Resultaten bij Schellingwoude voor stormperiode januari 2007 met ruimtelijke variërende wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.

Tabel C.3 Modelprestatie voor storm januari 2007 met ruimtelijk variërende wind.

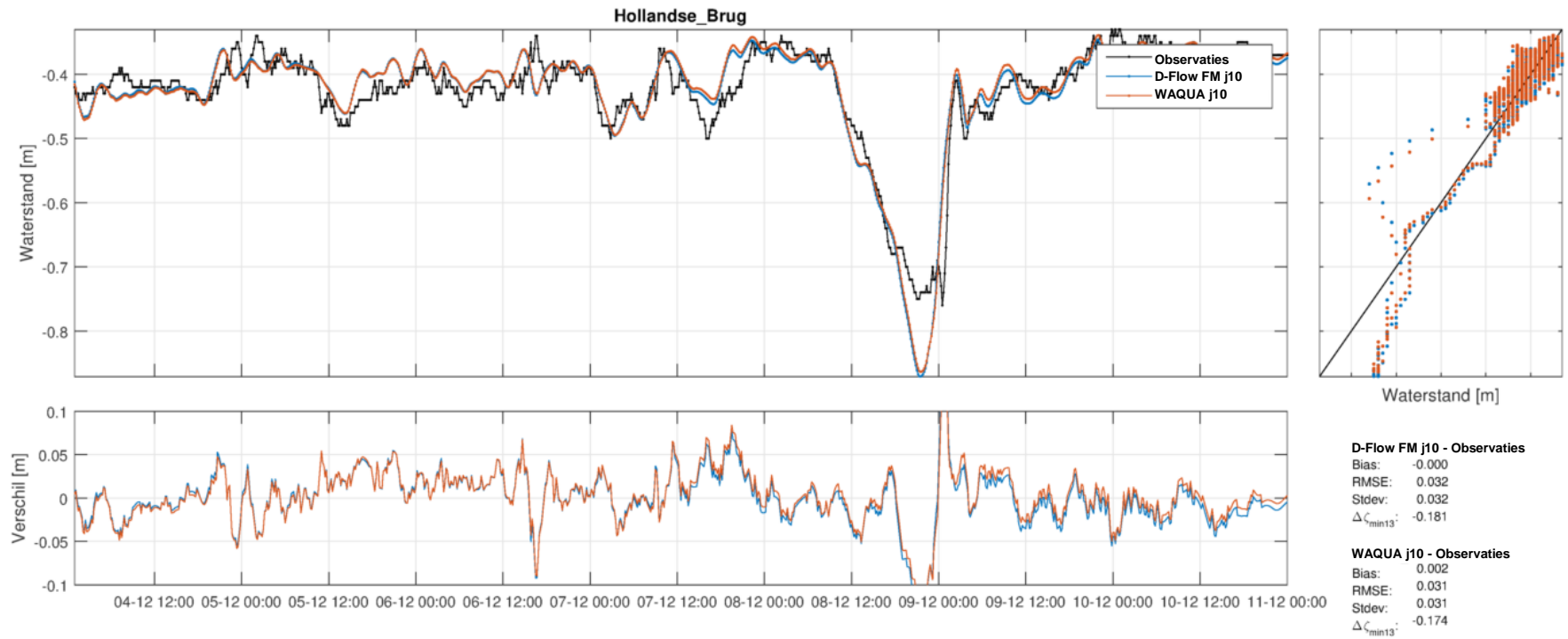
	D-Flow FM j10 - observaties					WAQUA j10 - observaties				
Station	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13
Edam	0.010	0.080	0.080	0.120		0.003	0.080	0.080	0.122	
Hollandse Brug	0.016	0.095	0.093	0.100		0.009	0.089	0.089	0.078	
Houtrib-Zuid	-0.027	0.083	0.078		-0.094	-0.027	0.079	0.074		-0.082
Krabbersgat-Zuid	-0.027	0.077	0.072		-0.222	-0.032	0.076	0.070		-0.210
Nijkerk-West	-0.047	0.097	0.085		-0.338	-0.033	0.079	0.072		-0.260
Schellingwoude	0.001	0.135	0.135	0.275		-0.008	0.131	0.131	0.247	
Mean_stations	-0.012	0.094	0.091			-0.015	0.089	0.086		
RMS_stations	0.026	0.096	0.093			0.022	0.091	0.089		

C.3 Storm december 2011 Markermeer, validatie voor WAQUA j10 en D-Flow FM j10

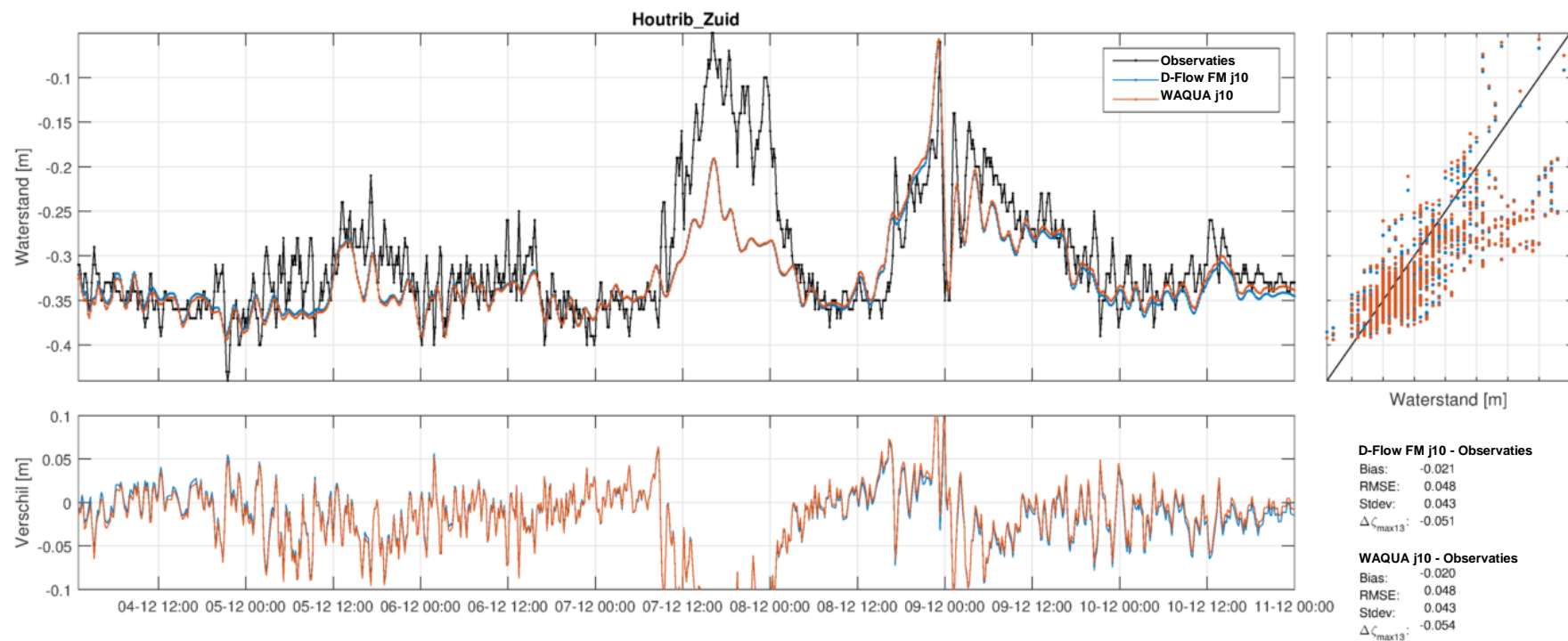
C.3.1 Uniforme wind



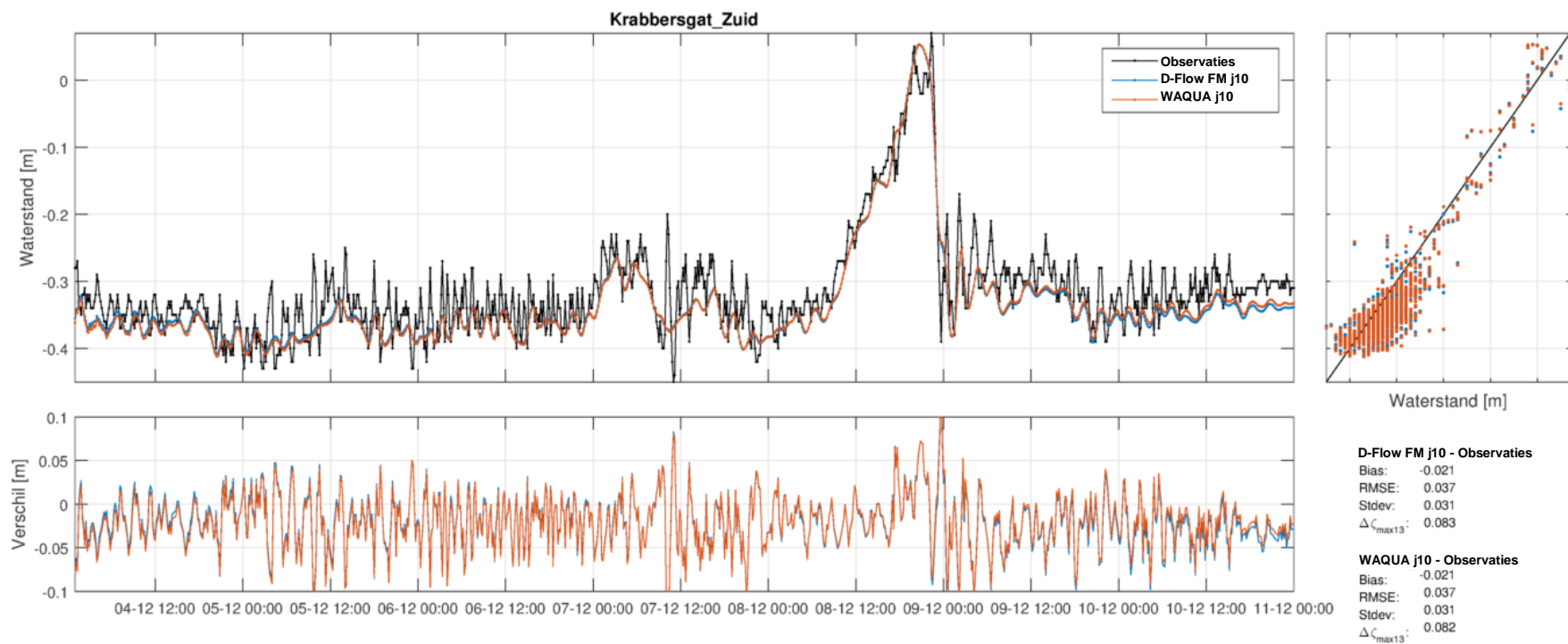
Figuur C.19 Resultaten bij Edam voor stormperiode december 2011 met uniforme wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.



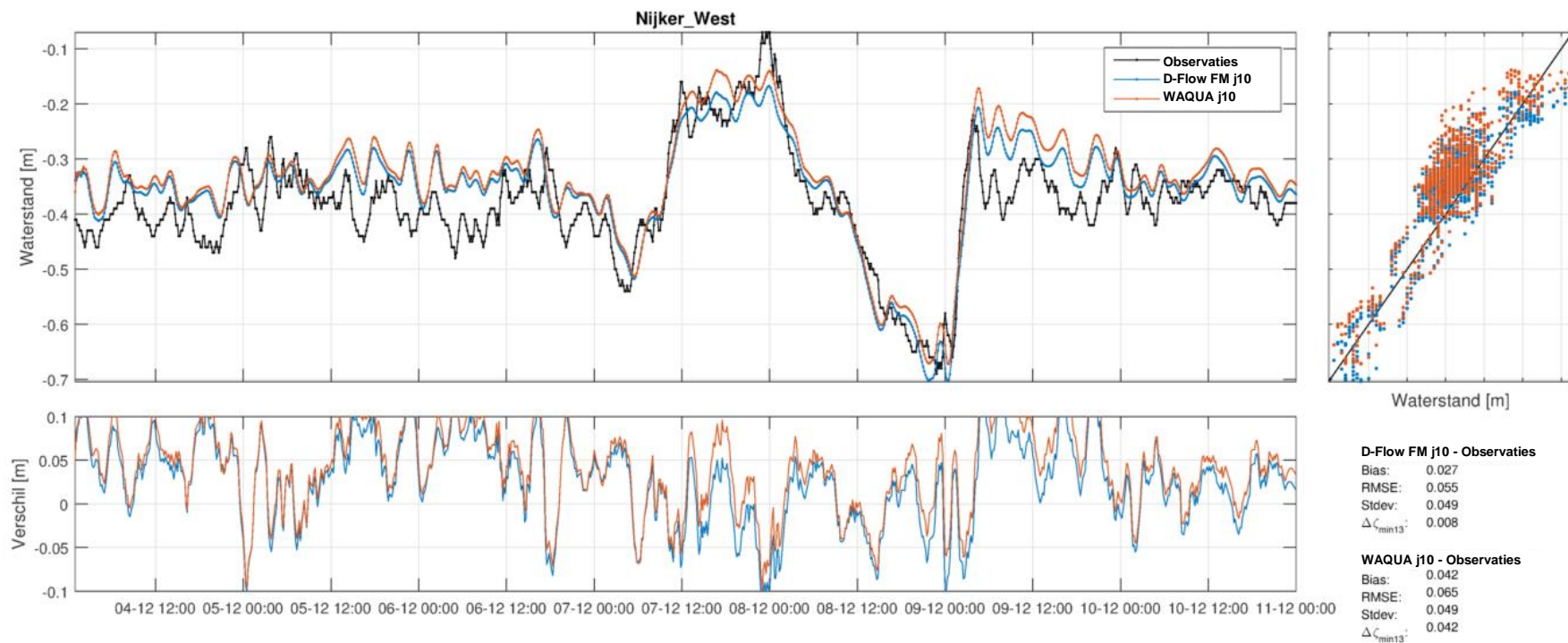
Figuur C.20 Resultaten bij Hollandse Brug voor stormperiode december 2011 met uniforme wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.



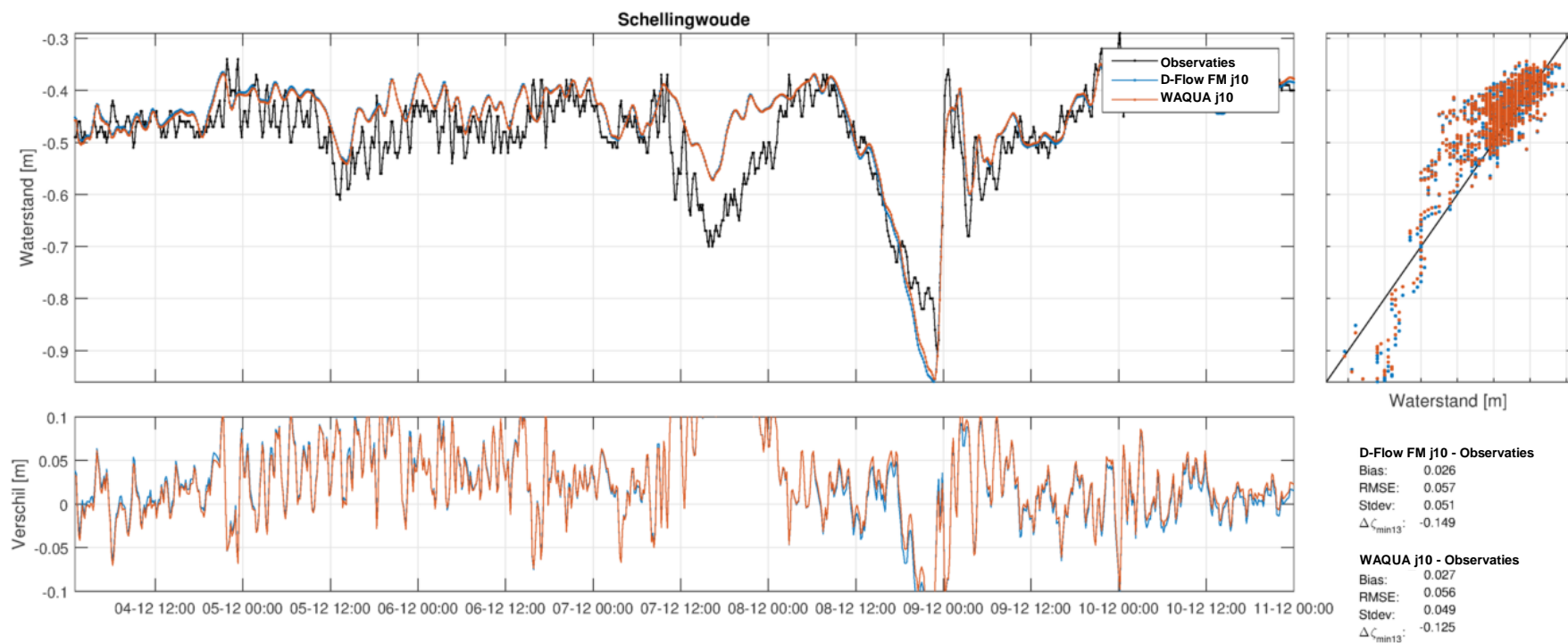
Figuur C.21 Resultaten bij Houtrib-Zuid voor stormperiode december 2011 met uniforme wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.



Figuur C.22 Resultaten bij Krabbersgat-Zuid voor stormperiode december 2011 met uniforme wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.



Figuur C.23 Resultaten bij Nijkerk-West voor stormperiode december 2011 met uniforme wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.

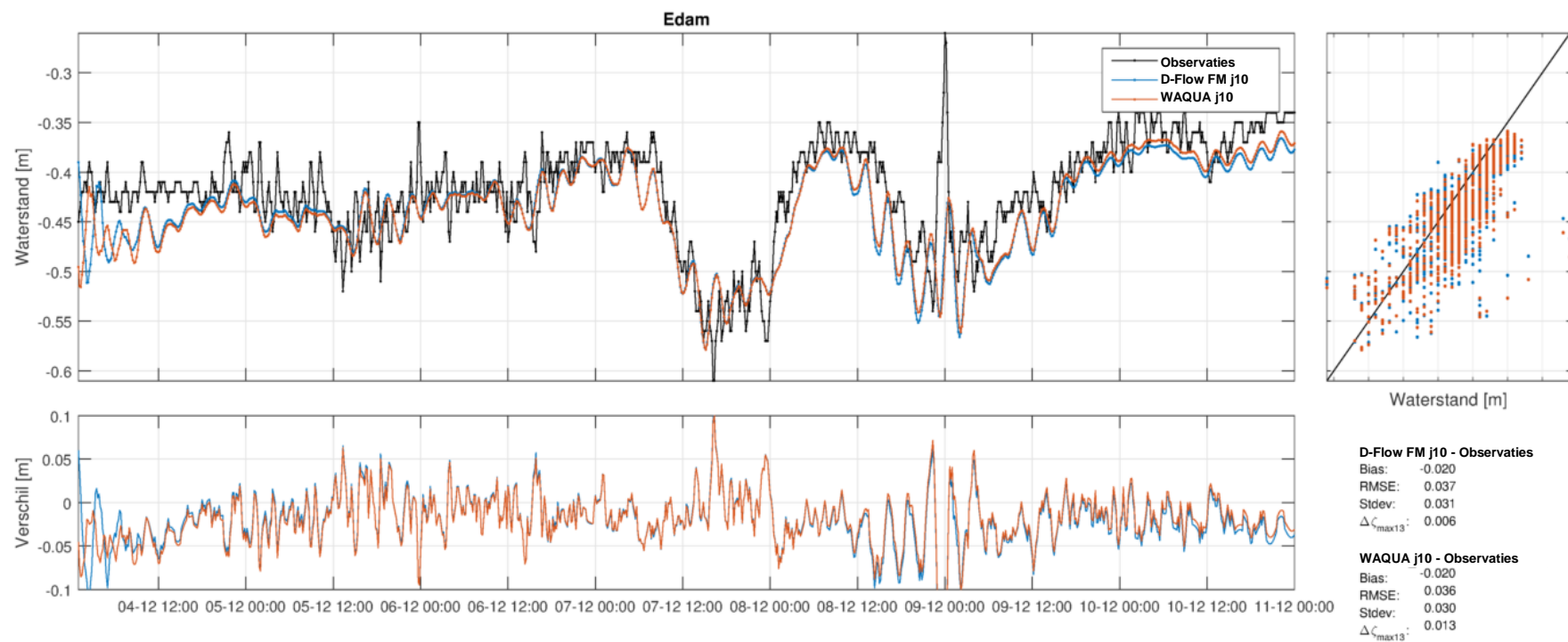


Figuur C.24 Resultaten bij Schellingwoude voor stormperiode december 2011 met uniforme wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.

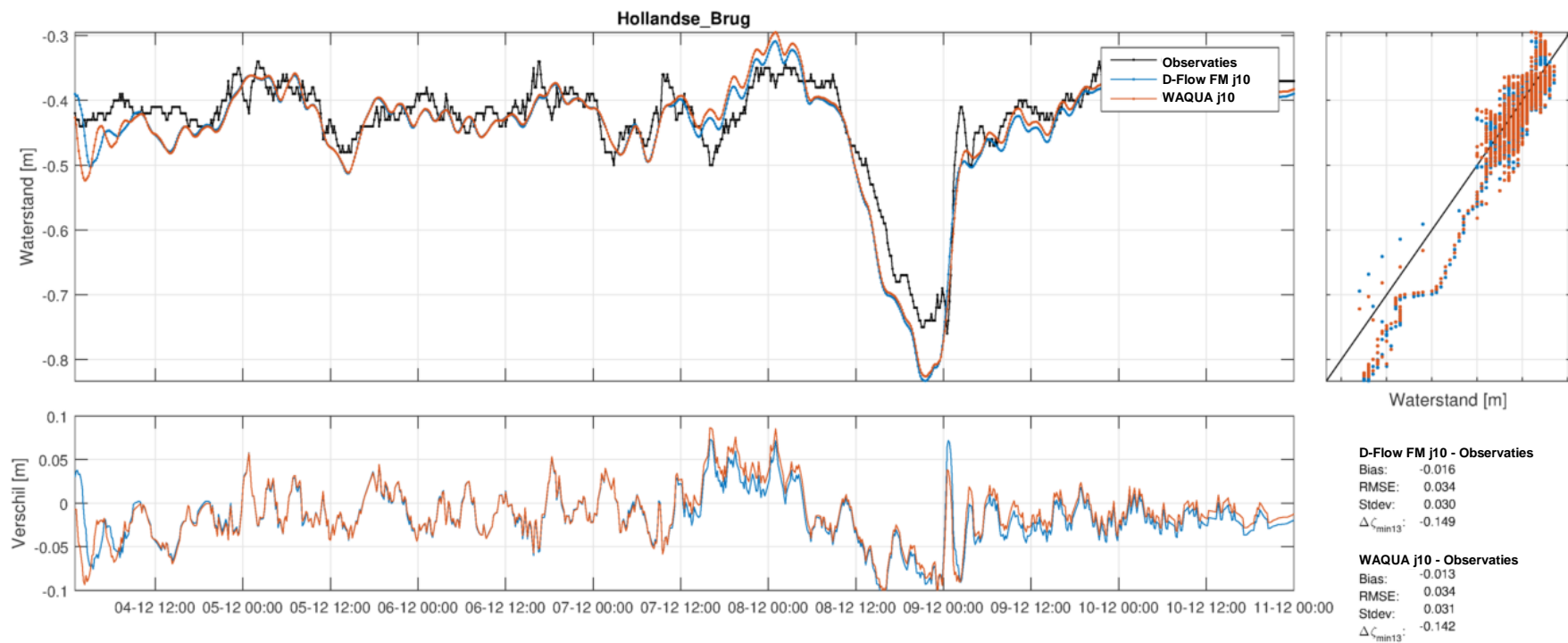
Tabel C.4 Modelprestatie voor storm december 2011 met uniforme wind.

Station	D-Flow FM j10 - observaties					WAQUA j10 - observaties				
	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13
Edam	0.010	0.036	0.035		-0.005	0.011	0.036	0.034		-0.001
Hollandse Brug	-0.000	0.032	0.032	-0.181		0.002	0.031	0.031	-0.174	
Houtrib-Zuid	-0.021	0.048	0.043		-0.051	-0.020	0.048	0.043		-0.054
Krabbersgat-Zuid	-0.021	0.037	0.031		0.083	-0.021	0.037	0.031		0.082
Nijkerk-West	0.027	0.055	0.049	0.008		0.042	0.065	0.049	0.042	
Schellingwoude	0.026	0.057	0.051	-0.149		0.027	0.056	0.049	-0.125	
Mean_stations	0.003	0.044	0.040			0.007	0.046	0.040		
RMS_stations	0.020	0.045	0.041			0.024	0.047	0.040		

C.3.2 Ruimtelijk variërende wind

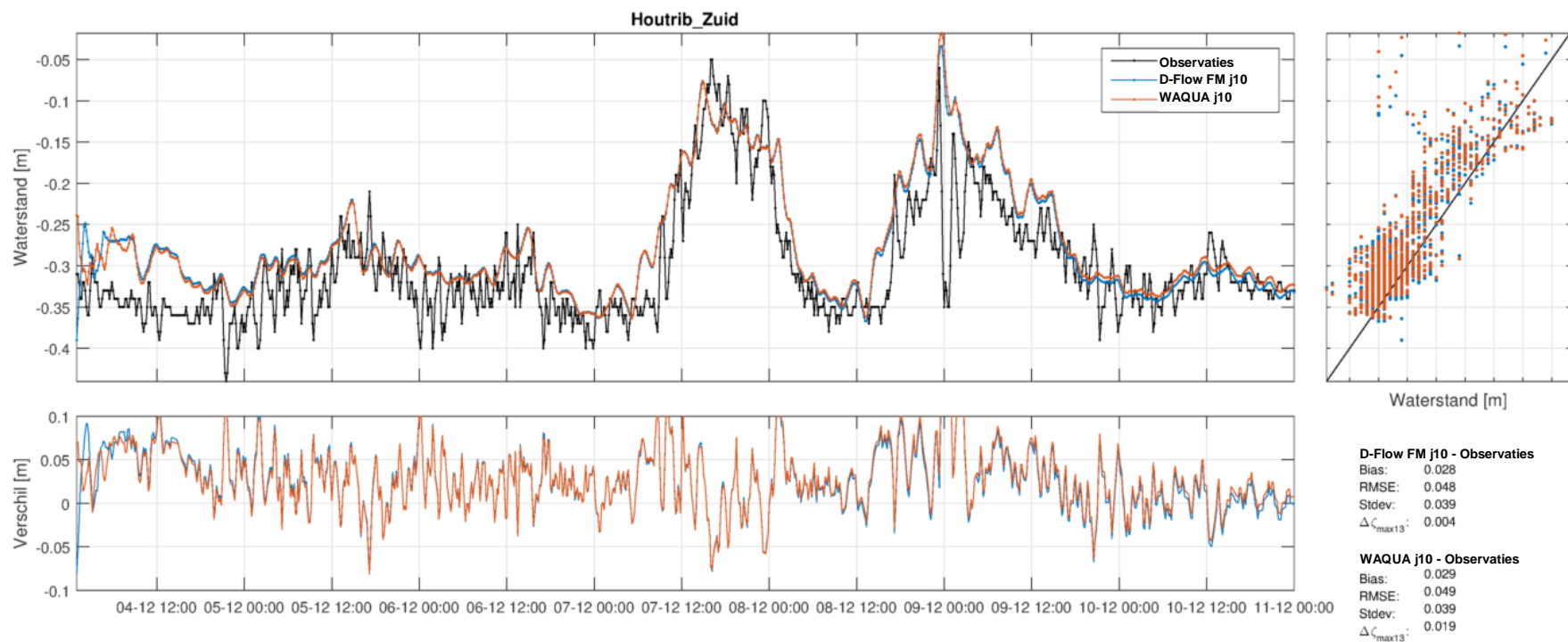


Figuur C.25 Resultaten bij Edam voor stormperiode december 2011 met ruimtelijk variërende wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.

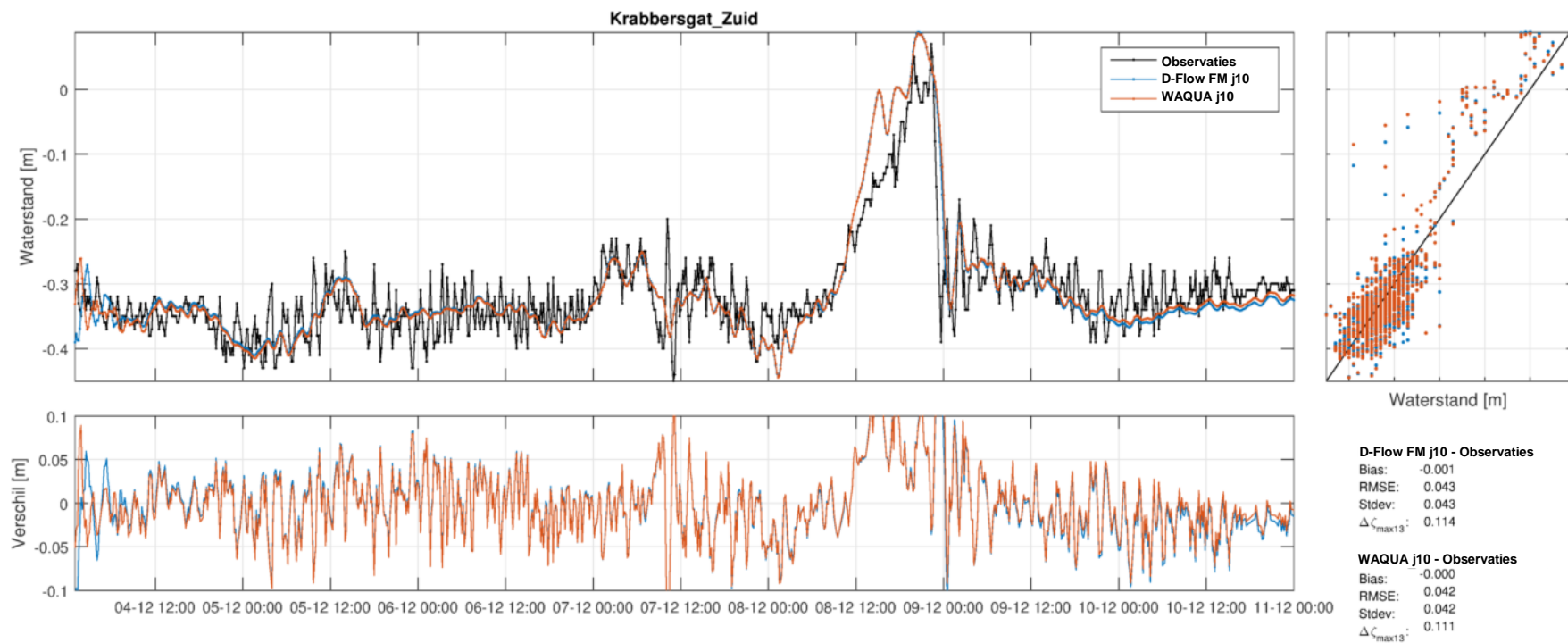


Figuur C.26 Resultaten bij Hollandse Brug voor stormperiode december 2011 met ruimtelijk variërende wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.

11200569-009-ZWS-0013, 18 december 2019, definitief

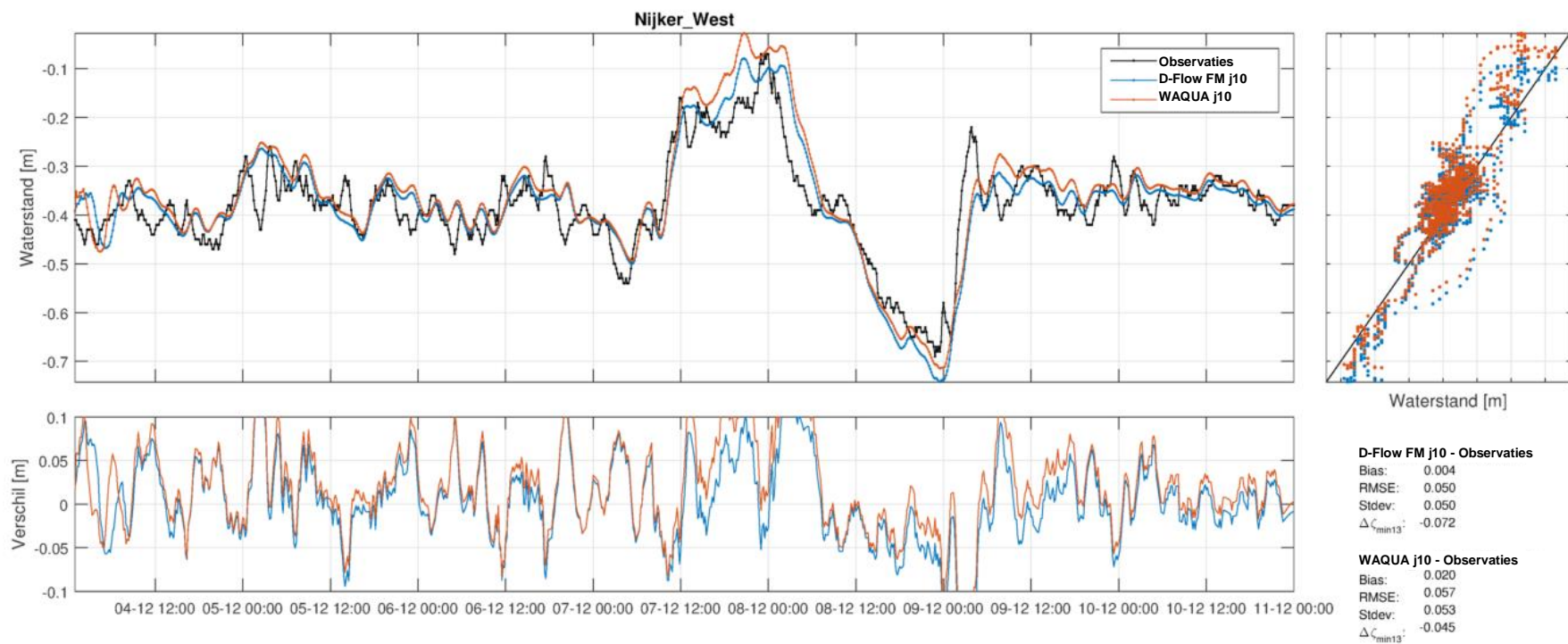


Figuur C.27 Resultaten bij Houtrib-Zuid voor stormperiode december 2011 met ruimtelijk variërende wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.

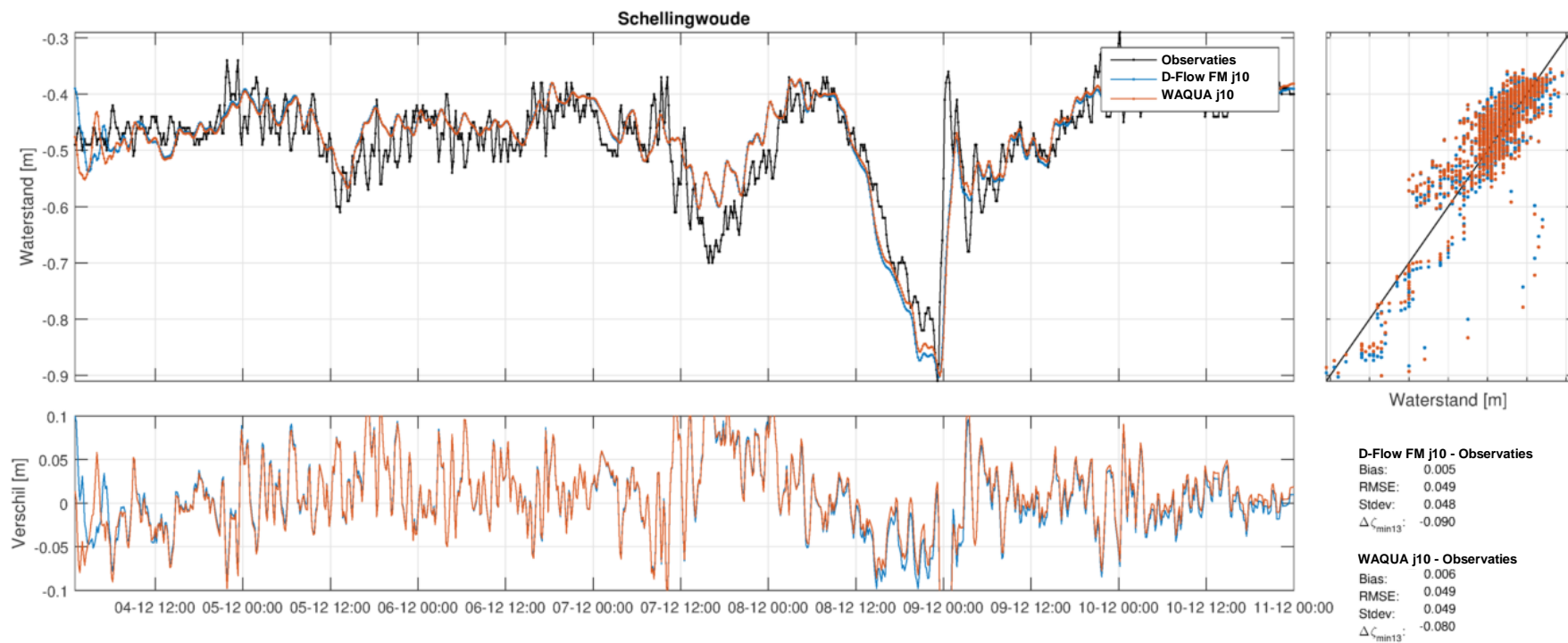


Figuur C.28 Resultaten bij Krabbersgat-Zuid voor stormperiode december 2011 met ruimtelijk variërende wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.

11200569-009-ZWS-0013, 18 december 2019, definitief



Figuur C.29 Resultaten bij Nijkerk-West voor stormperiode december 2011 met ruimtelijk variërende wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.



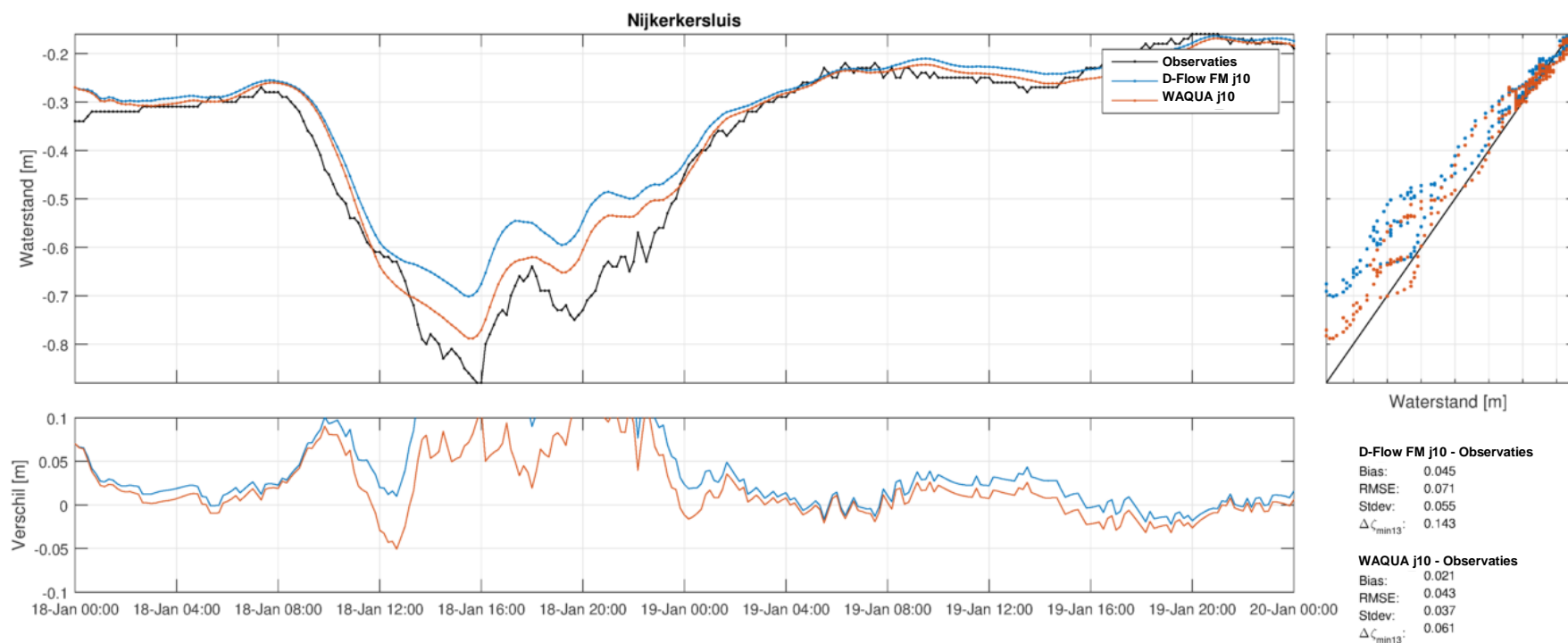
Figuur C.30 Resultaten bij Schellingwoude voor stormperiode december 2011 met ruimtelijk variërende wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.

Tabel C.5 Modelprestatie voor storm december 2011 met ruimtelijk variërende wind.

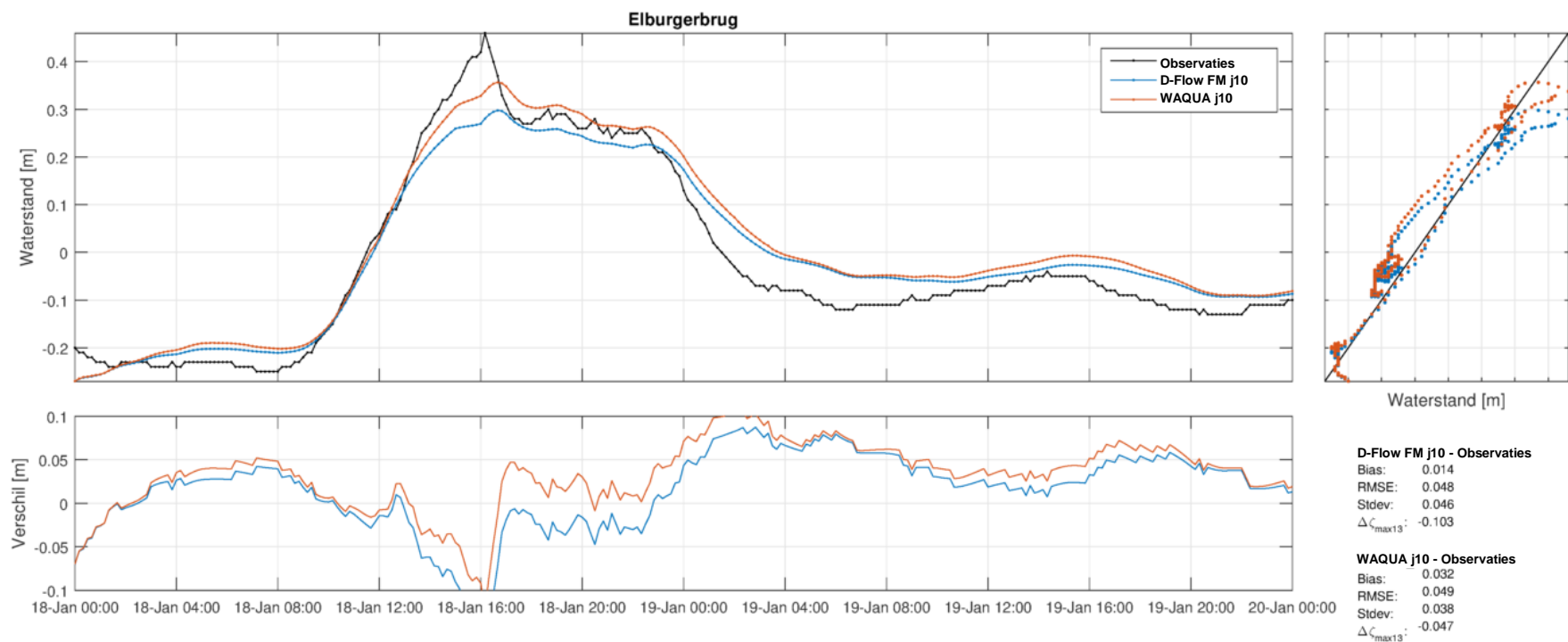
Station	D-Flow FM j10 - observaties					WAQUA j10 - observaties				
	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13
Edam	-0.020	0.037	0.031		0.006	-0.020	0.036	0.030		0.013
Hollandse Brug	-0.016	0.034	0.030	-0.149		-0.013	0.034	0.031	-0.142	
Houtrib-Zuid	0.028	0.048	0.039		0.004	0.029	0.049	0.039		0.019
Krabbersgat-Zuid	-0.001	0.043	0.043		0.114	-0.001	0.042	0.042		0.111
Nijkerk-West	0.004	0.050	0.050	-0.072		0.020	0.057	0.053	-0.045	
Schellingwoude	0.005	0.048	0.048	-0.090		0.006	0.049	0.049	-0.080	
Mean_stations	0.000	0.043	0.040			0.004	0.044	0.041		
RMS_stations	0.016	0.044	0.041			0.018	0.045	0.042		

C.4 Storm januari 2007 Veluwerandmeren, validatie voor WAQUA j10 en D-Flow FM j10

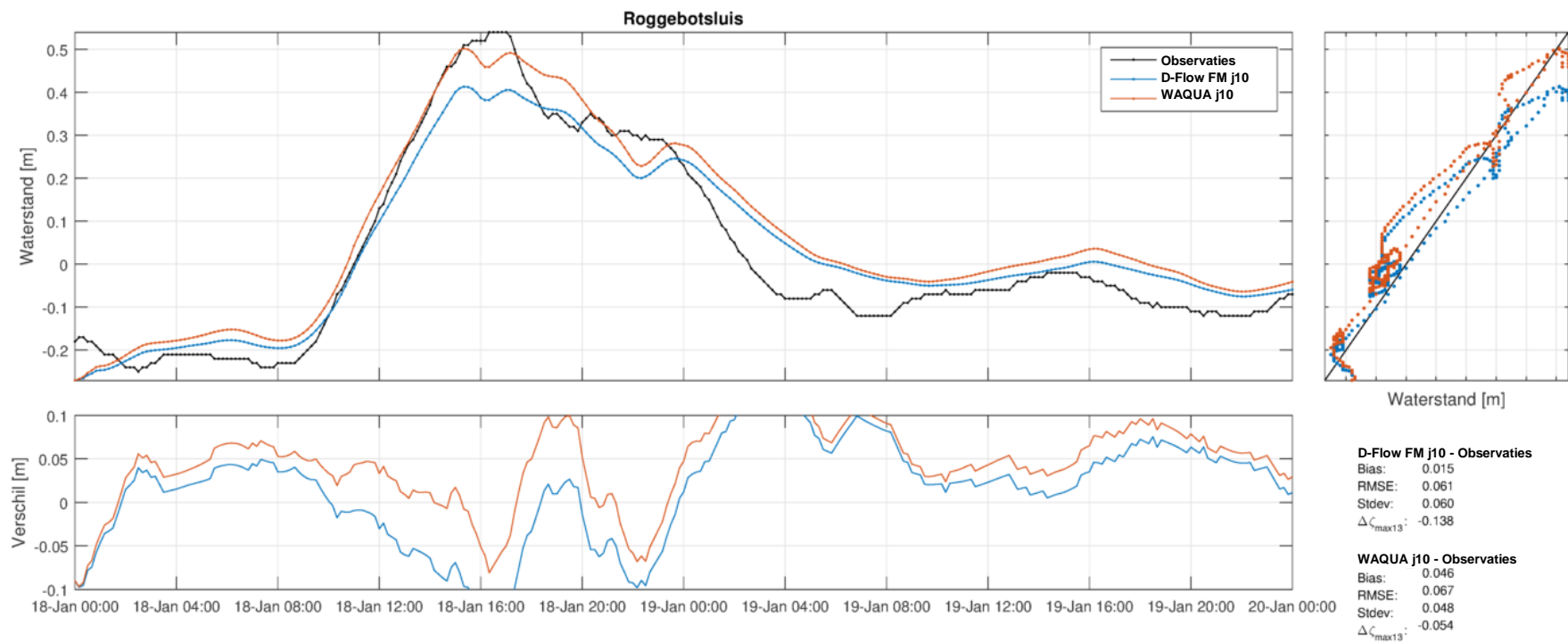
C.4.1 Uniforme wind



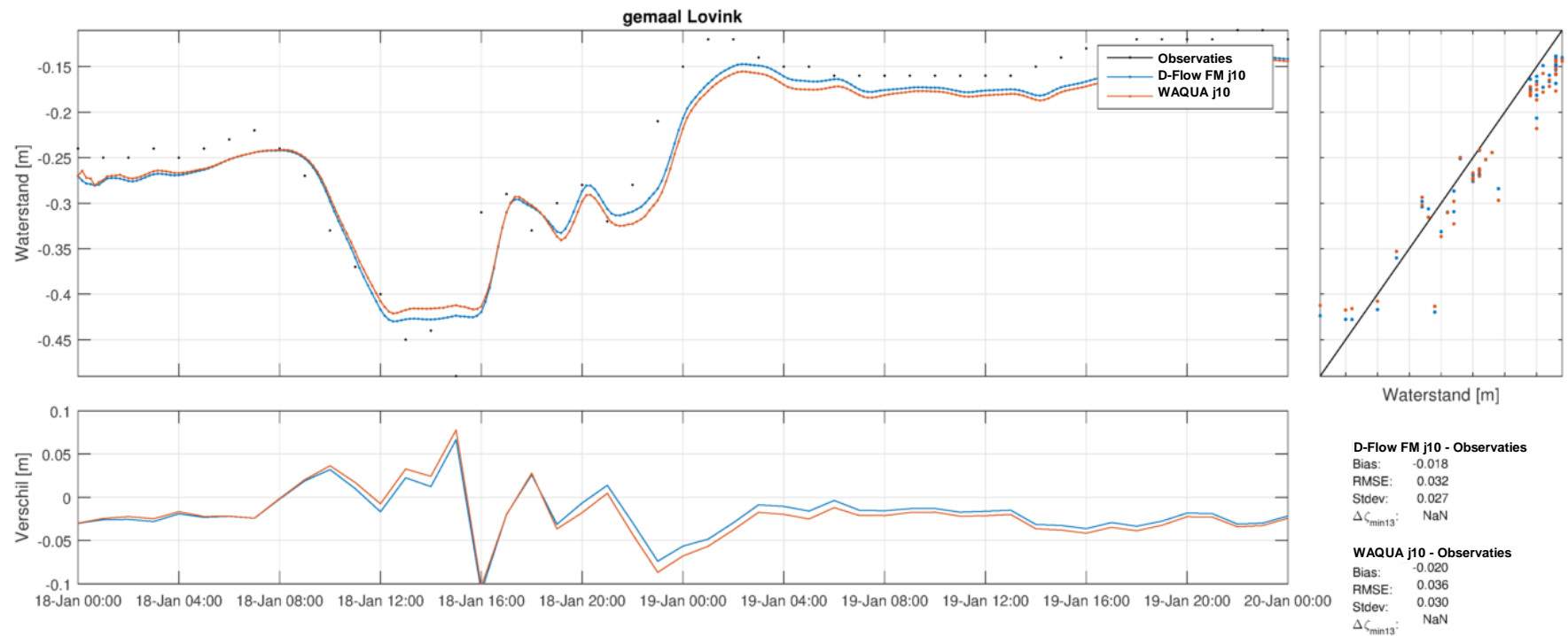
Figuur C.31 Resultaten bij Nijkerk voor stormperiode januari 2007 met uniforme wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.



Figuur C.32 Resultaten bij Elburg voor stormperiode januari 2007 met uniforme wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.



Figuur C.33 Resultaten bij Roggebotsluis voor stormperiode januari 2007 met uniforme wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.



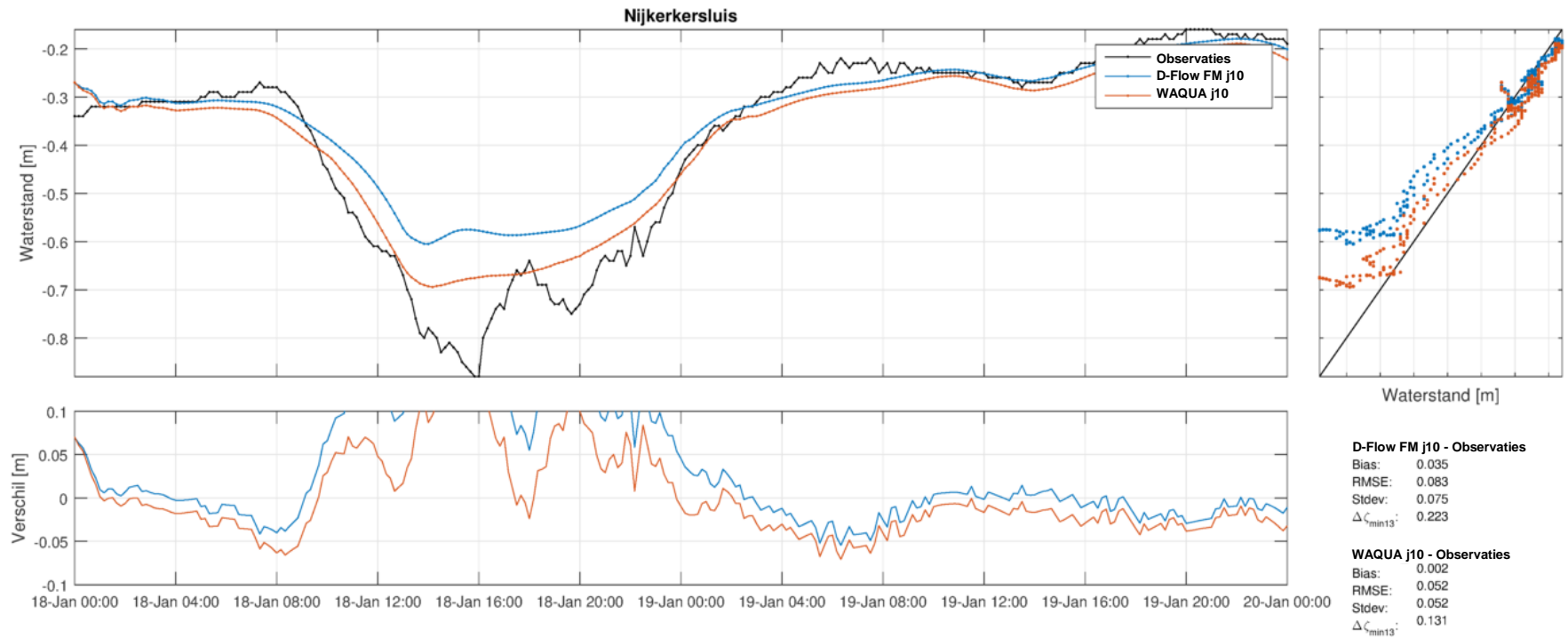
Figuur C.34 Resultaten bij gemaal Lovink voor stormperiode januari 2007 met uniforme wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.

Tabel C.6 Modelprestatie voor storm januari 2007 met uniforme wind.

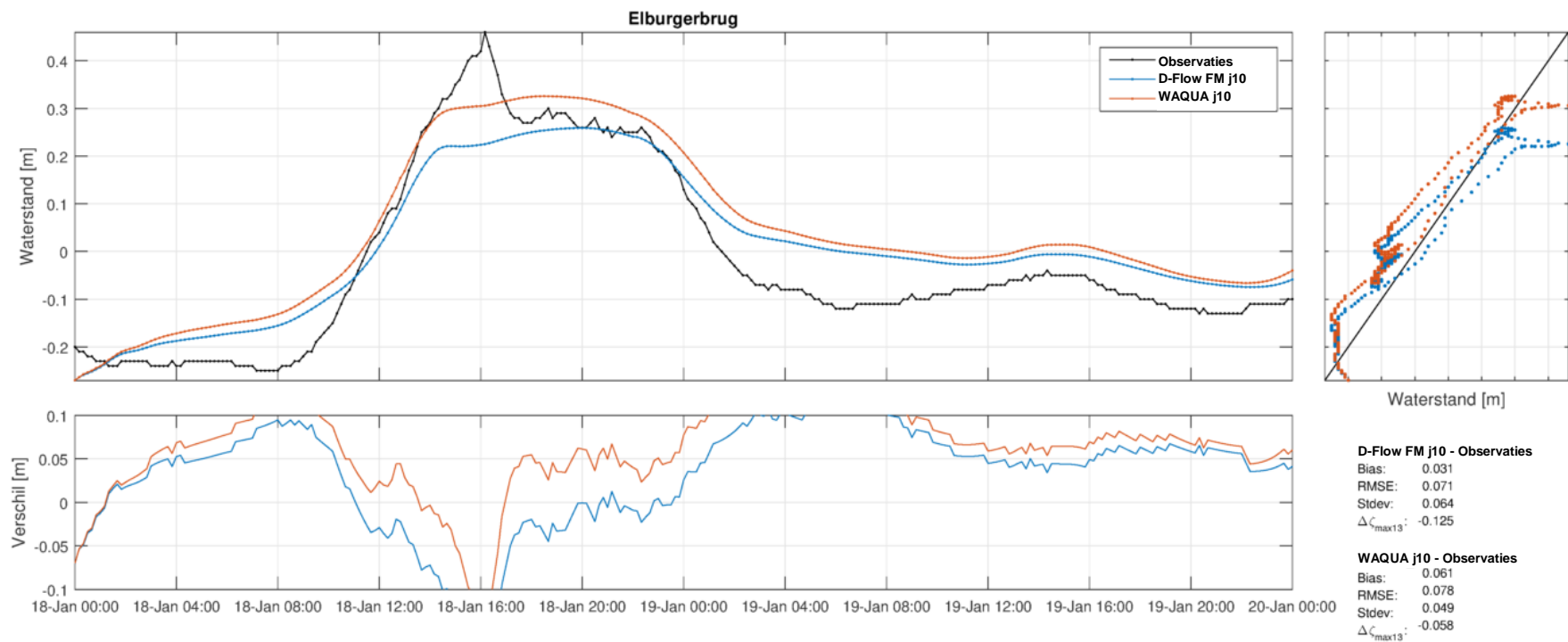
Station	D-Flow FM j10 – observaties					WAQUA j10 - observaties				
	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13
Nijkerkersluis	0.045	0.071	0.055	0.143		0.021	0.043	0.037	0.061	
Elburgerbrug	0.014	0.048	0.046		-0.103	0.032	0.049	0.038		-0.047
Roggebotsluis	0.015	0.061	0.060		-0.138	0.046	0.067	0.048		-0.054
gemaal Lovink	-0.018	0.032	0.027	*		-0.020	0.036	0.030	*	
Mean_stations	0.014	0.053	0.047			0.020	0.049	0.038		
RMS_stations	0.026	0.055	0.048			0.032	0.050	0.039		

* Onvoldoende metingen rondom piek.

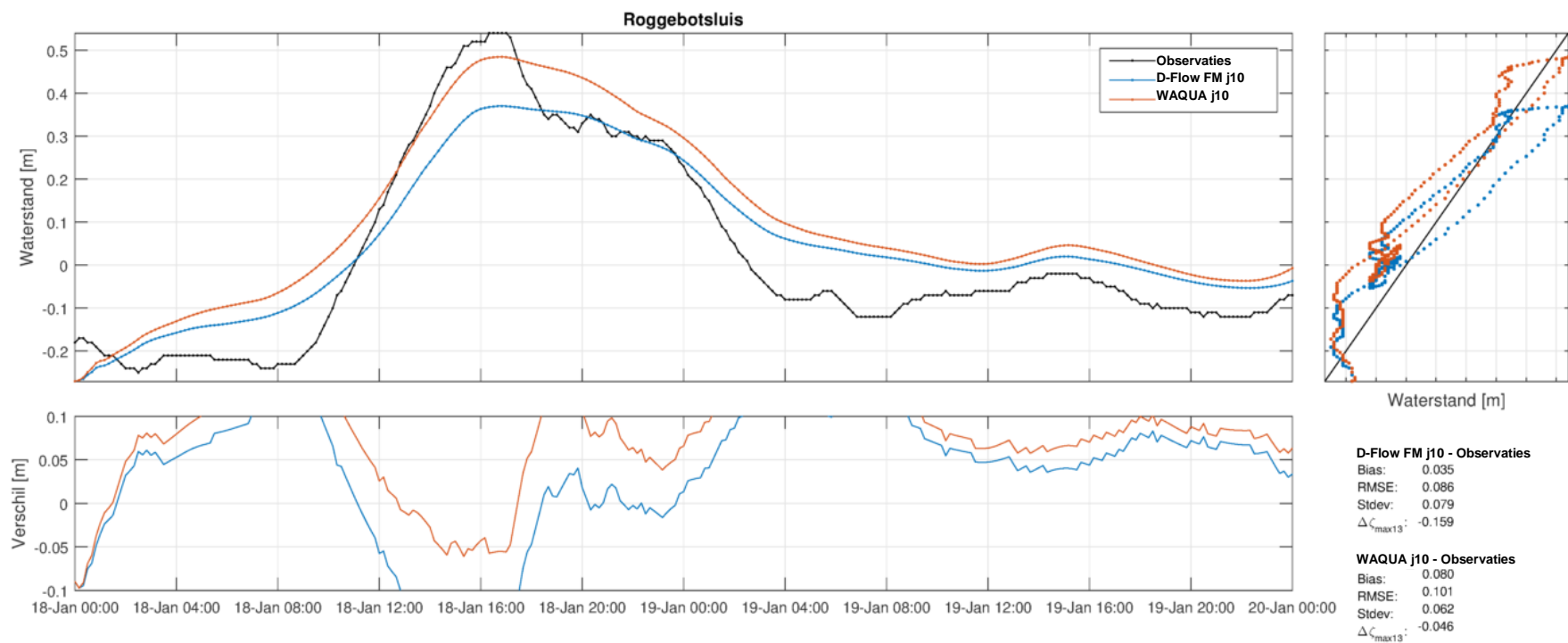
C.4.2 Ruimtelijk variërende wind



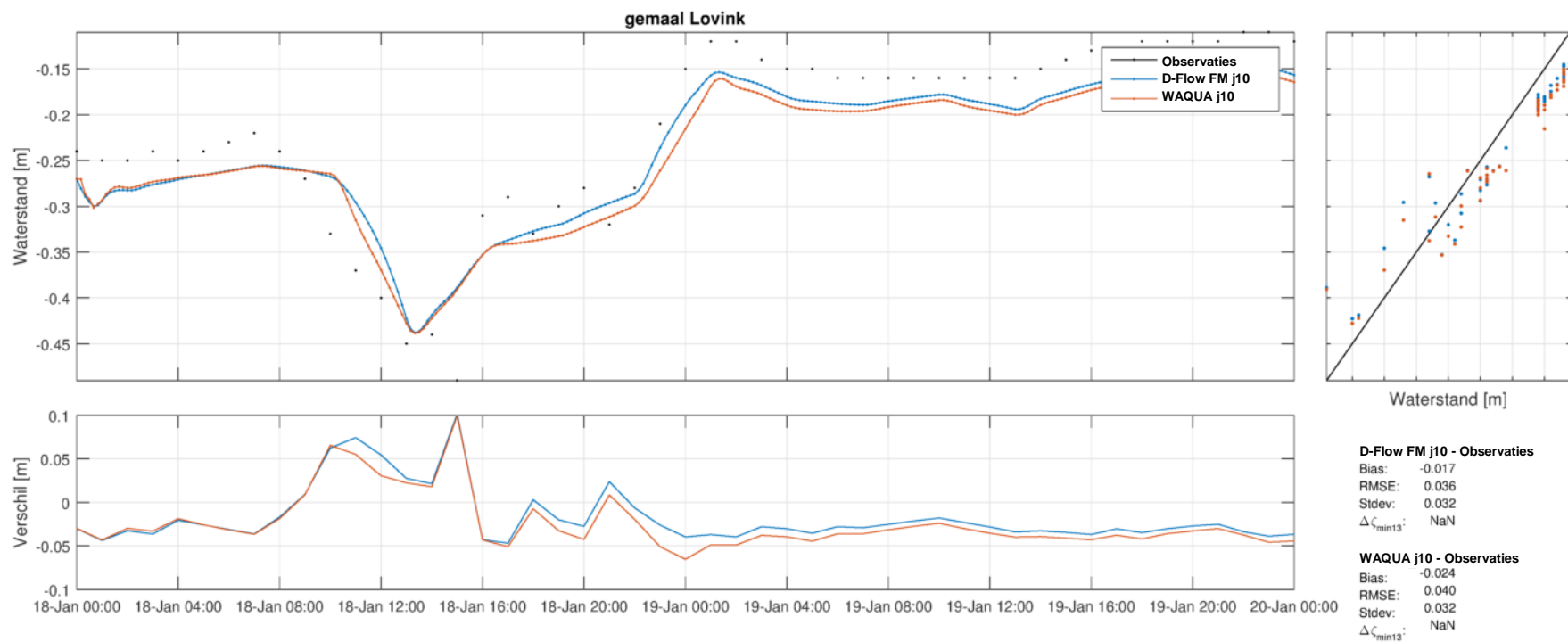
Figuur C.35 Resultaten bij Nijkerk voor stormperiode januari 2007 met ruimtelijk variërende wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.



Figuur C.36 Resultaten bij Elburg voor stormperiode januari 2007 met ruimtelijk variërende wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.



Figuur C.37 Resultaten bij Roggebotsluis voor stormperiode januari 2007 met ruimtelijk variërende wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.



Figuur C.38 Resultaten bij gemaal Lovink voor stormperiode januari 2007 met ruimtelijk variërende wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.

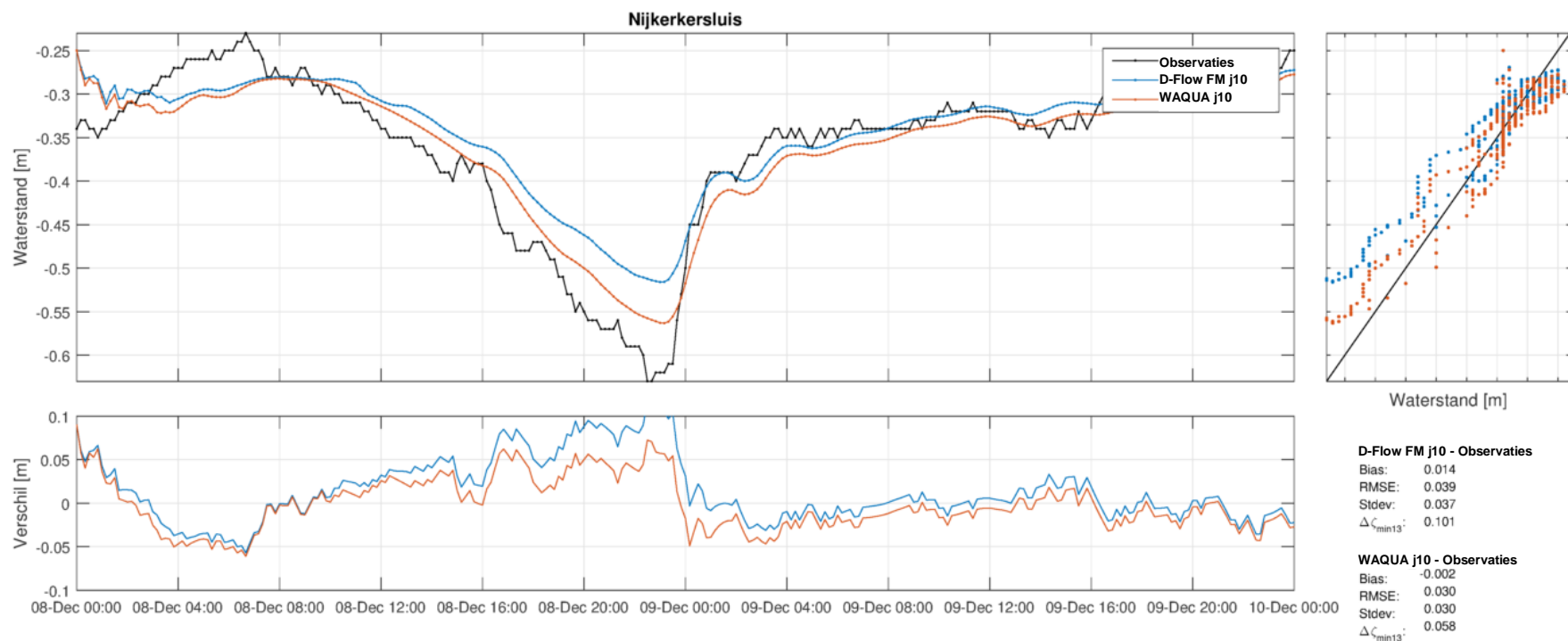
Tabel C.7 Modelprestatie voor storm januari 2007 met ruimtelijk variërende wind.

Station	D-Flow FM j10 - observaties					WAQUA j10 - observaties				
	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13
Nijkerkersluis	0.035	0.083	0.075	0.223		0.002	0.052	0.052	0.131	
Elburgerbrug	0.031	0.071	0.064		-0.125	0.061	0.078	0.049		-0.058
Roggebotsluis	0.035	0.086	0.079		-0.159	0.080	0.101	0.062		-0.046
gemaal Lovink	-0.017	0.036	0.032	*		-0.024	0.040	0.032	*	
Mean_stations	0.021	0.069	0.062			0.030	0.068	0.049		
RMS_stations	0.031	0.072	0.065			0.052	0.072	0.050		

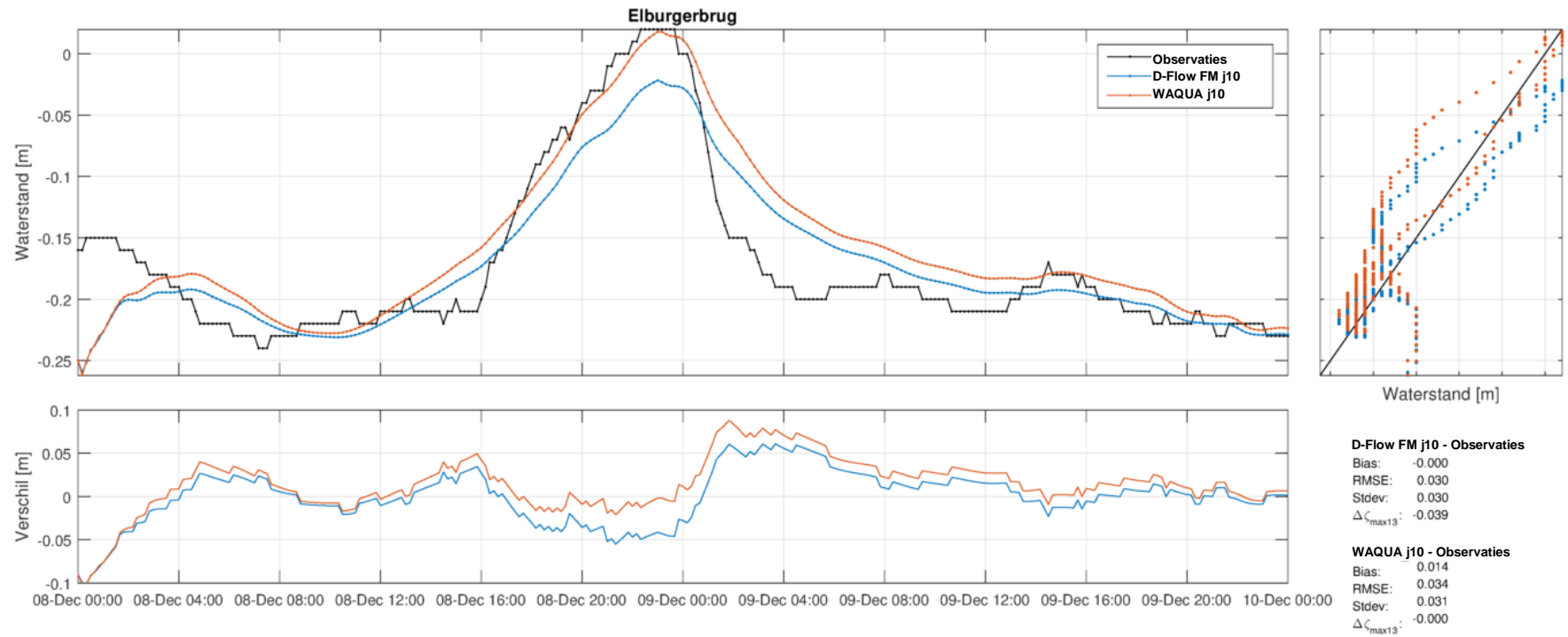
* Onvoldoende metingen rondom piek.

C.5 Storm december 2011 Veluwerandmeren, validatie voor WAQUA j10 en D-Flow FM j10

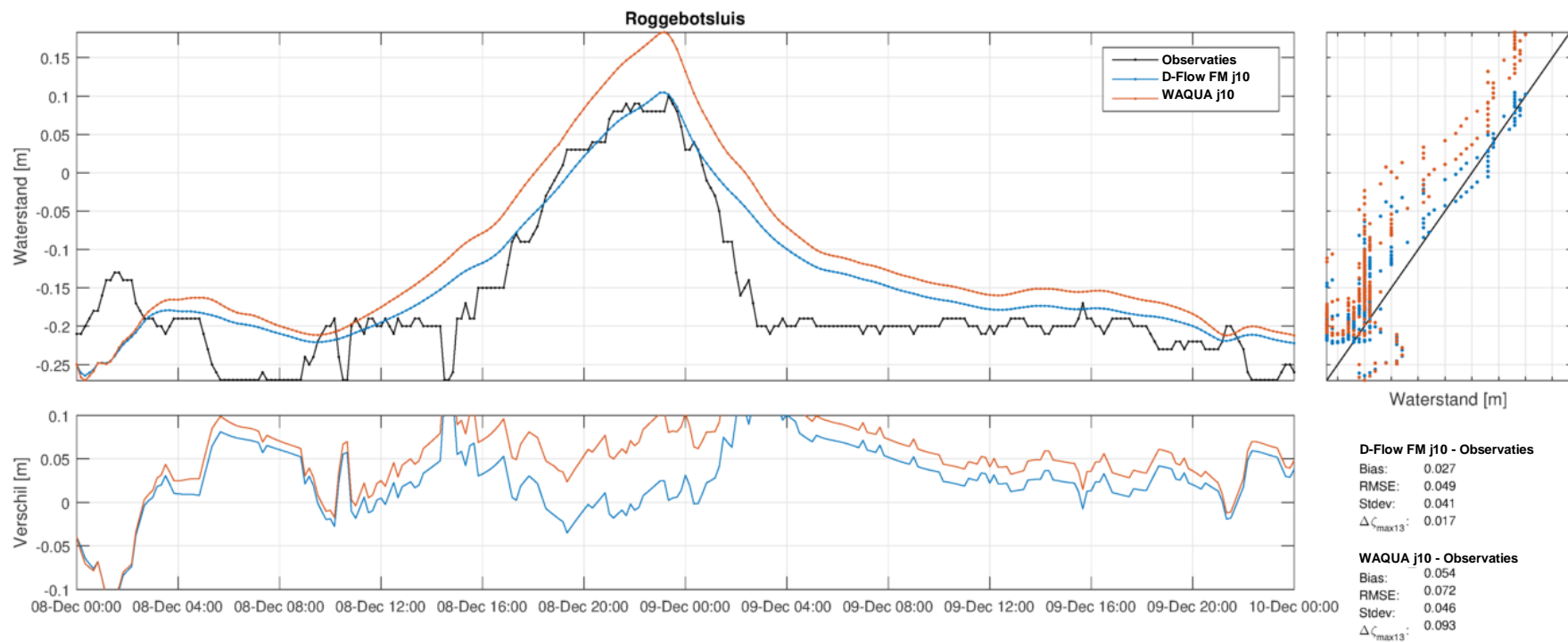
C.5.1 Uniforme wind



Figuur C.39 Resultaten bij Nijkerk voor stormperiode december 2011 met uniforme wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.



Figuur C.40 Resultaten bij Elburgerbrug voor stormperiode december 2011 met uniforme wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.

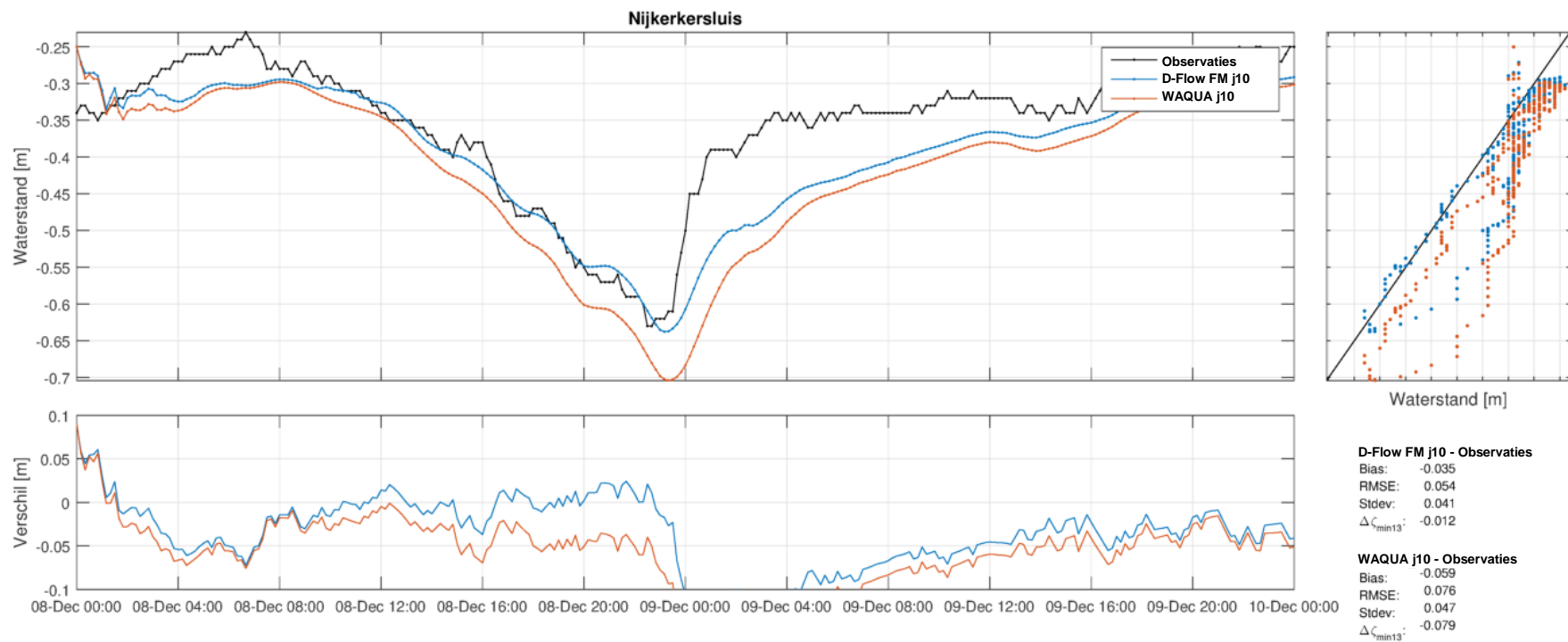


Figuur C.41 Resultaten bij Roggebotsluis voor stormperiode december 2011 met uniforme wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.

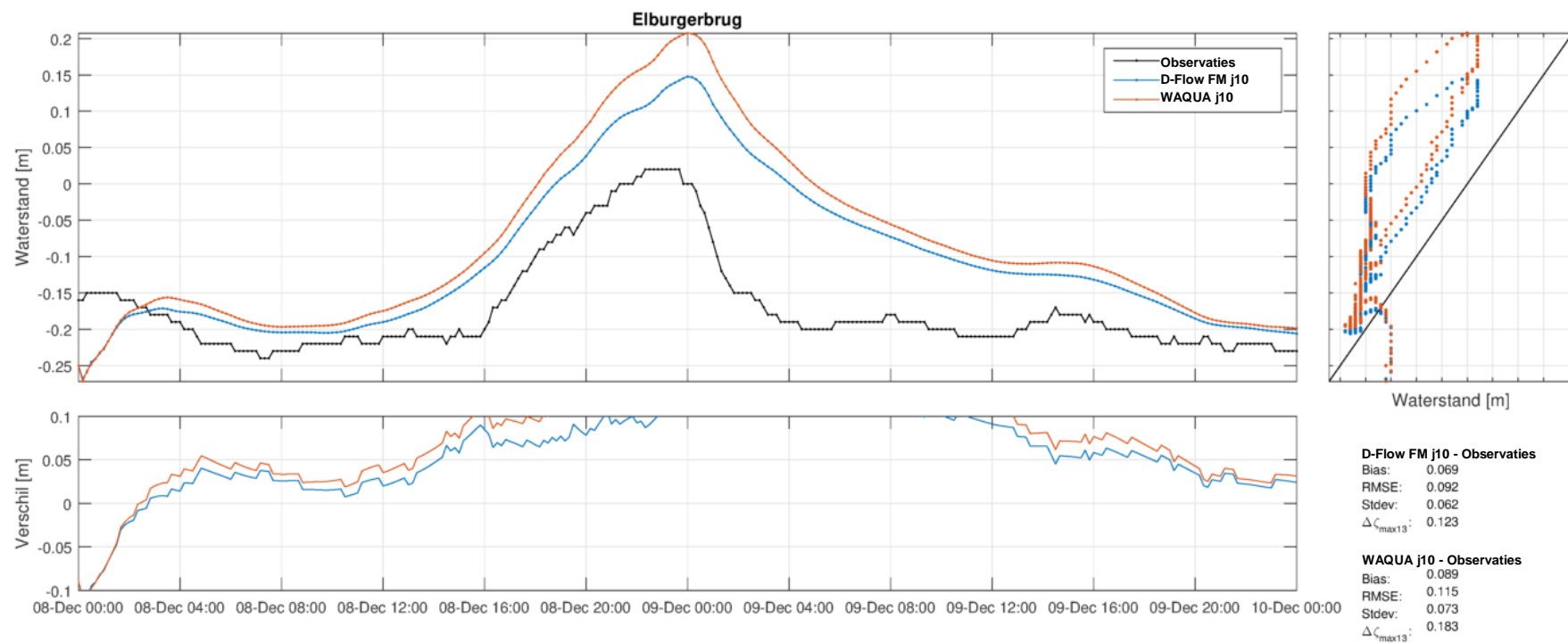
Tabel C.8 Modelprestatie voor storm december 2011 met uniforme wind.

	D-Flow FM j10 - observaties					WAQUA j10 - observaties				
Station	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13
Nijkerkersluis	0.014	0.039	0.037	0.101		-0.002	0.030	0.030	0.058	
Elburgerbrug	-0.000	0.030	0.030		-0.039	0.014	0.034	0.031		-0.000
Roggebotsluis	0.027	0.049	0.041		0.017	0.054	0.072	0.046		0.093
Mean_stations	0.014	0.040	0.036			0.022	0.045	0.036		
RMS_stations	0.018	0.040	0.036			0.032	0.049	0.036		

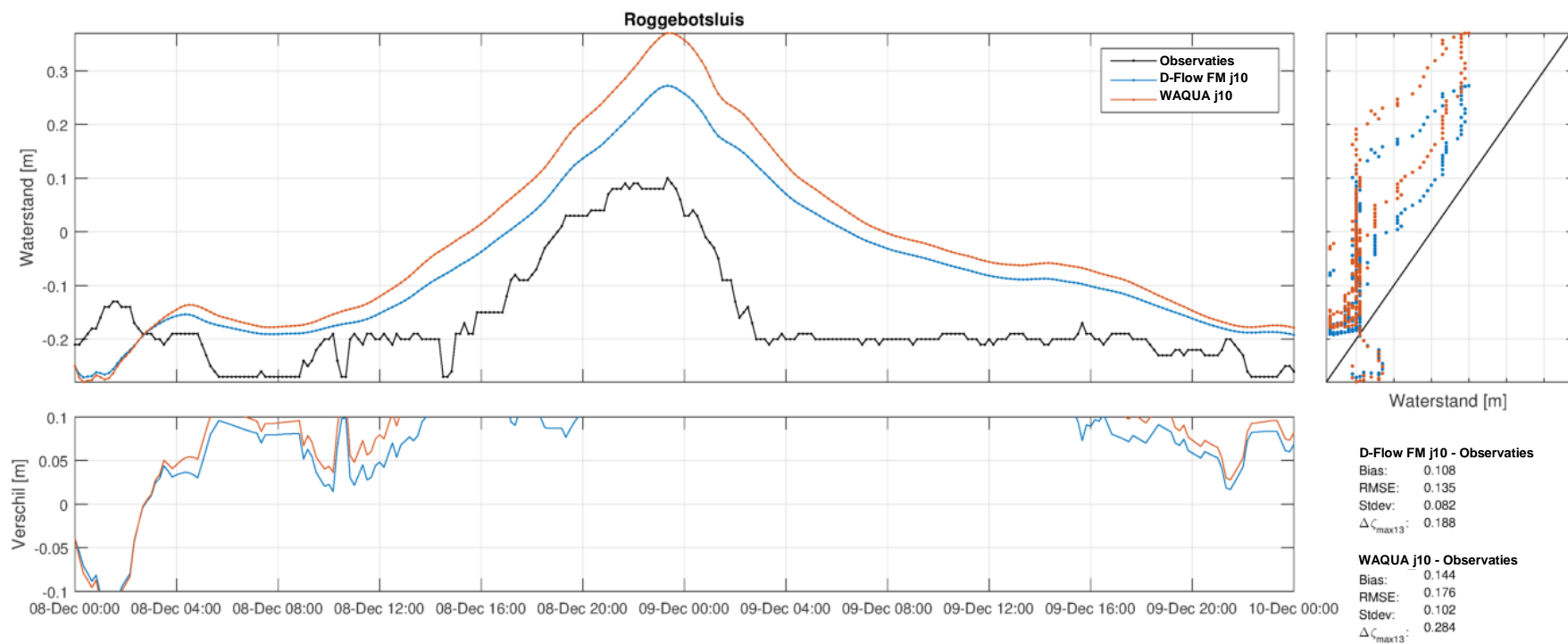
C.5.2 Ruimtelijk variërende wind



Figuur C.42 Resultaten bij Nijkerk voor stormperiode december 2011 met ruimtelijk variërende wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.



Figuur C.43 Resultaten bij Elburg voor stormperiode december 2011 met ruimtelijk variërende wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.



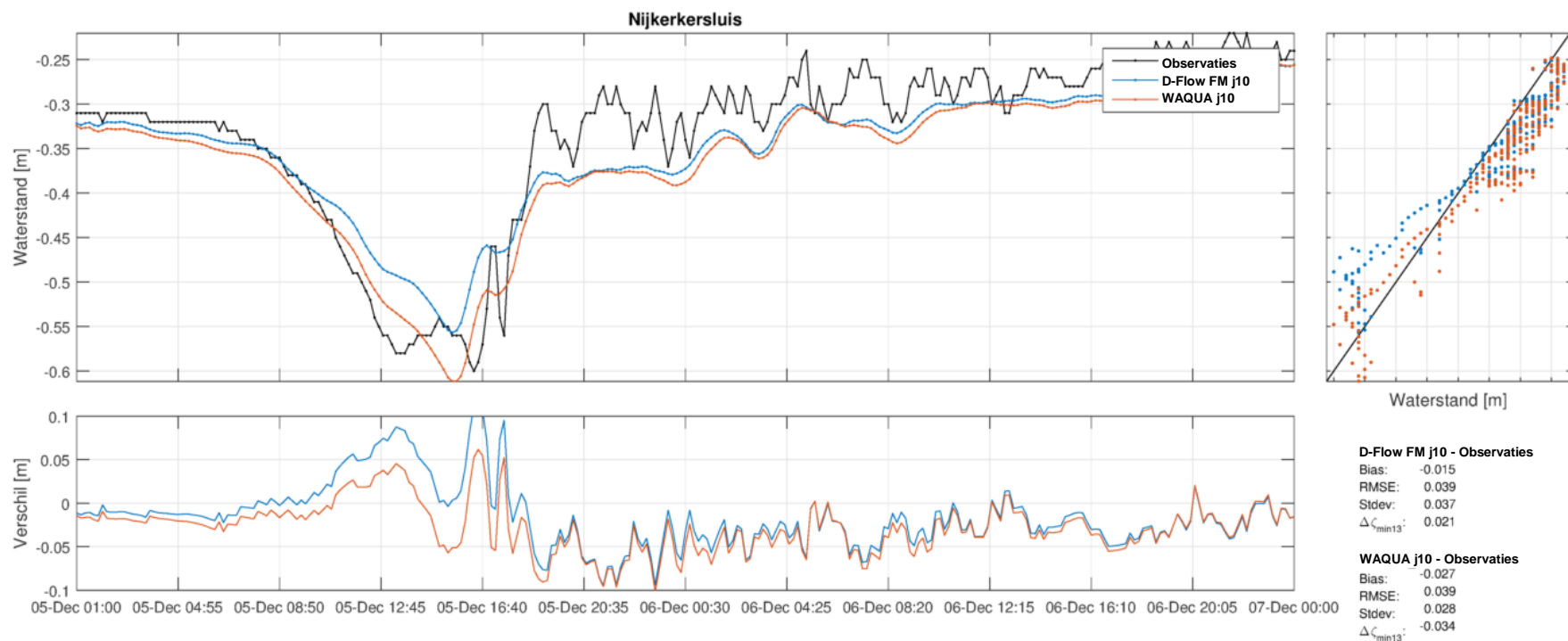
Figuur C.44 Resultaten bij Roggebotsluis voor stormperiode december 2011 met ruimtelijk variërende wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.

Tabel C.9 Modelprestatie voor storm december 2011 met ruimtelijk variërende wind.

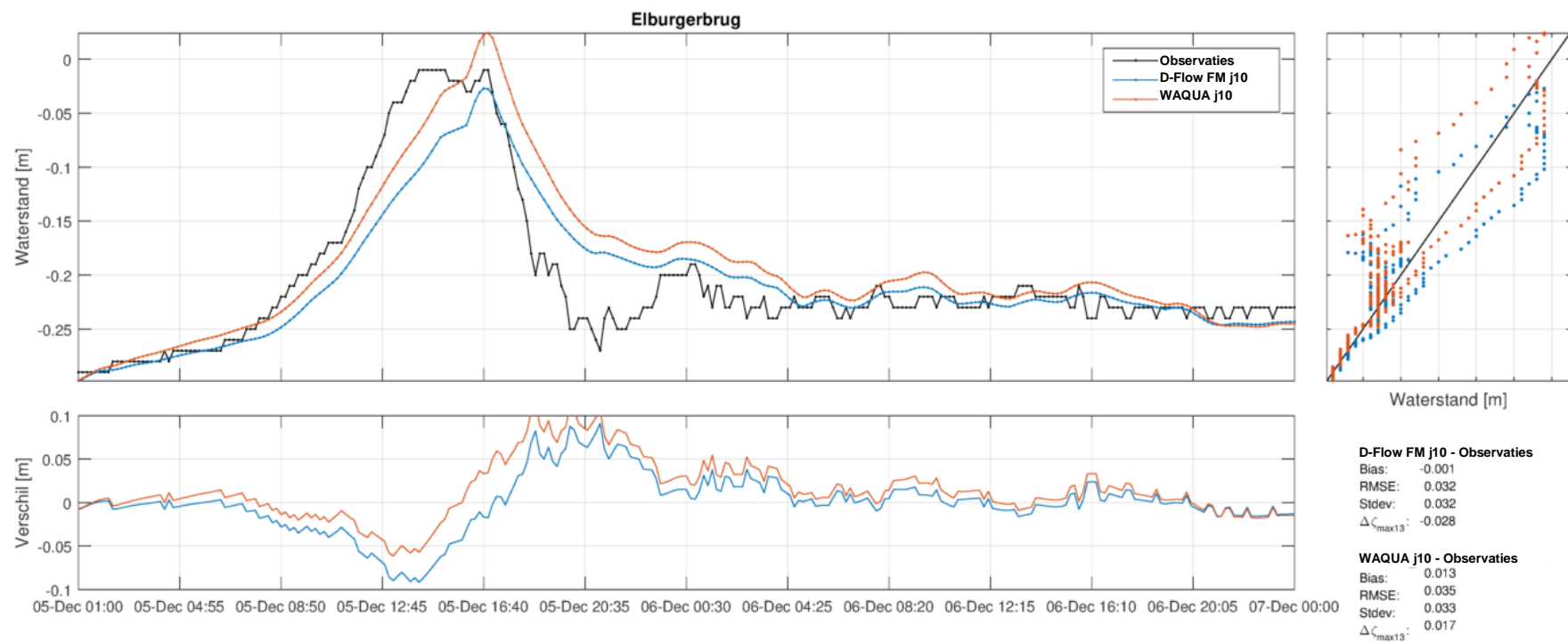
	D-Flow FM j10 - observaties					WAQUA j10 - observaties				
Station	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13
Nijkerkersluis	-0.035	0.054	0.041	-0.012		-0.059	0.076	0.047	-0.079	
Elburgerbrug	0.069	0.092	0.062		0.123	0.089	0.115	0.073		0.183
Roggebotsluis	0.108	0.135	0.082		0.188	0.144	0.176	0.102		0.284
Mean_stations	0.047	0.094	0.062			0.058	0.122	0.074		
RMS_stations	0.077	0.100	0.064			0.103	0.129	0.077		

C.6 Storm december 2013 Veluwerandmeren, validatie voor WAQUA j10 en D-Flow FM j10

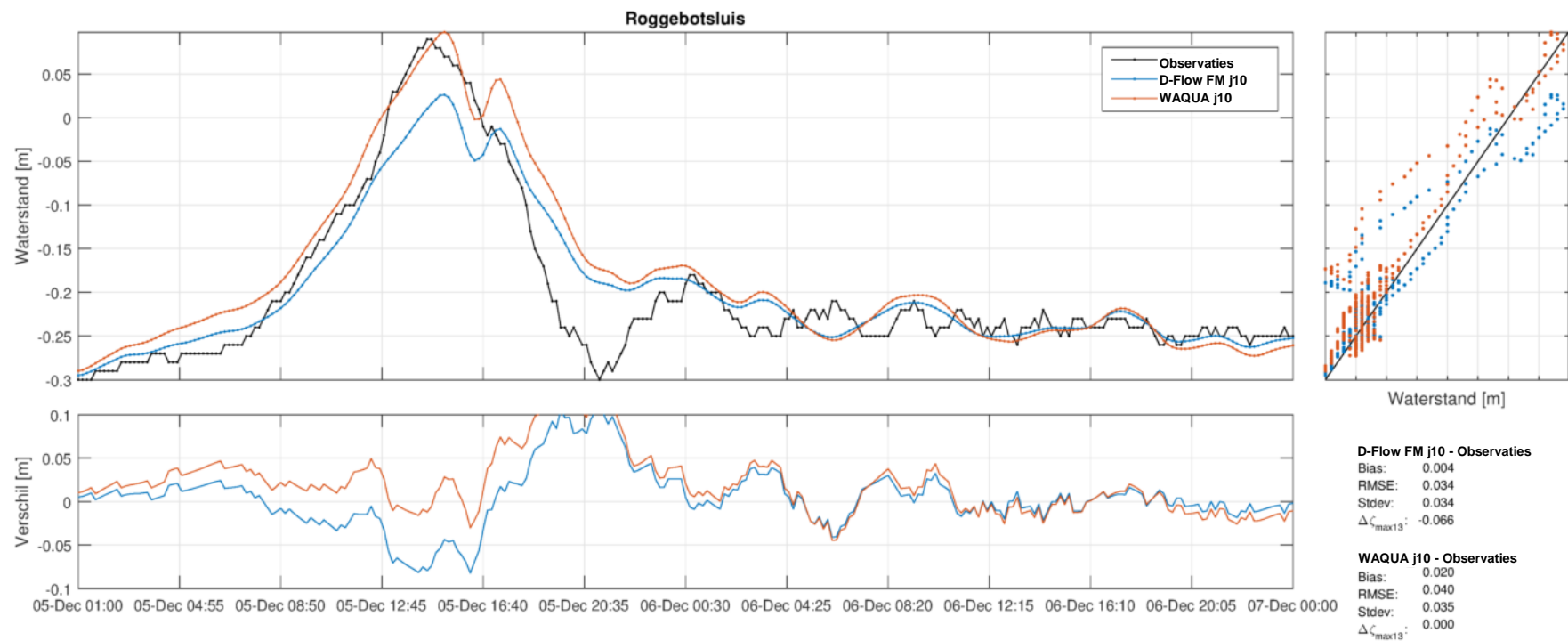
C.6.1 Uniforme wind



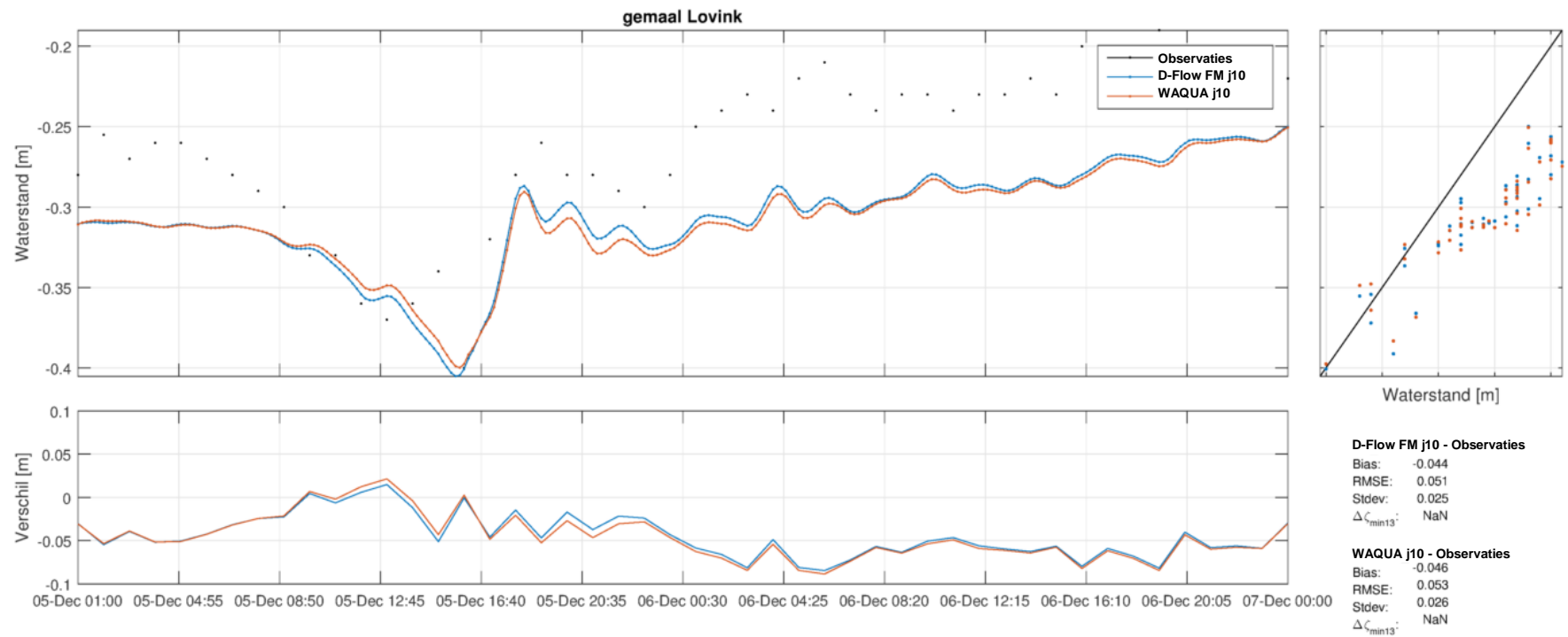
Figuur C.45 Resultaten bij Nijkerk voor stormperiode december 2013 met uniforme wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.



Figuur C.46 Resultaten bij Elburg voor stormperiode december 2013 met uniforme wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.



Figuur C.47 Resultaten bij Roggebotsluis voor stormperiode december 2013 met uniforme wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.



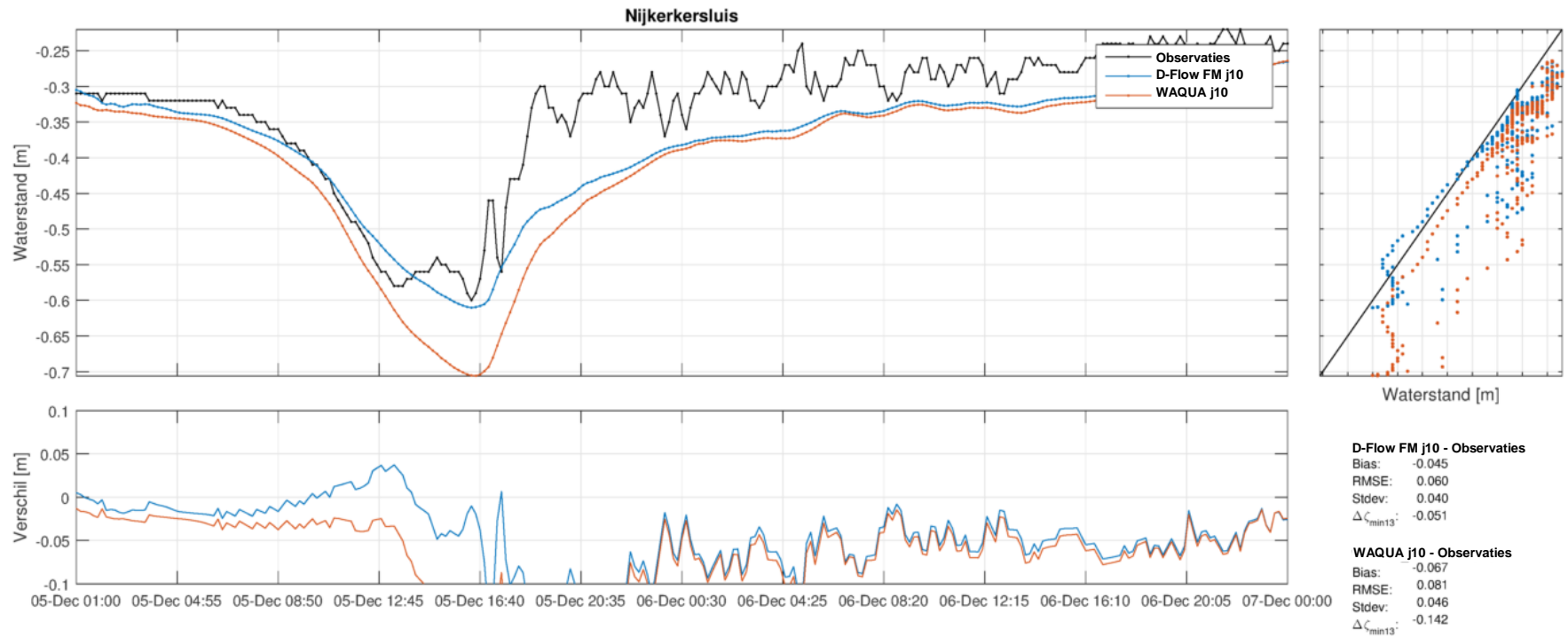
Figuur C.48 Resultaten bij gemaal Lovink voor stormperiode december 2013 met uniforme wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.

Tabel C.10 Modelprestatie voor storm december 2013 met uniforme wind.

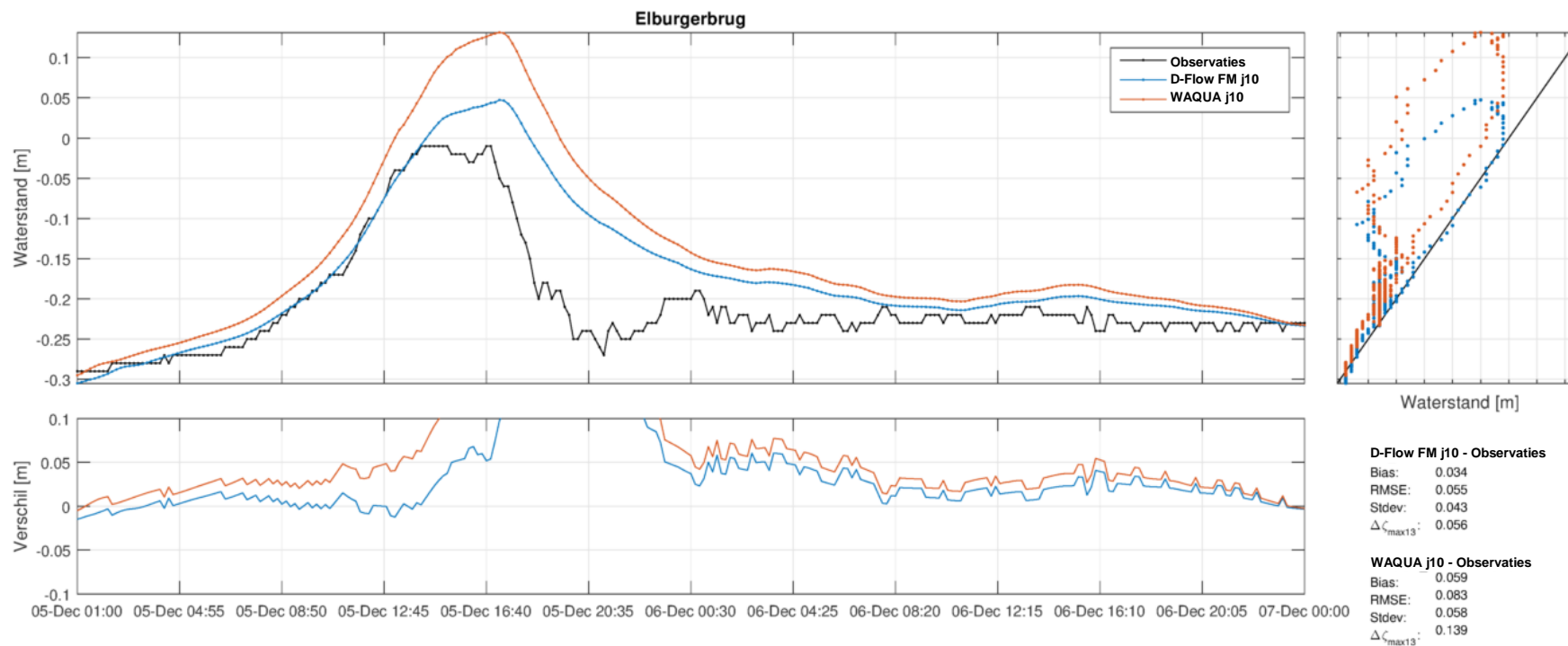
Station	D-Flow FM j10 - observaties					WAQUA j10 - observaties				
	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13
Nijkerkersluis	-0.015	0.039	0.037	0.021		-0.027	0.039	0.028	-0.034	
Elburgerbrug	-0.001	0.032	0.032		-0.028	0.013	0.035	0.033		0.017
Roggebotsluis	0.004	0.034	0.034		-0.066	0.020	0.040	0.035		0.000
gemaal Lovink	-0.044	0.051	0.025	*		-0.046	0.053	0.026	*	
Mean_stations	-0.014	0.039	0.032			-0.010	0.042	0.031		
RMS_stations	0.023	0.040	0.032			0.029	0.042	0.031		

* Onvoldoende metingen rondom piek.

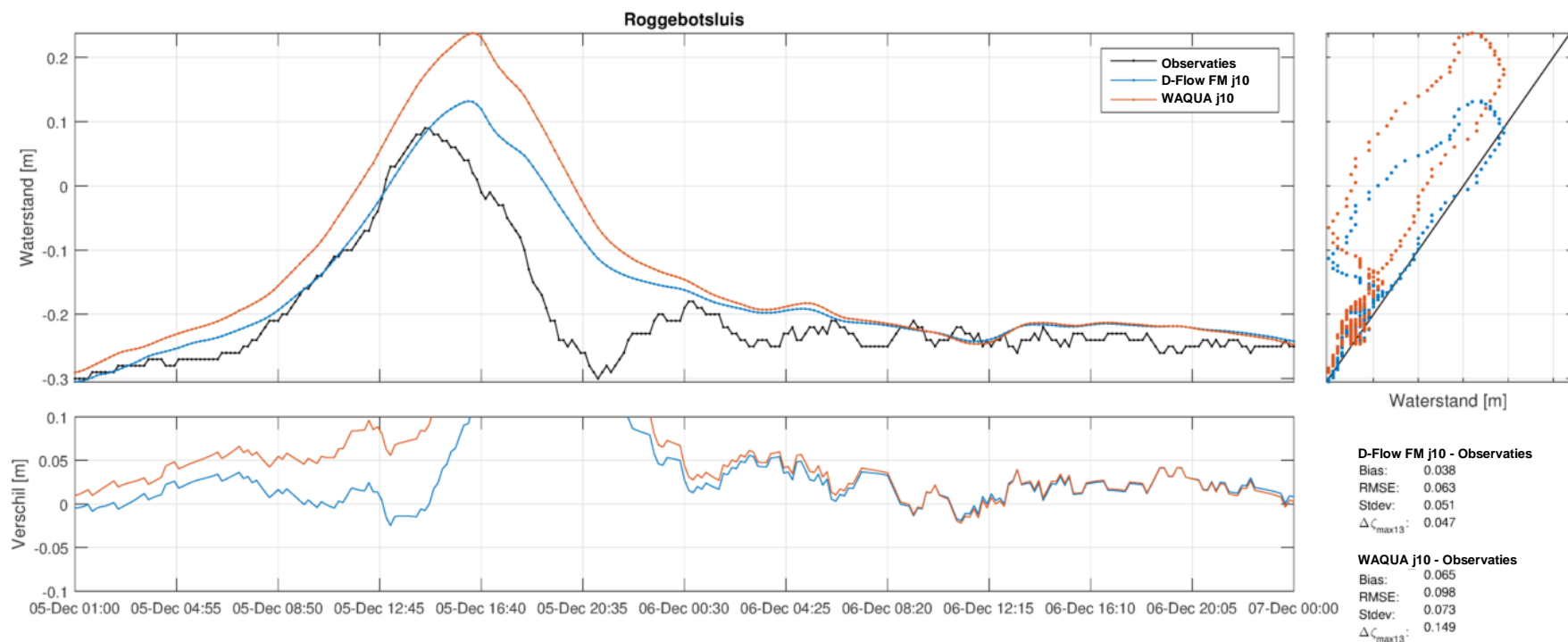
C.6.2 Ruimtelijk variërende wind



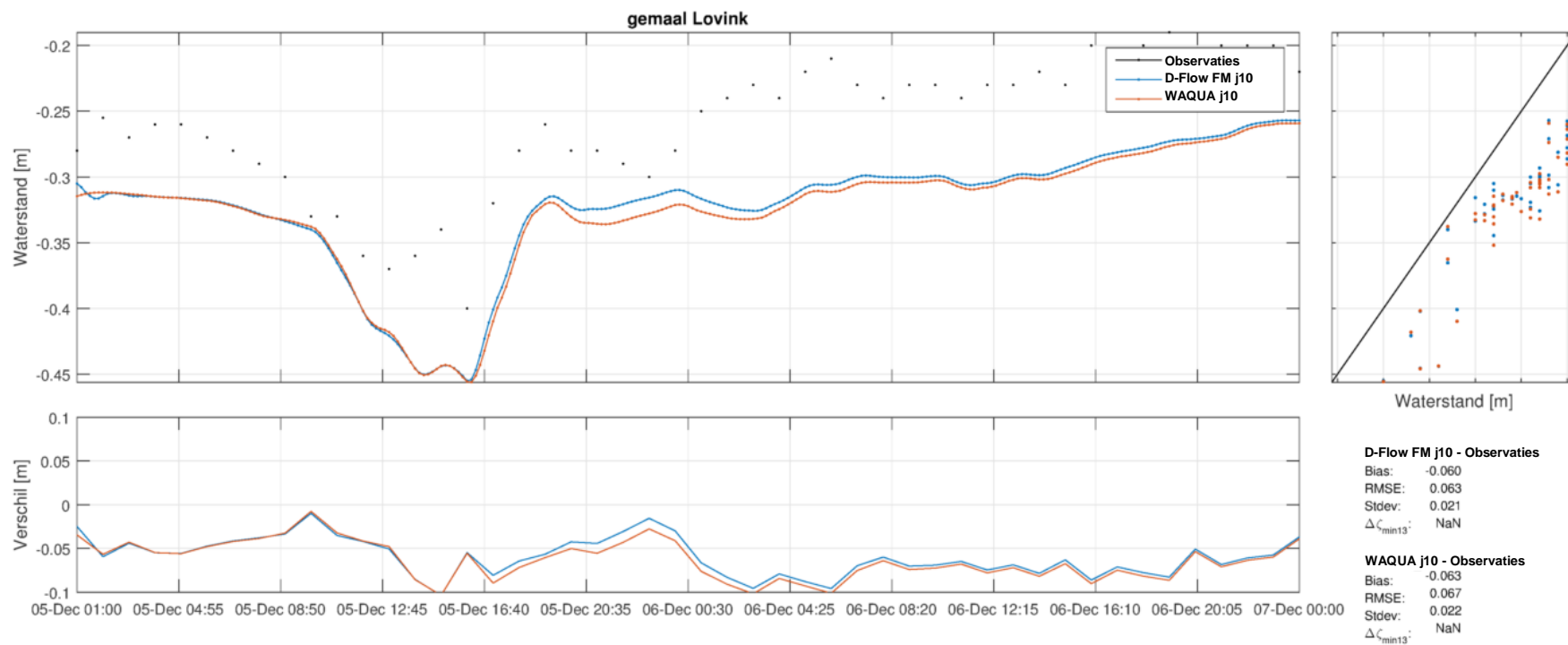
Figuur C.49 Resultaten bij Nijkerk voor stormperiode december 2013 met ruimtelijk variërende wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.



Figuur C.50 Resultaten bij Elburg voor stormperiode december 2013 met ruimtelijk variërende wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.



Figuur C.51 Resultaten bij Roggebotsluis voor stormperiode december 2013 met ruimtelijk variërende wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.



Figuur C.52 Resultaten bij gemaal Lovink voor stormperiode december 2013 met ruimtelijk variërende wind. Berekening door D-Flow FM j10 is in blauw weergegeven, die met WAQUA j10 in rood.

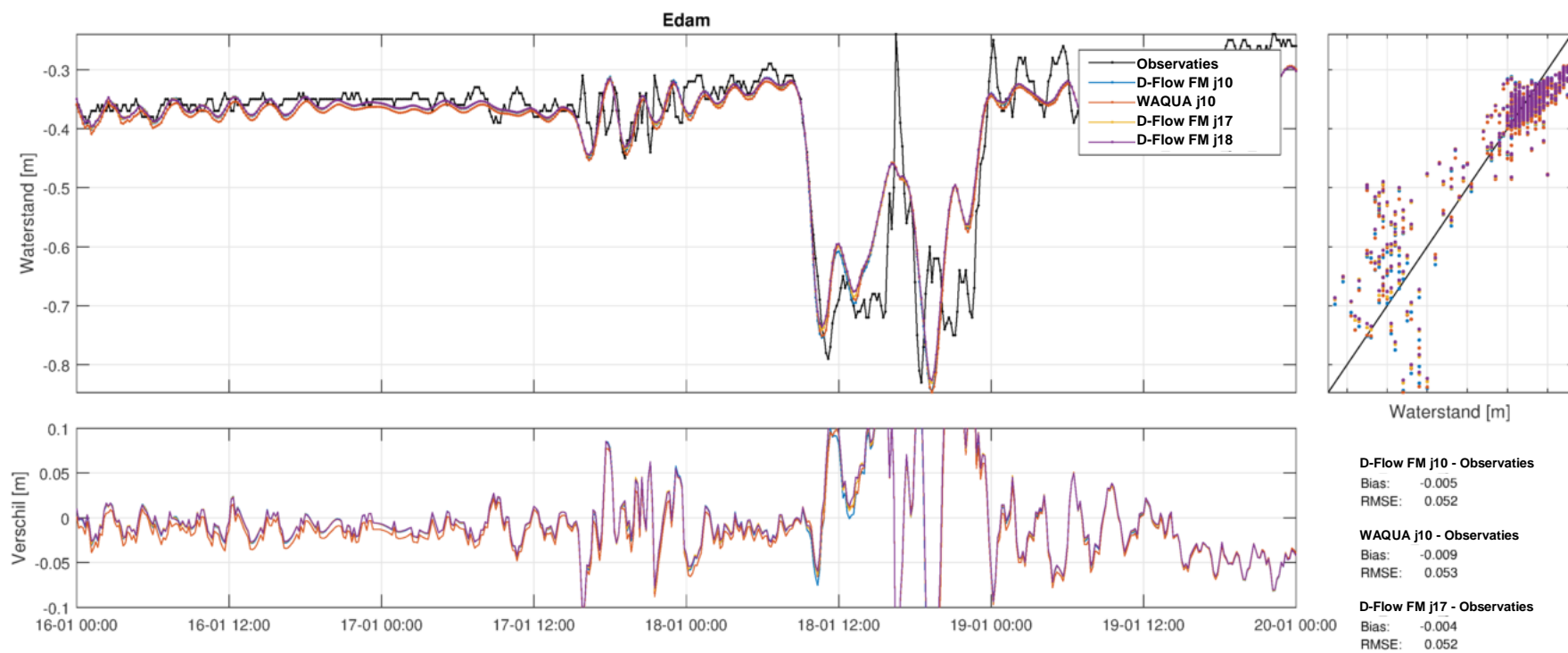
Tabel C.11 Modelprestatie voor storm december 2013 met ruimtelijk variërende wind.

Station	D-Flow FM j10 - observaties					WAQUA j10 - observaties				
	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13	B	RMSE	Stdv	dmin13	dmax13
Nijkerkersluis	-0.045	0.060	0.040	-0.051		-0.067	0.081	0.046	-0.142	
Elburgerbrug	0.034	0.055	0.043		0.056	0.059	0.083	0.058		0.139
Roggebotsluis	0.038	0.063	0.051		0.047	0.065	0.098	0.073		0.149
gemaal Lovink	-0.060	0.063	0.021	*		-0.063	0.067	0.022	*	
Mean_stations	-0.008	0.060	0.039			-0.002	0.082	0.050		
RMS_stations	0.045	0.061	0.040			0.064	0.083	0.053		

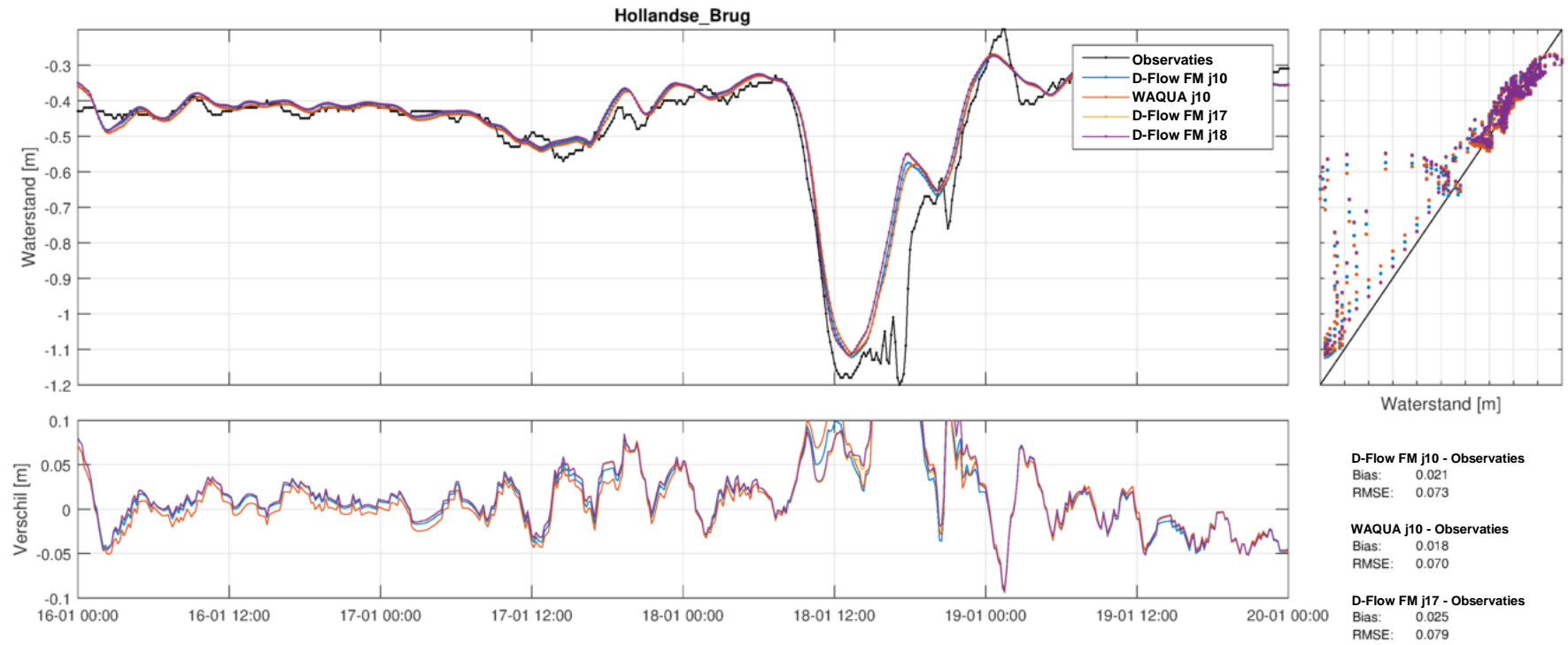
* Onvoldoende metingen rondom piek.

C.7 Storm januari 2007 Markermeer, verificatie voor D-Flow FM j17 en D-Flow FM j18

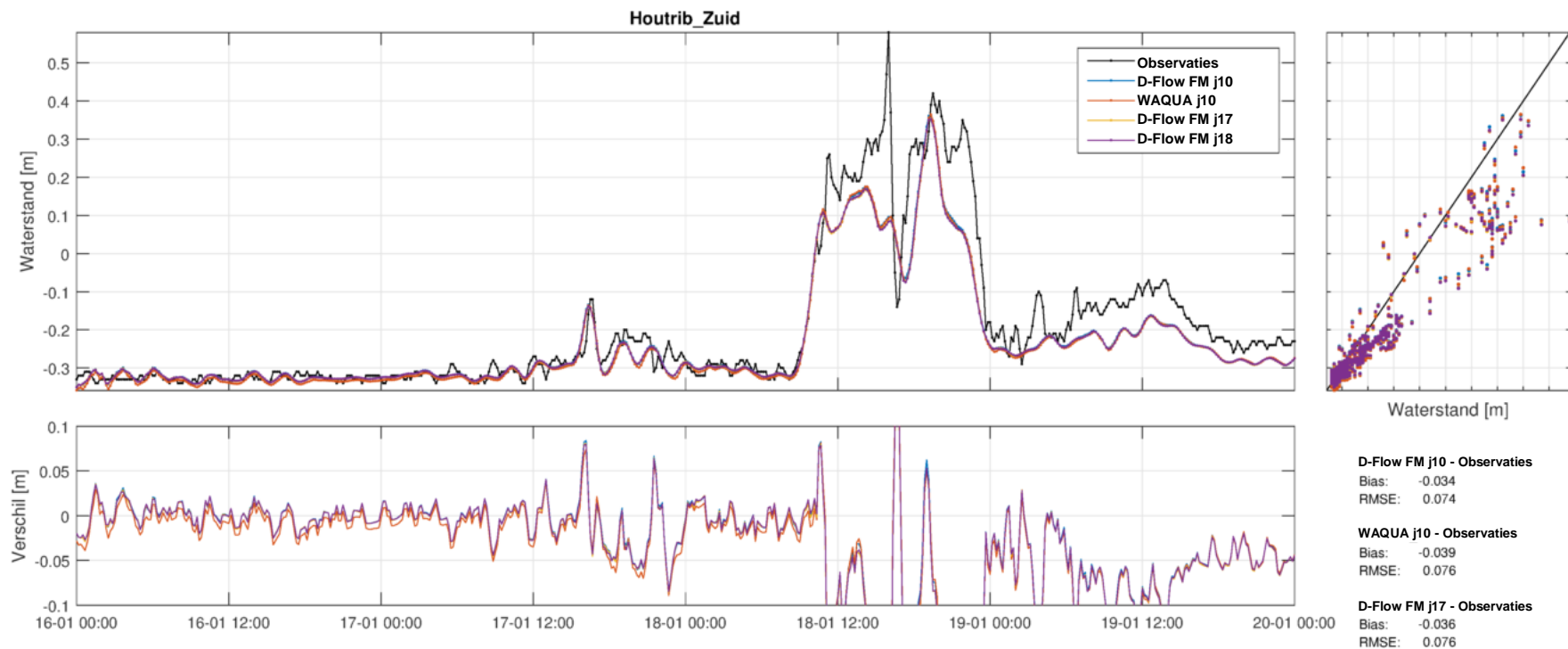
C.7.1 Uniforme wind



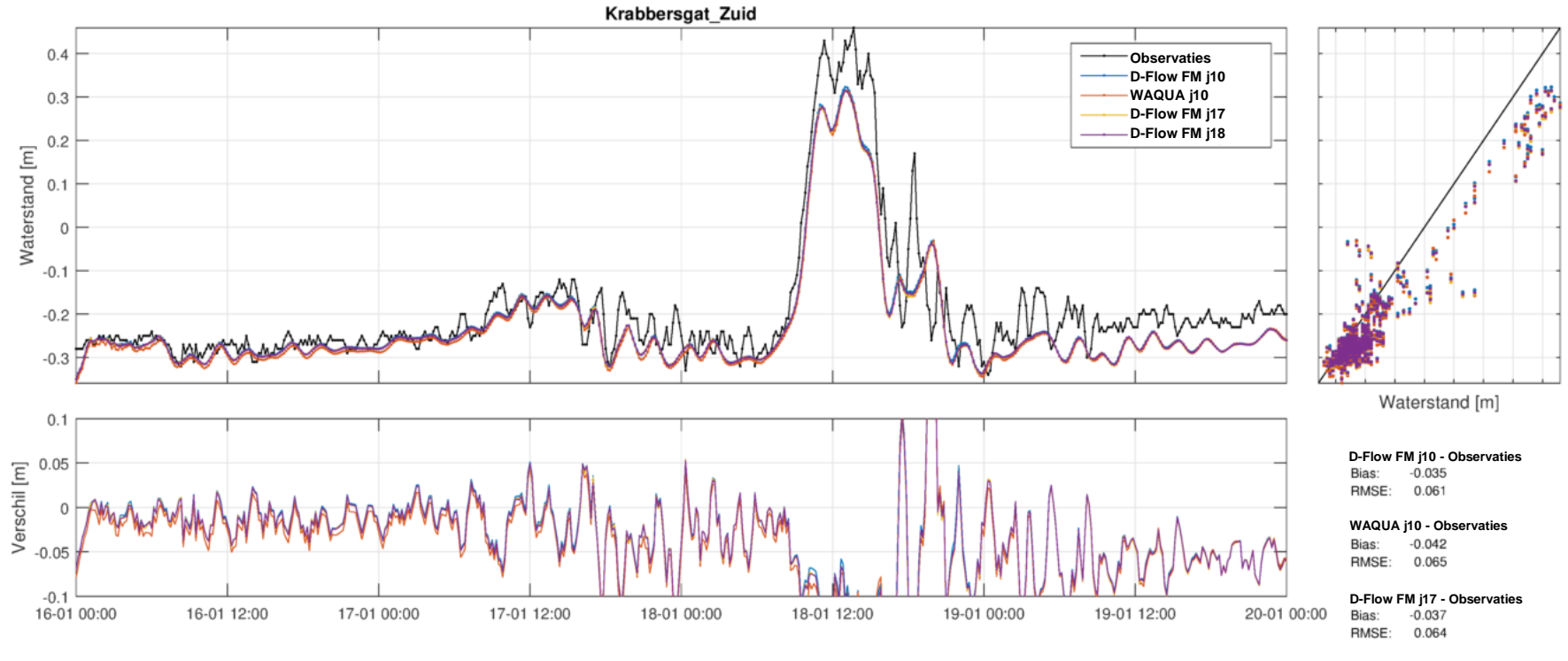
Figuur C.53 Resultaten bij Edam voor stormperiode januari 2007 met uniforme wind. Observatie en berekeningen met WAQUA j10, D-Flow FM j10, D-Flow FM j17 en D-Flow FM j18.



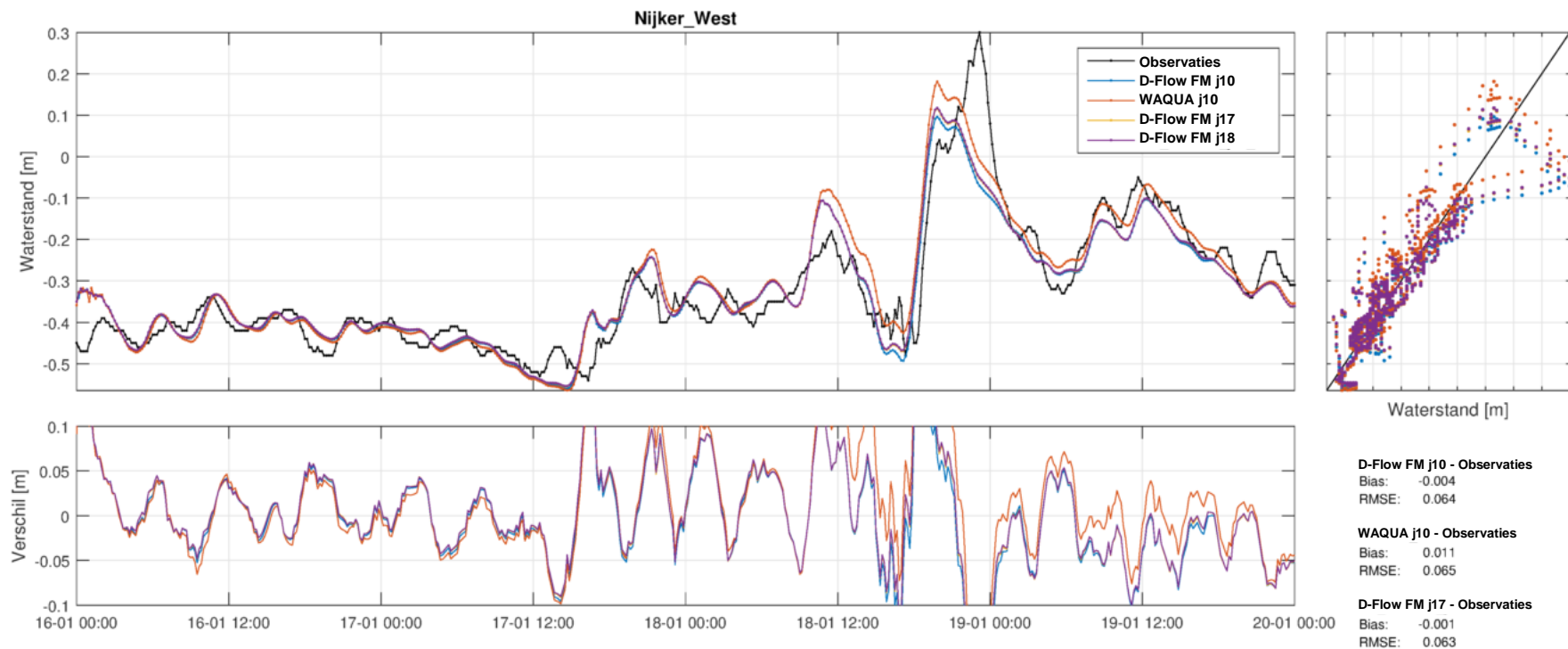
Figuur C.54 Resultaten bij Hollandse Brug voor stormperiode januari 2007 met uniforme wind. Observatie en berekeningen met WAQUA j10, D-Flow FM j10, D-Flow FM j17 en D-Flow FM j18.



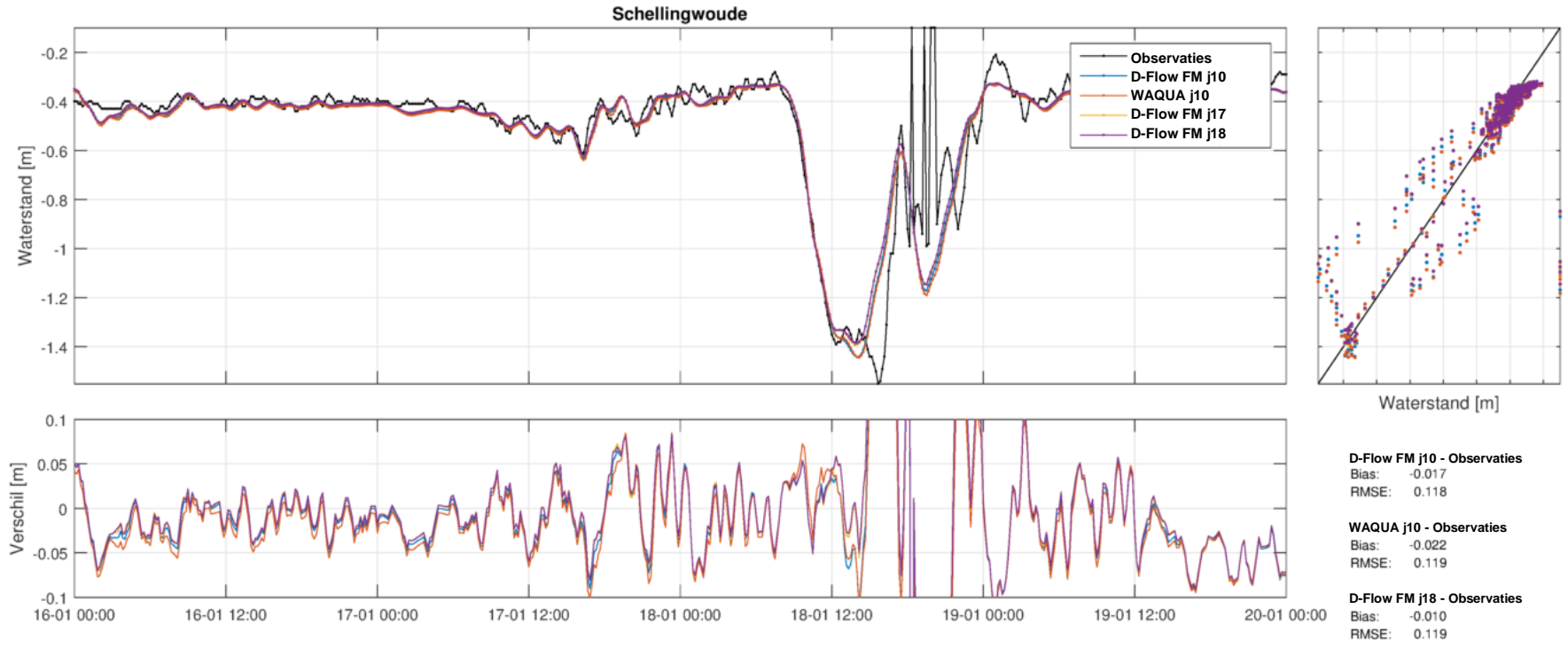
Figuur C.55 Resultaten bij Houtrib-Zuid voor stormperiode januari 2007 met uniforme wind. Observatie en berekeningen met WAQUA j10, D-Flow FM j10, D-Flow FM j17 en D-Flow FM j18.



Figuur C.56 Resultaten bij Krabbersgat-Zuid voor stormperiode januari 2007 met uniforme wind. Observatie en berekeningen met WAQUA j10, D-Flow FM j10, D-Flow FM j17 en D-Flow FM j18.



Figuur C.57 Resultaten bij Nijkerk-West voor stormperiode januari 2007 met uniforme wind. Observatie en berekeningen met WAQUA j10, D-Flow FM j10, D-Flow FM j17 en D-Flow FM j18.



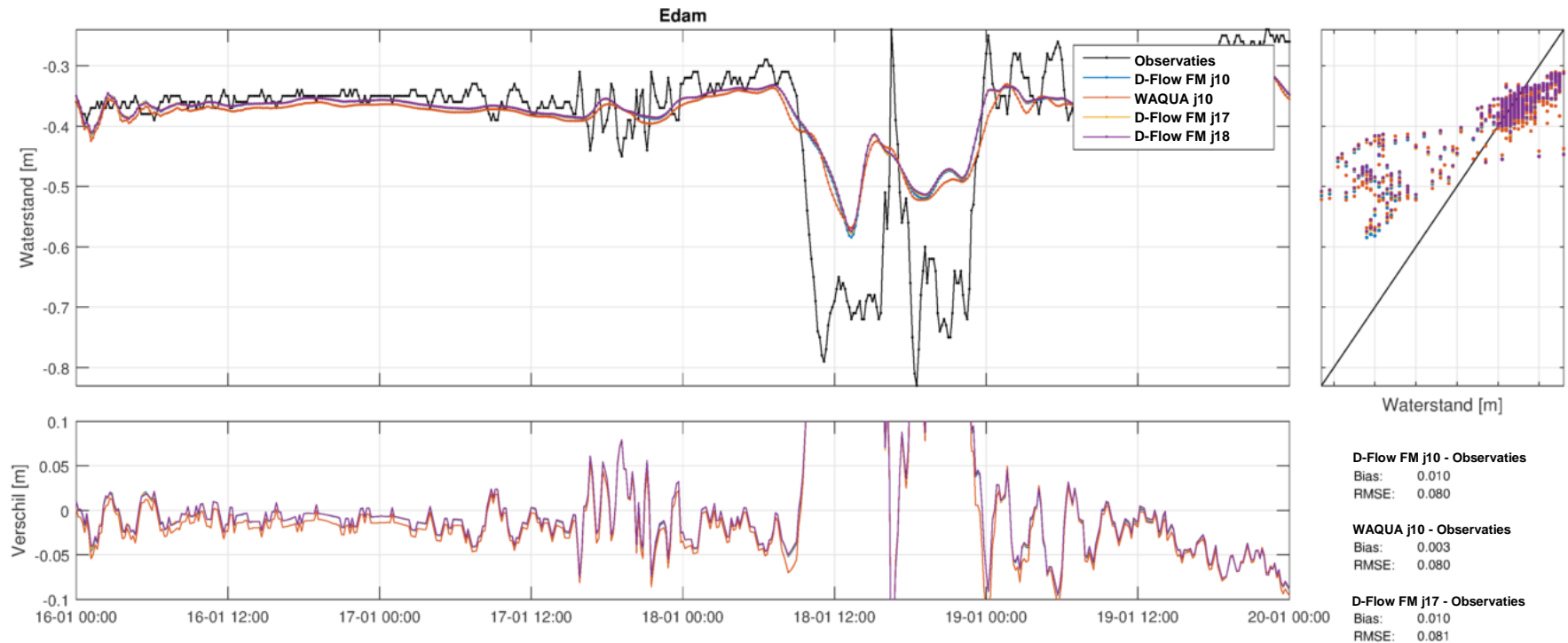
Figuur C.58 Resultaten bij Schellingwoude voor stormperiode januari 2007 met uniforme wind. Observatie en berekeningen met WAQUA j10, D-Flow FM j10, D-Flow FM j17 en D-Flow FM j18.

Tabel C.12 Modelprestatie voor storm januari 2007 met uniforme wind voor WAQUA j10, D-Flow FM j10, D-Flow FM j17 en D-Flow FM j18.

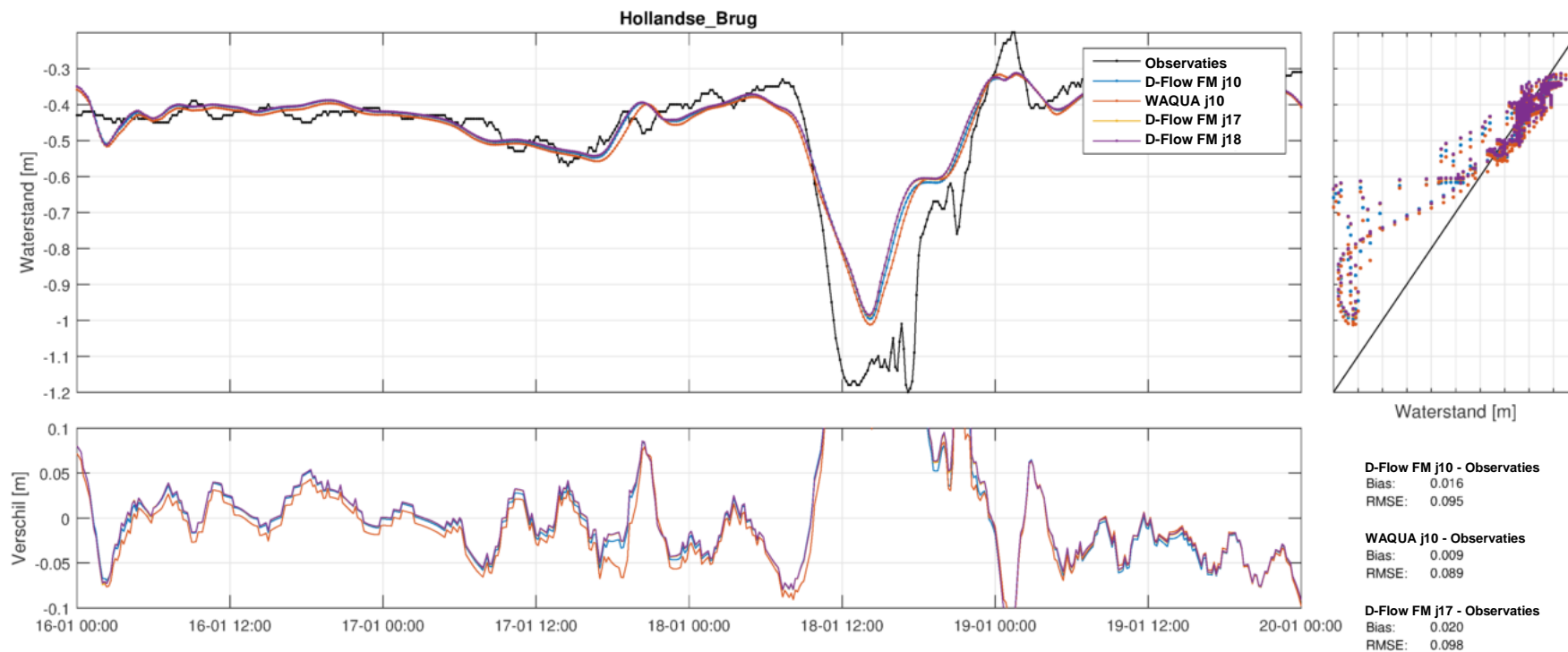
Station	D-Flow FM j10 - observaties					WAQUA j10 - observaties				
	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13
Edam	-0.005	0.052	0.052	-0.085		-0.009	0.053	0.052	-0.087	
Hollandse Brug	0.021	0.073	0.070	-0.045		0.018	0.070	0.068	-0.036	
Houtrib-Zuid	-0.034	0.074	0.066		0.050	-0.039	0.076	0.065		0.047
Krabbersgat-Zuid	-0.035	0.061	0.051		-0.105	-0.042	0.065	0.050		-0.114
Nijkerk-West	-0.004	0.064	0.064		-0.156	0.011	0.065	0.064		-0.081
Schellingwoude	-0.017	0.118	0.117	-0.008		-0.022	0.119	0.117	-0.002	
Mean_stations	-0.012	0.074	0.070			-0.014	0.075	0.069		
RMS_stations	0.023	0.077	0.073			0.027	0.078	0.073		

Station	D-Flow FM j17 - observaties					D-Flow FM j18 - observaties				
	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13
Edam	-0.004	0.052	0.052	-0.074		-0.003	0.052	0.052	-0.071	
Hollandse Brug	0.025	0.079	0.075	-0.040		0.025	0.079	0.075	-0.037	
Houtrib-Zuid	-0.036	0.076	0.067		0.041	-0.036	0.076	0.068		0.042
Krabbersgat-Zuid	-0.037	0.064	0.052		-0.114	-0.037	0.063	0.051		-0.112
Nijkerk-West	-0.001	0.063	0.063		-0.136	-0.000	0.063	0.063		-0.134
Schellingwoude	-0.010	0.119	0.118	0.042		-0.010	0.119	0.118	0.045	
Mean_stations	-0.011	0.075	0.071			-0.010	0.075	0.071		
RMS_stations	0.024	0.078	0.075			0.024	0.078	0.075		

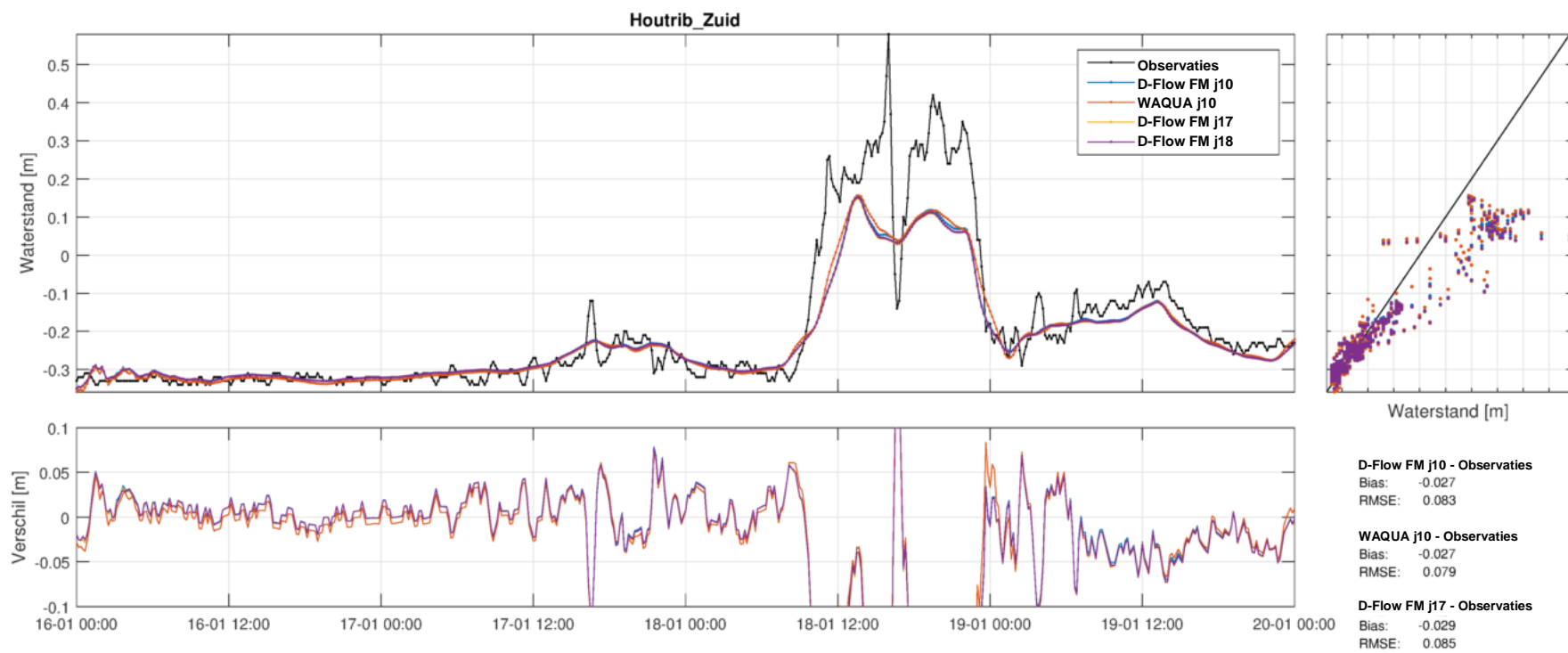
C.7.2 Ruimtelijk variërende wind



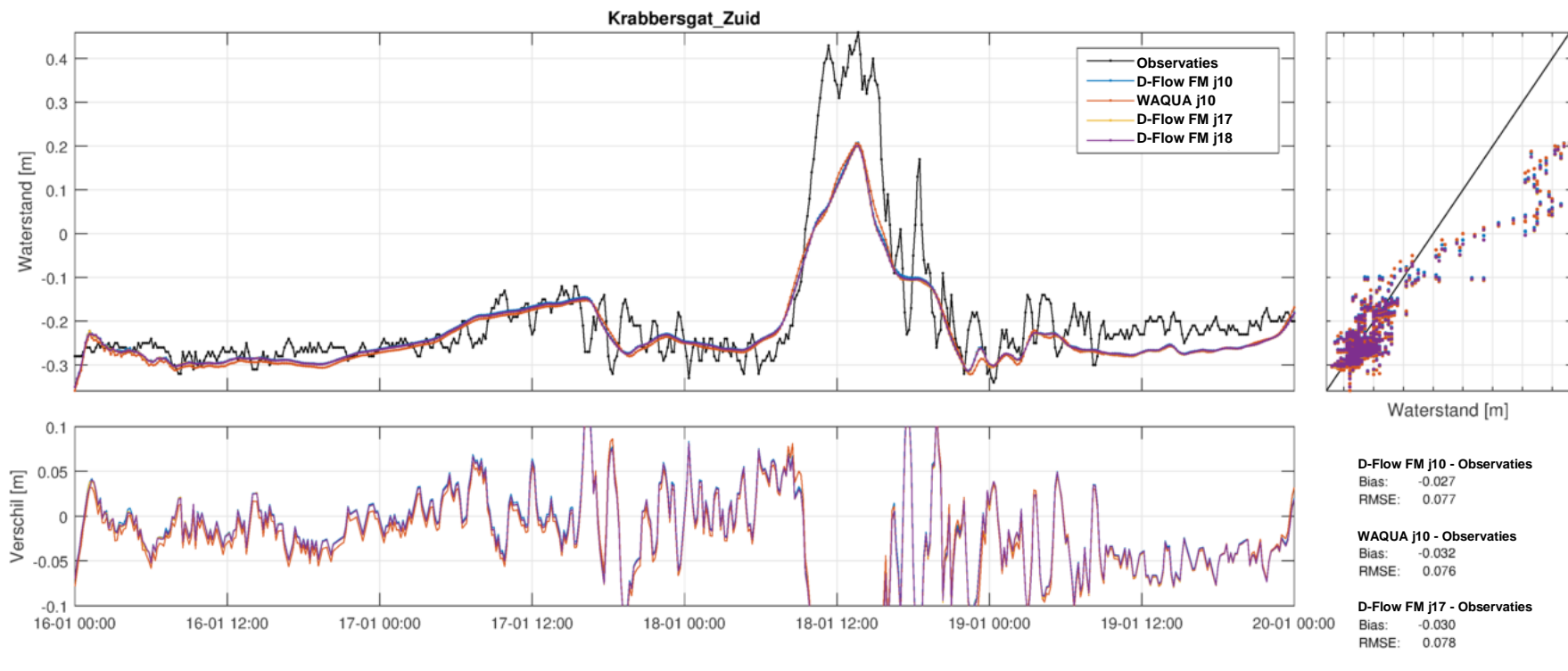
Figuur C.59 Resultaten bij Edam voor stormperiode januari 2007 met ruimtelijk variërende wind. Observatie en berekeningen met WAQUA j10, D-Flow FM j10, D-Flow FM j17 en D-Flow FM j18.



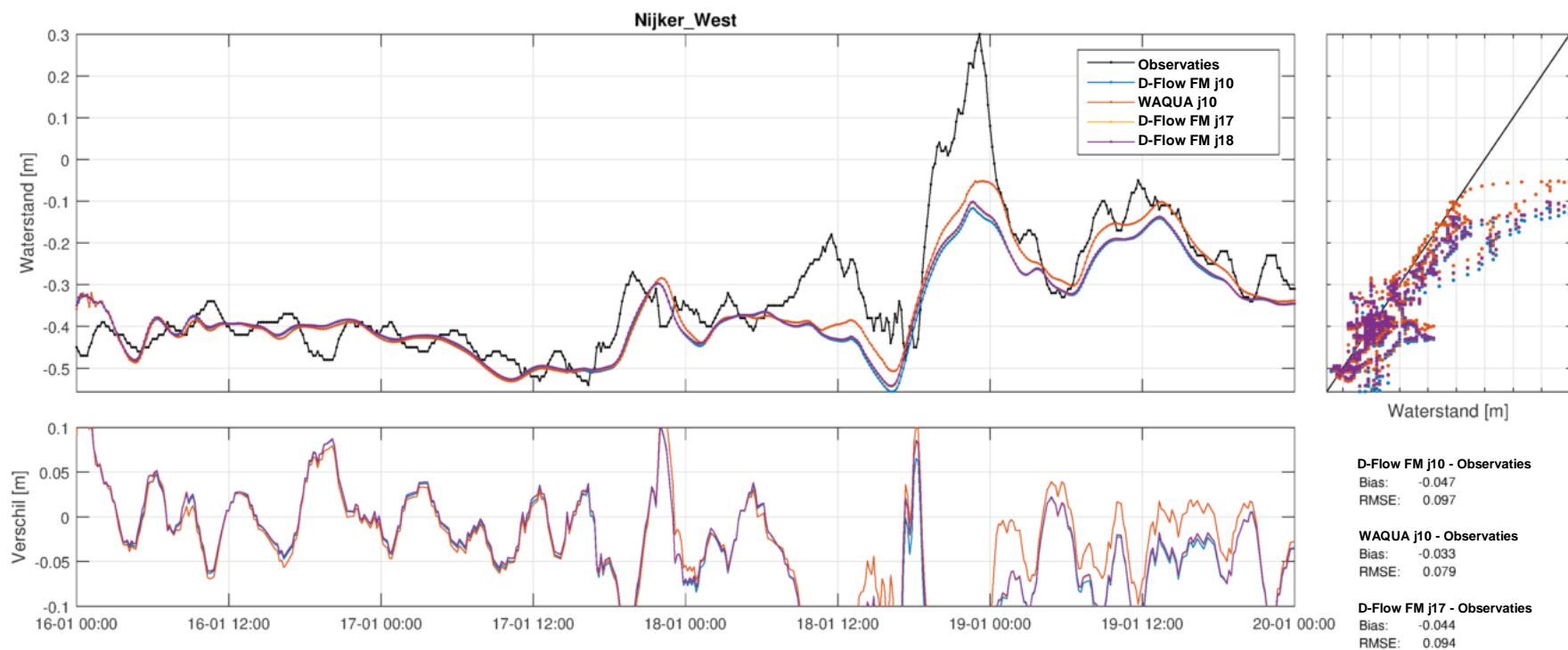
Figuur C.60 Resultaten bij Hollandse Brug voor stormperiode januari 2007 met ruimtelijk variërende wind. Observatie en berekeningen met WAQUA j10, D-Flow FM j10, D-Flow FM j17 en D-Flow FM j18.



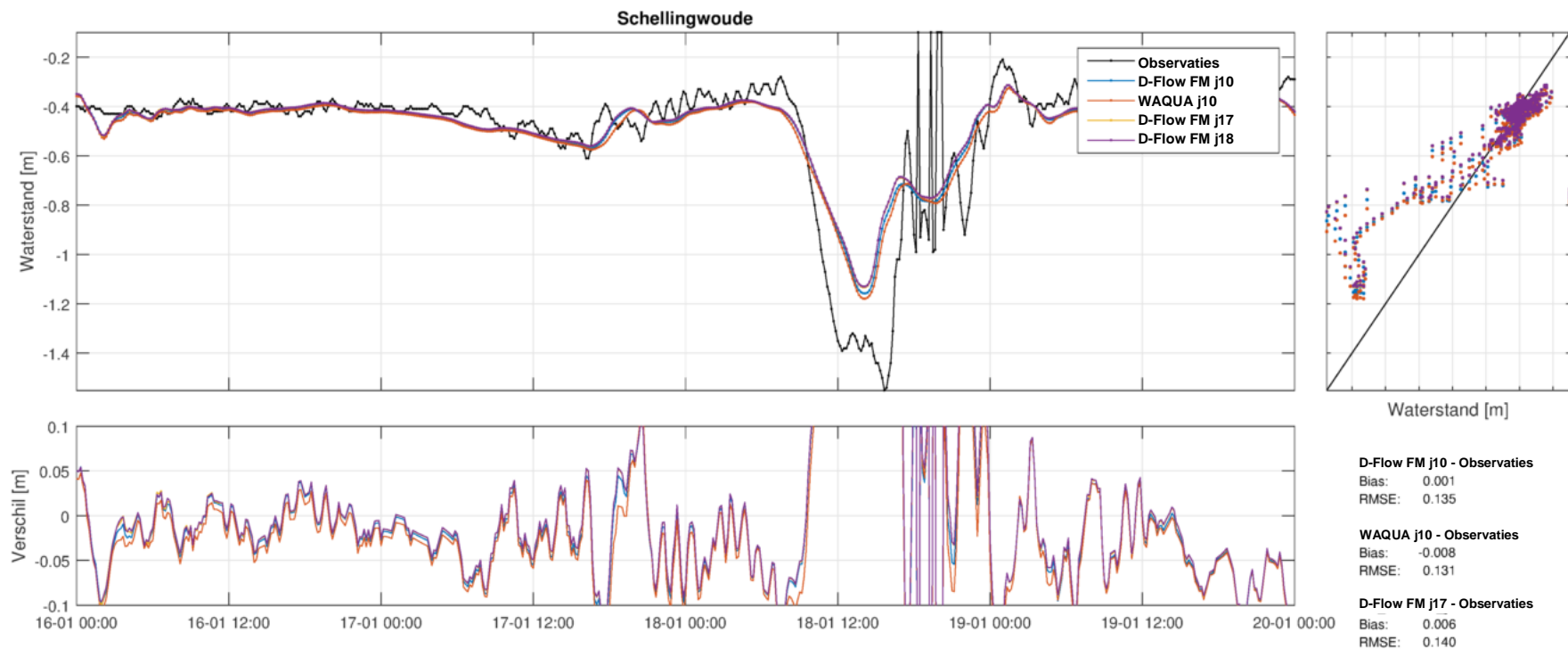
Figuur C.61 Resultaten bij Houtrib-Zuid voor stormperiode januari 2007 met ruimtelijke variërende wind. Observatie en berekeningen met WAQUA j10, D-Flow FM j10, D-Flow FM j17 en D-Flow FM j18.



Figuur C.62 Resultaten bij Krabbersgat-Zuid voor stormperiode januari 2007 met ruimtelijke variërende wind. Observatie en berekeningen met WAQUA j10, D-Flow FM j10, D-Flow FM j17 en D-Flow FM j18.



Figuur C.63 Resultaten bij Nijkerk-West voor stormperiode januari 2007 met ruimtelijke variërende wind. Observatie en berekeningen met WAQUA j10, D-Flow FM j10, D-Flow FM j17 en D-Flow FM j18.



Figuur C.64 Resultaten bij Schellingwoude voor stormperiode januari 2007 met ruimtelijke variërende wind. Observatie en berekeningen met WAQUA j10, D-Flow FM j10, D-Flow FM j17 en D-Flow FM j18.

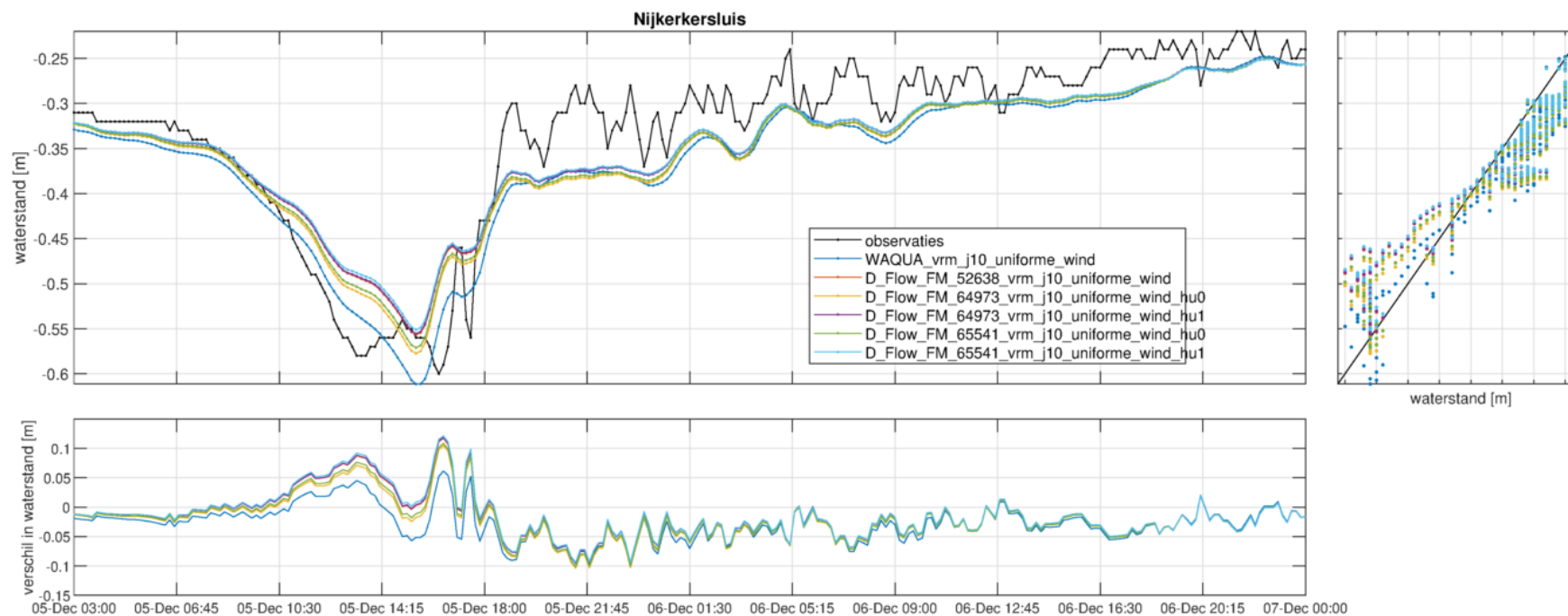
Tabel C.13 Modelprestatie voor storm januari 2007 met ruimtelijk variërende wind voor WAQUA j10, D-Flow FM j10, D-Flow FM j17 en D-Flow FM j18.

	D-Flow FM j10 - observaties					WAQUA j10 - observaties				
Station	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13
Edam	0.010	0.080	0.080	0.120		0.003	0.080	0.080	0.122	
Hollandse Brug	0.016	0.095	0.093	0.100		0.009	0.089	0.089	0.078	
Houtrib-Zuid	-0.027	0.083	0.078		-0.094	-0.027	0.079	0.074		-0.082
Krabbersgat-Zuid	-0.027	0.077	0.072		-0.222	-0.032	0.076	0.070		-0.210
Nijkerk-West	-0.047	0.097	0.085		-0.338	-0.033	0.079	0.072		-0.260
Schellingwoude	0.001	0.135	0.135	0.275		-0.008	0.131	0.131	0.247	
Mean_stations	-0.012	0.094	0.091			-0.015	0.089	0.086		
RMS_stations	0.026	0.096	0.093			0.022	0.091	0.089		

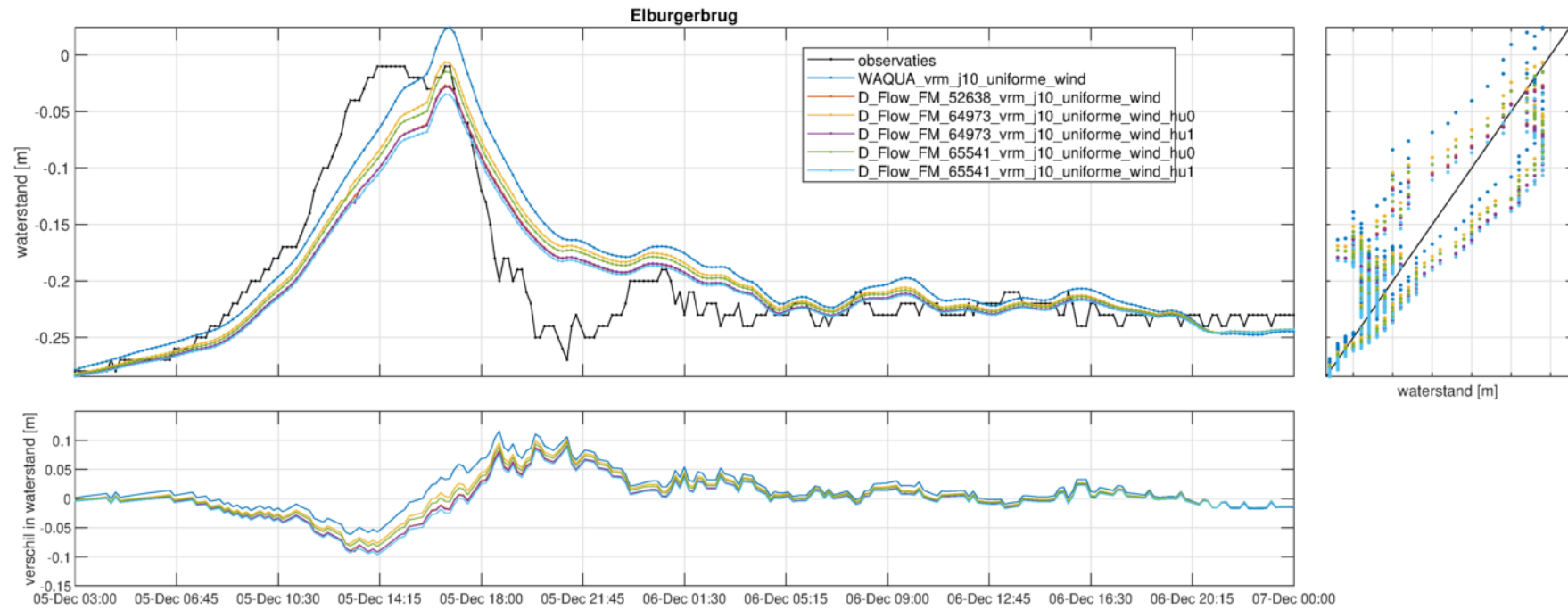
	D-Flow FM j17 - observaties					D-Flow FM j18 - observaties				
Station	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13
Edam	0.010	0.081	0.080	0.125		0.011	0.082	0.081	0.128	
Hollandse Brug	0.020	0.098	0.096	0.111		0.020	0.099	0.097	0.114	
Houtrib-Zuid	-0.029	0.085	0.080		-0.102	-0.028	0.085	0.080		-0.099
Krabbersgat-Zuid	-0.030	0.078	0.072		-0.230	-0.029	0.078	0.072		-0.228
Nijkerk-West	-0.044	0.094	0.083		-0.325	-0.043	0.093	0.082		-0.324
Schellingwoude	0.006	0.140	0.139	0.297		0.007	0.140	0.140	0.300	
Mean_stations	-0.011	0.096	0.092			-0.010	0.096	0.092		
RMS_stations	0.026	0.098	0.095			0.026	0.098	0.095		

C.8 Storm december 2013 Veluwerandmeren, validatie voor WAQUA j10 en D-Flow FM j10

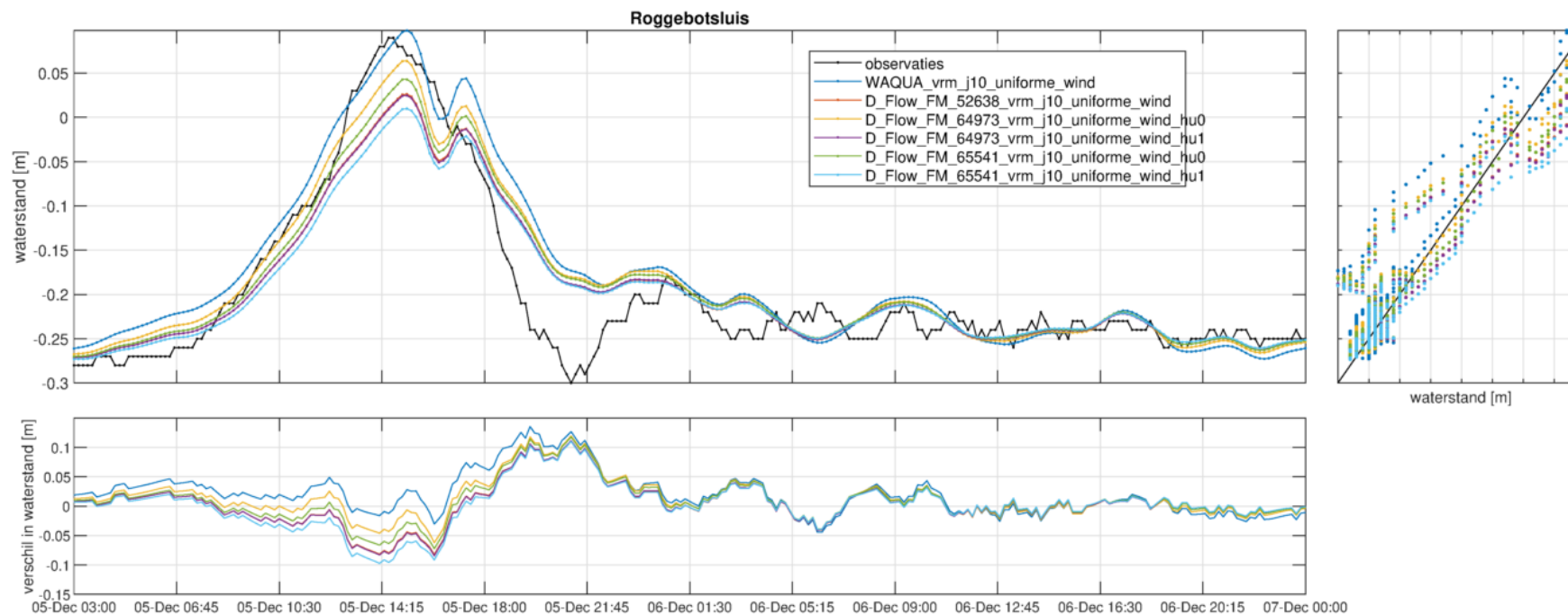
C.8.1 Uniforme wind



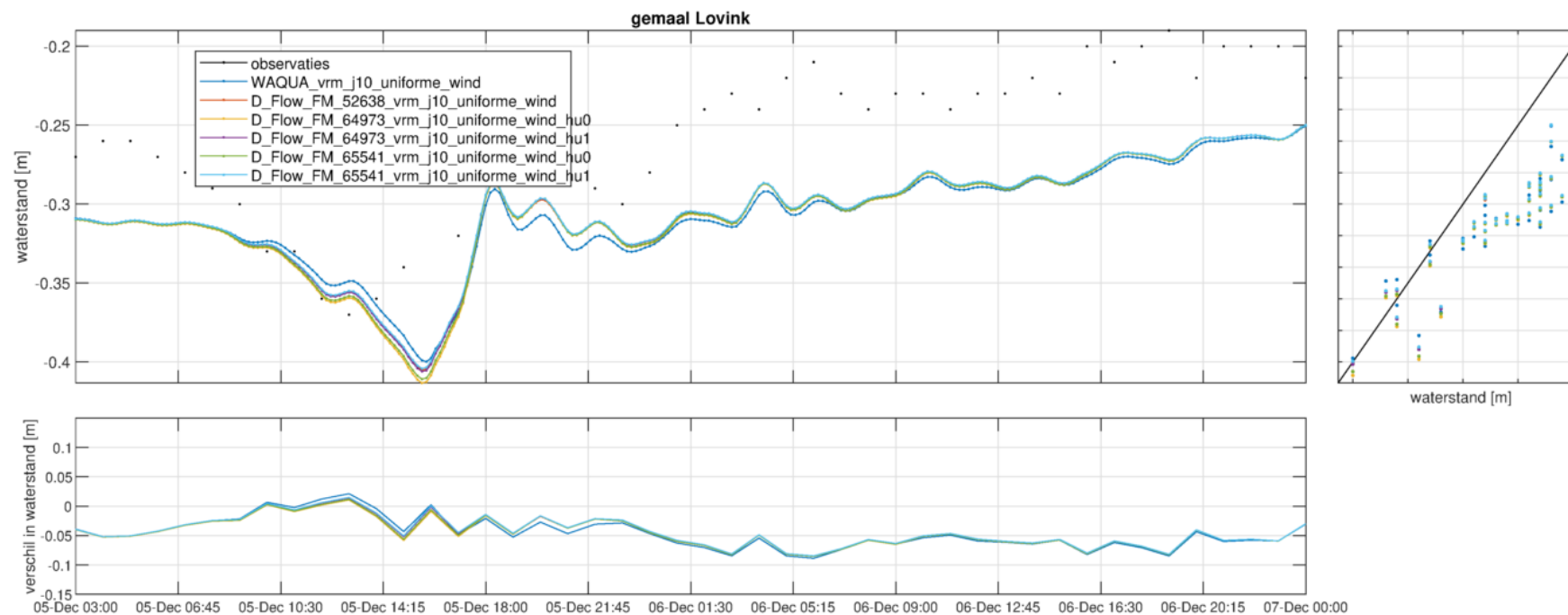
Figuur C.65 Resultaten bij Nijkerk voor stormperiode december 2013 met uniforme wind. Berekening voor WAQUA en verschillende versies van D-Flow FM.



Figuur C.66 Resultaten bij Elburg voor stormperiode december 2013 met uniforme wind. Berekening voor WAQUA en verschillende versies van D-Flow FM.



Figuur C.67 Resultaten bij Roggebotsluis voor stormperiode december 2013 met uniforme wind. Berekening voor WAQUA en verschillende versies van D-Flow FM.



Figuur C.68 Resultaten bij Lovink voor stormperiode december 2013 met uniforme wind. Berekening voor WAQUA en verschillende versies van D-Flow FM.

Tabel C.14 Modelprestatie voor storm december 2013 met uniforme wind.

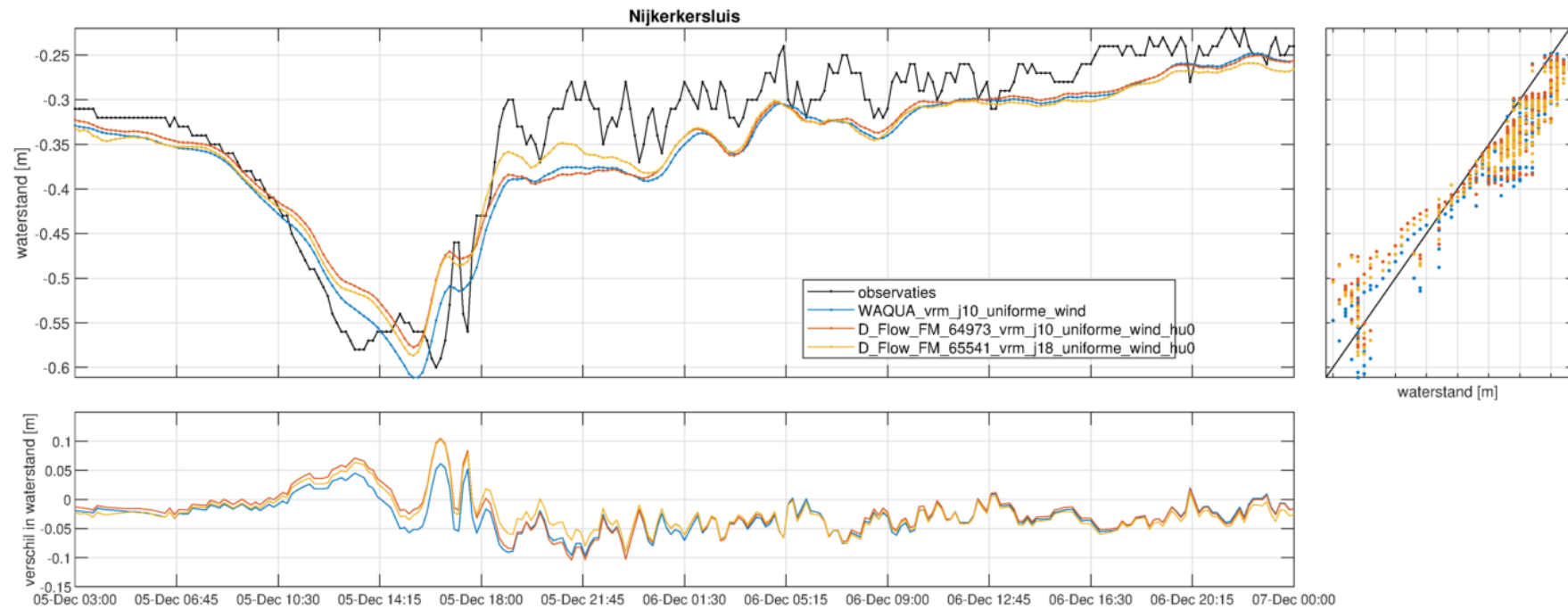
	WAQUA j10 – observaties					D-Flow FM 52638 j10 - observaties					D-Flow-FM 64973 j10 hu0 - observaties				
station	B	RMSE	stdv	dmin13	dmin13	B	RMSE	stdv	dmin13	dmin13	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13
Nijkerkersluis	-0.027	0.039	0.028	-0.034		-0.015	0.039	0.037	0.021		-0.021	0.041	0.035	0.002	
Elburgerbrug	0.013	0.035	0.033		0.017	-0.001	0.032	0.032		-0.028	0.006	0.034	0.033		-0.009
Roggebotsluis	0.020	0.040	0.035		0.000	0.004	0.034	0.034		-0.066	0.012	0.035	0.033		-0.033
gemaal Lovink	-0.046	0.053	0.026	*		-0.044	0.051	0.025	*		-0.046	0.052	0.024	*	
gem. stations	-0.010	0.042	0.031			-0.014	0.039	0.032			-0.012	0.040	0.031		
RMS stations	0.029	0.042	0.031			0.023	0.040	0.032			0.026	0.041	0.032		

	D-Flow-FM 64973 j10 hu1 - observaties					D-Flow-FM 65541 j10 hu0 - observaties					D-Flow-FM 65541 j10 hu1 - observaties				
station	B	RMSE	stdv	dmin13	dmin13	B	RMSE	stdv	dmin13	dmin13	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13
Nijkerkersluis	-0.015	0.041	0.038	0.022		-0.019	0.041	0.036	0.008		-0.014	0.041	0.038	0.026	
Elburgerbrug	-0.001	0.033	0.033		-0.029	0.003	0.033	0.033		-0.017	-0.003	0.033	0.033		-0.035
Roggebotsluis	0.004	0.036	0.035		-0.068	0.008	0.035	0.034		-0.051	0.001	0.038	0.038		-0.081
gemaal Lovink	-0.044	0.051	0.025	*		-0.045	0.051	0.025	*		-0.044	0.051	0.025	*	
gem. stations	-0.014	0.040	0.033			-0.013	0.040	0.032			-0.015	0.041	0.034		
RMS stations	0.024	0.042	0.031			0.023	0.040	0.032			0.026	0.041	0.032		

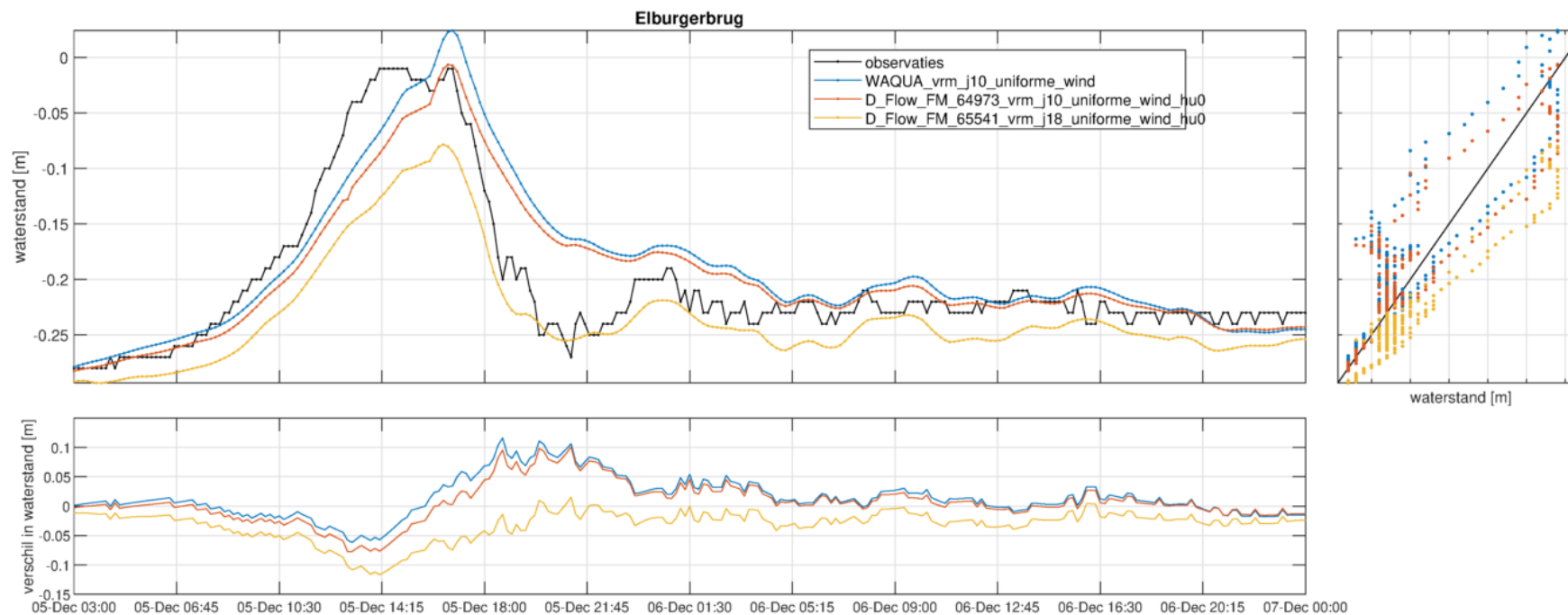
* Onvoldoende metingen rondom piek.

C.9 Storm december 2013 Veluwerandmeren, validatie voor D-Flow FM j18

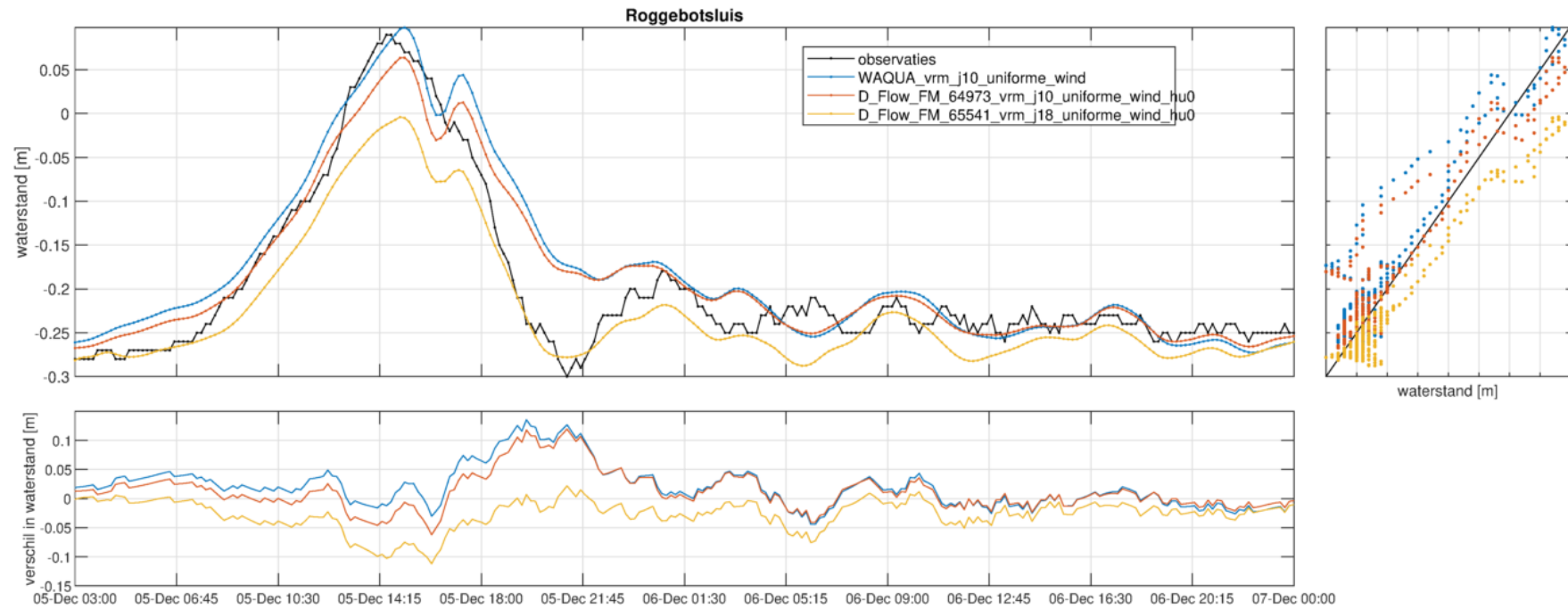
C.9.1 Uniforme wind



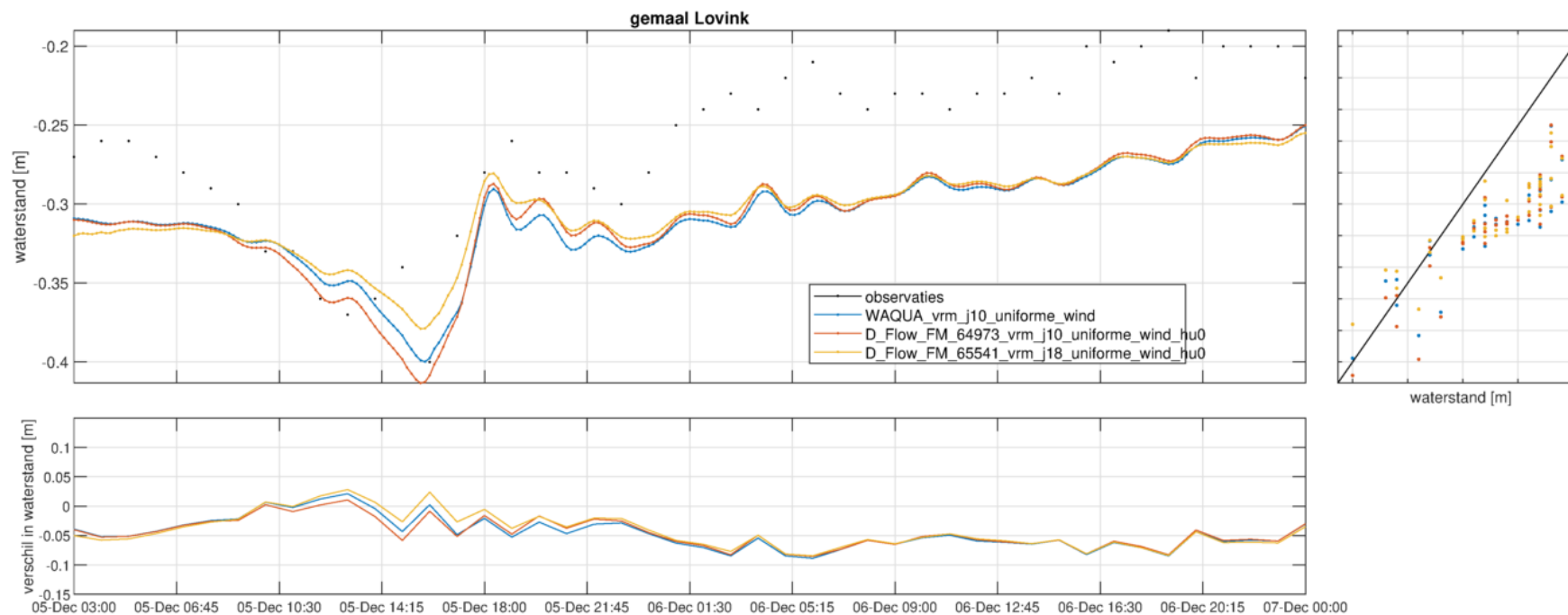
Figuur C.69 Resultaten bij Nijkerk voor stormperiode december 2013 met uniforme wind. Berekening voor WAQUA j10, D-Flow FM j10 en D-Flow FM j18.



Figuur C.70 Resultaten bij Elburg voor stormperiode december 2013 met uniforme wind. Berekening voor WAQUA j10, D-Flow FM j10 en D-Flow FM j18.



Figuur C.71 Resultaten bij Roggebotsluis voor stormperiode december 2013 met uniforme wind. Berekening voor WAQUA j10, D-Flow FM j10 en D-Flow FM j18.



Figuur C.72 Resultaten bij Lovink voor stormperiode december 2013 met uniforme wind. Berekening voor WAQUA j10, D-Flow FM j10 en D-Flow FM j18

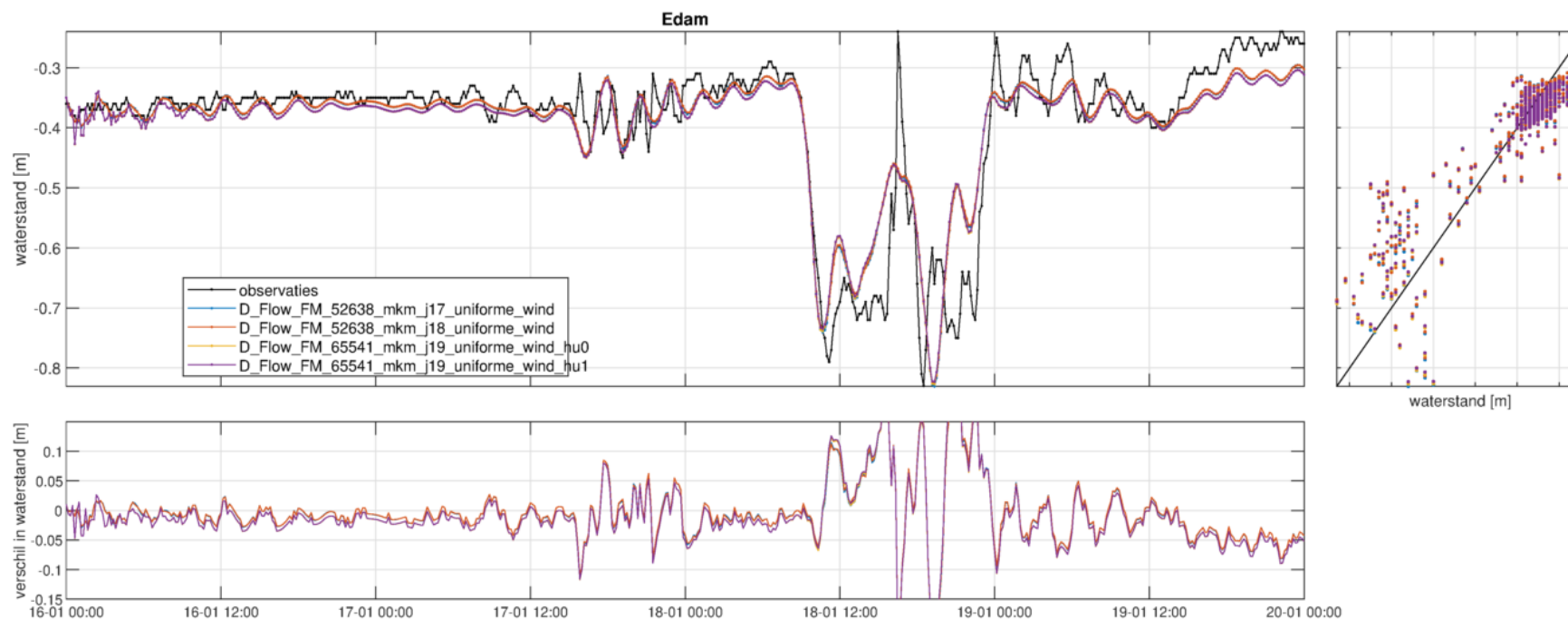
Tabel C.15 Modelprestatie voor storm december 2013 met uniforme wind.

	WAQUA j10 – observaties					D-Flow FM 64973 j10 hu0 - observaties					D-Flow-FM 65541 j18 hu0 - observaties				
station	B	RMSE	stdv	dmin13	dmin13	B	RMSE	stdv	dmin13	dmin13	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13
Nijkerkersluis	-0.027	0.039	0.028	-0.034		-0.021	0.041	0.035	0.002		-0.022	0.038	0.031	-0.005	
Elburgerbrug	0.013	0.035	0.033		0.017	0.006	0.034	0.033		-0.009	-0.031	0.040	0.025		-0.074
Roggebotsluis	0.020	0.040	0.035		0.000	0.012	0.035	0.033		-0.033	-0.027	0.037	0.025		-0.091
gemaal Lovink	-0.046	0.053	0.026	*		-0.046	0.052	0.024	*		-0.042	0.051	0.029	*	
gem. stations	-0.010	0.042	0.031			-0.012	0.040	0.031			-0.031	0.042	0.028		
RMS stations	0.029	0.042	0.031			0.026	0.041	0.032			0.032	0.042	0.028		

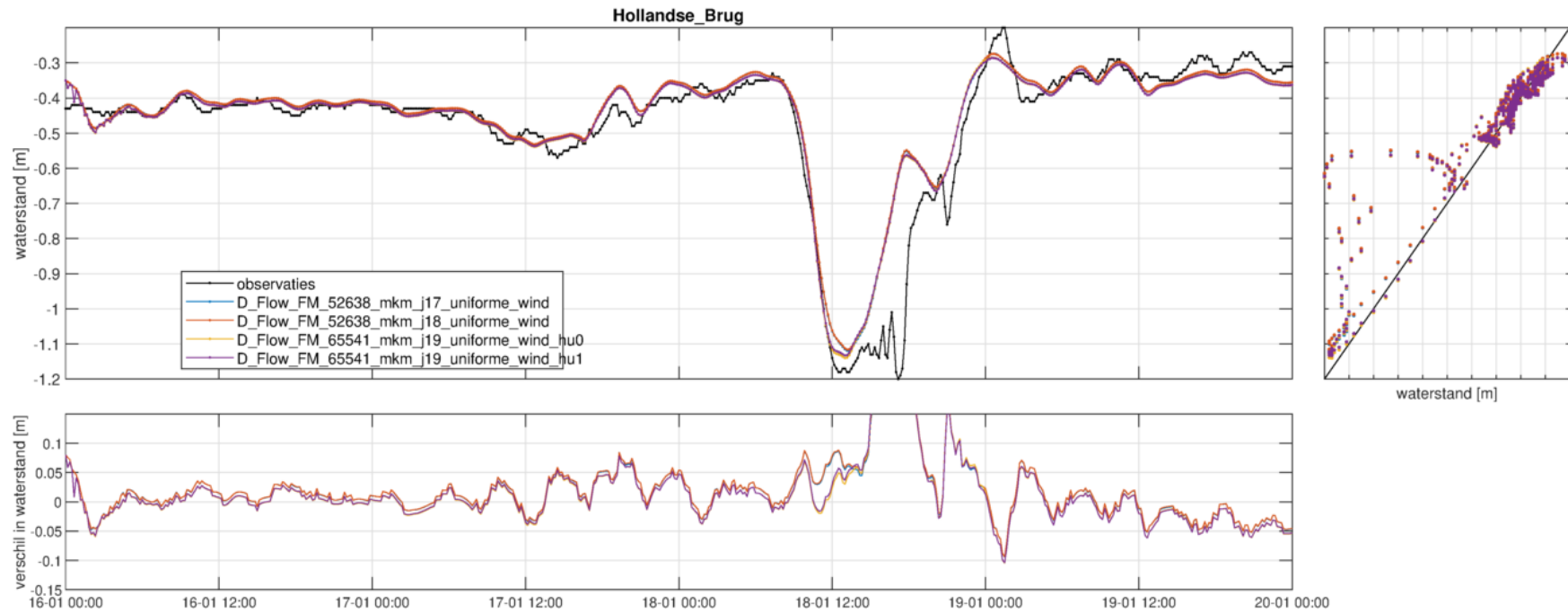
* Onvoldoende metingen rondom piek.

C.10 Storm januari 2007 Markermeer, validatie voor D-Flow FM j19

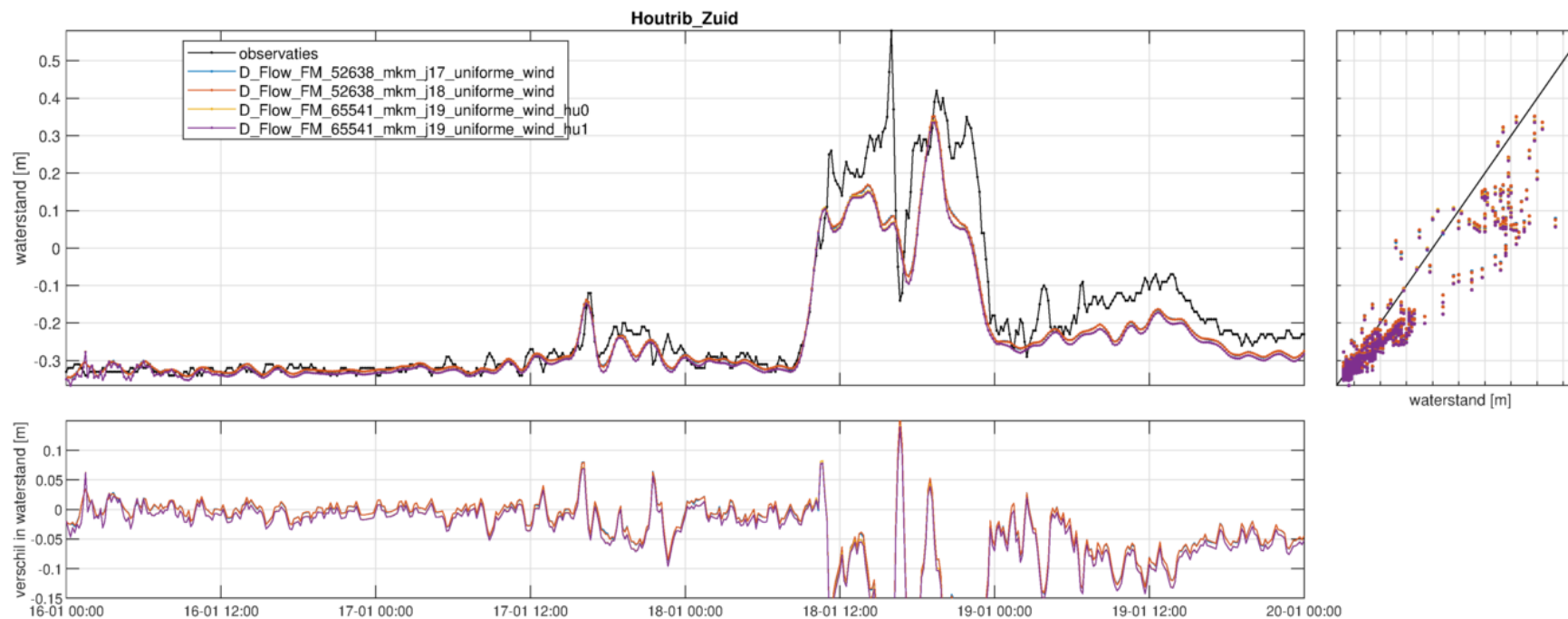
C.10.1 Uniforme wind



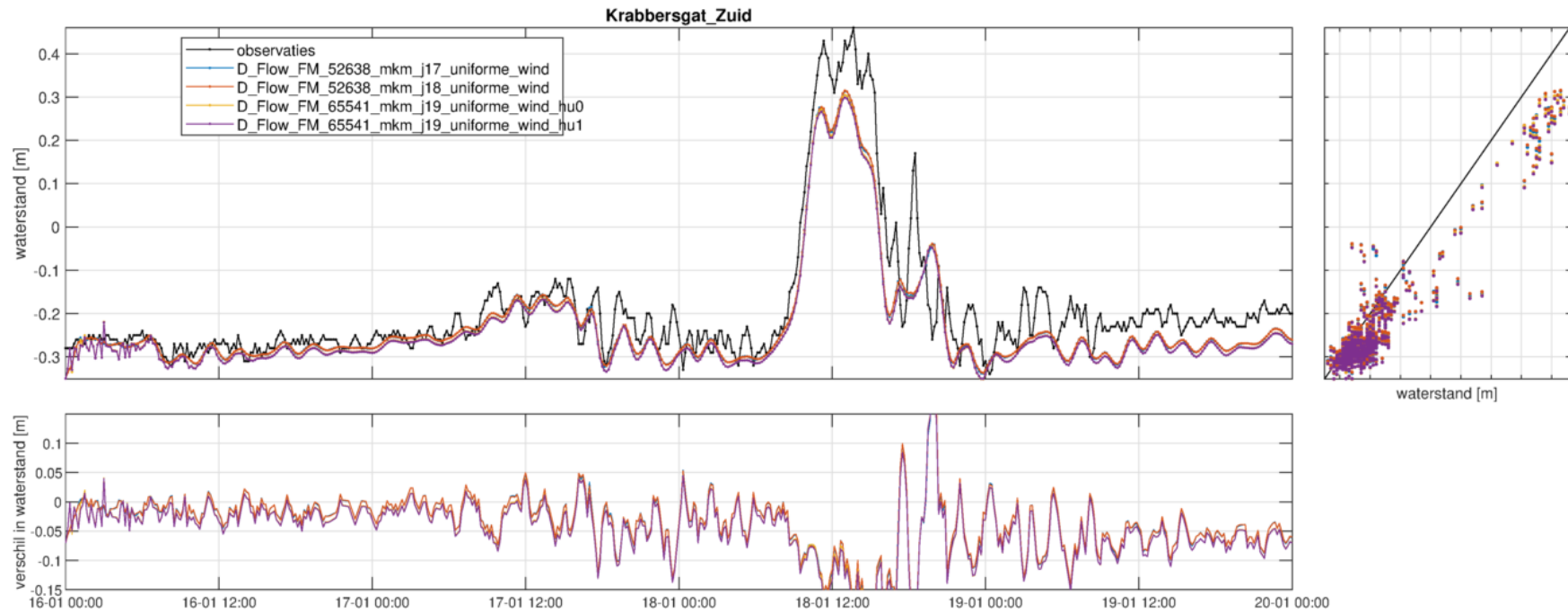
Figuur C.73 Resultaten bij Edam voor stormperiode januari 2007 met uniforme wind. Berekening voor j17, j18 en j19 en verschillende versies van D-Flow FM.



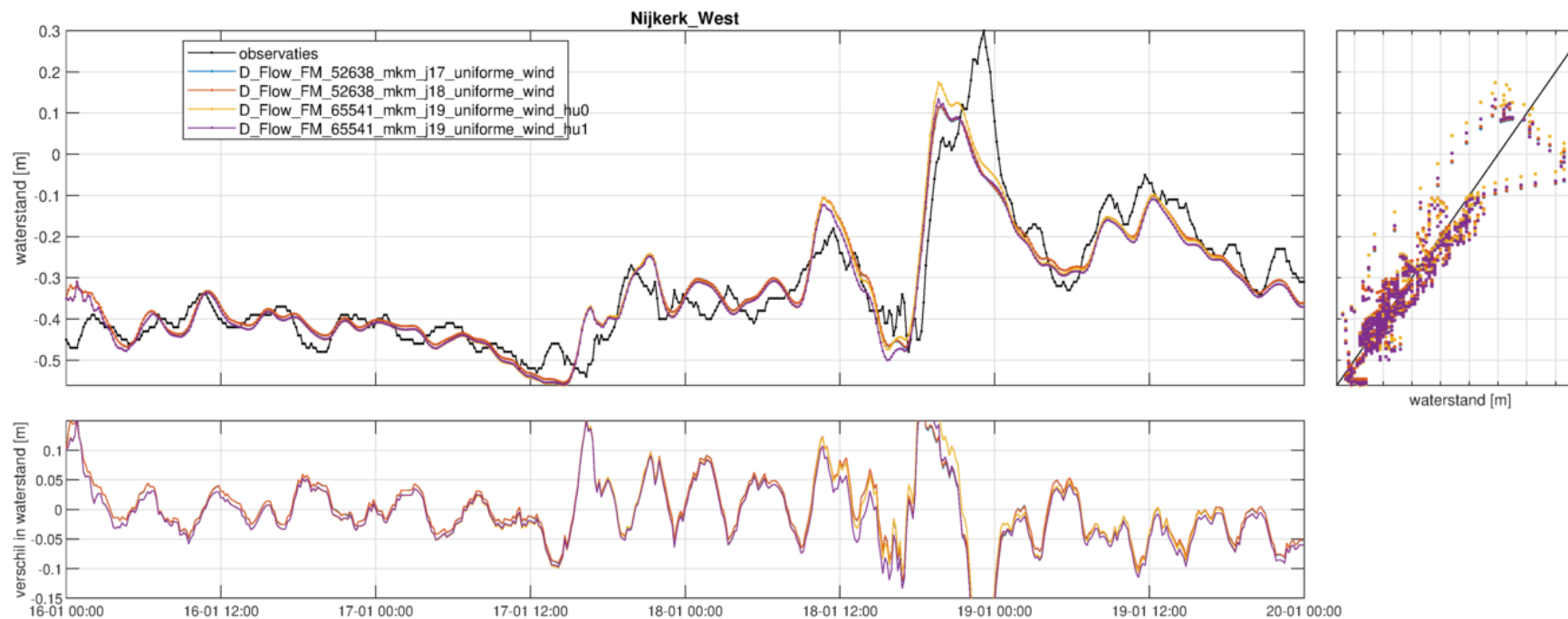
Figuur C.74 Resultaten bij Hollandse Brug voor stormperiode januari 2007 met uniforme wind. Berekening voor j17, j18 en j19 en verschillende versies van D-Flow FM.



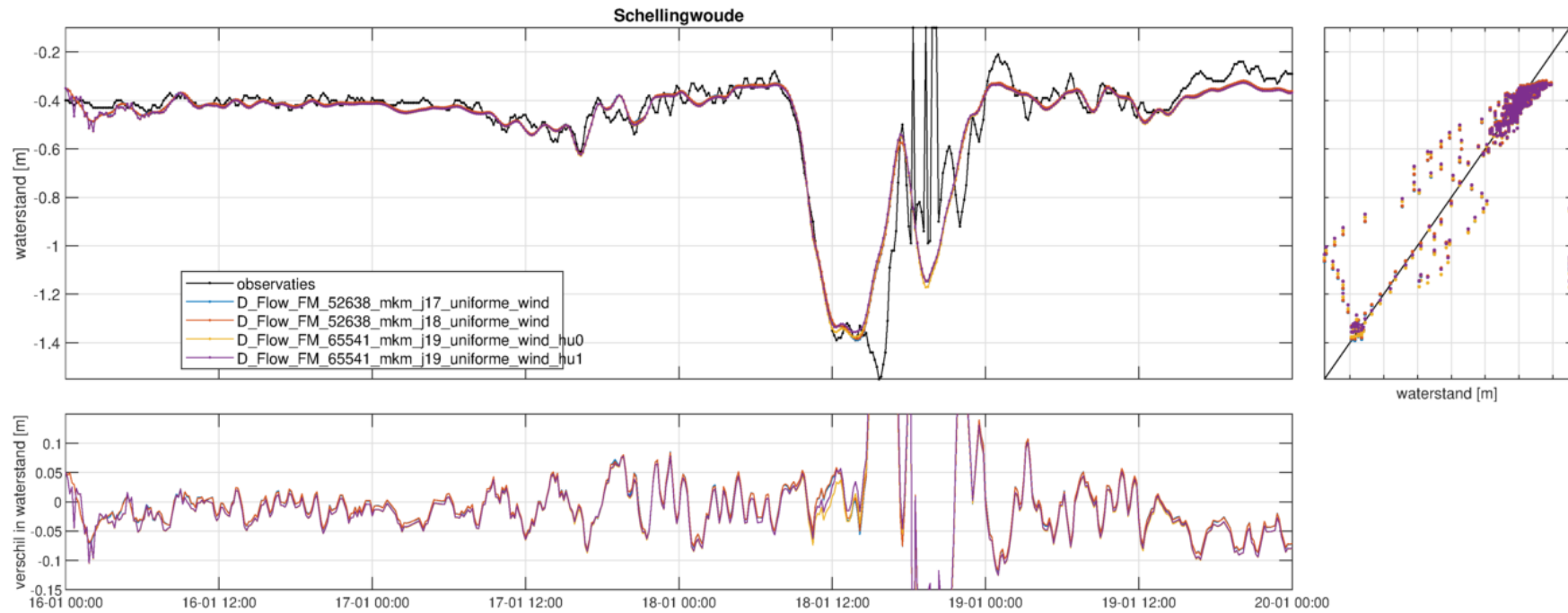
Figuur C.75 Resultaten bij Houtrib-Zuid voor stormperiode januari 2007 met uniforme wind. Berekening voor j17, j18 en j19 en verschillende versies van D-Flow FM.



Figuur C.76 Resultaten bij Krabbersgat-Zuid voor stormperiode januari 2007 met uniforme wind. Berekening voor j17, j18 en j19 en verschillende versies van D-Flow FM.



Figuur C.77 Resultaten bij Nijkerk-West voor stormperiode januari 2007 met uniforme wind. Berekening voor j17, j18 en j19 en verschillende versies van D-Flow FM.



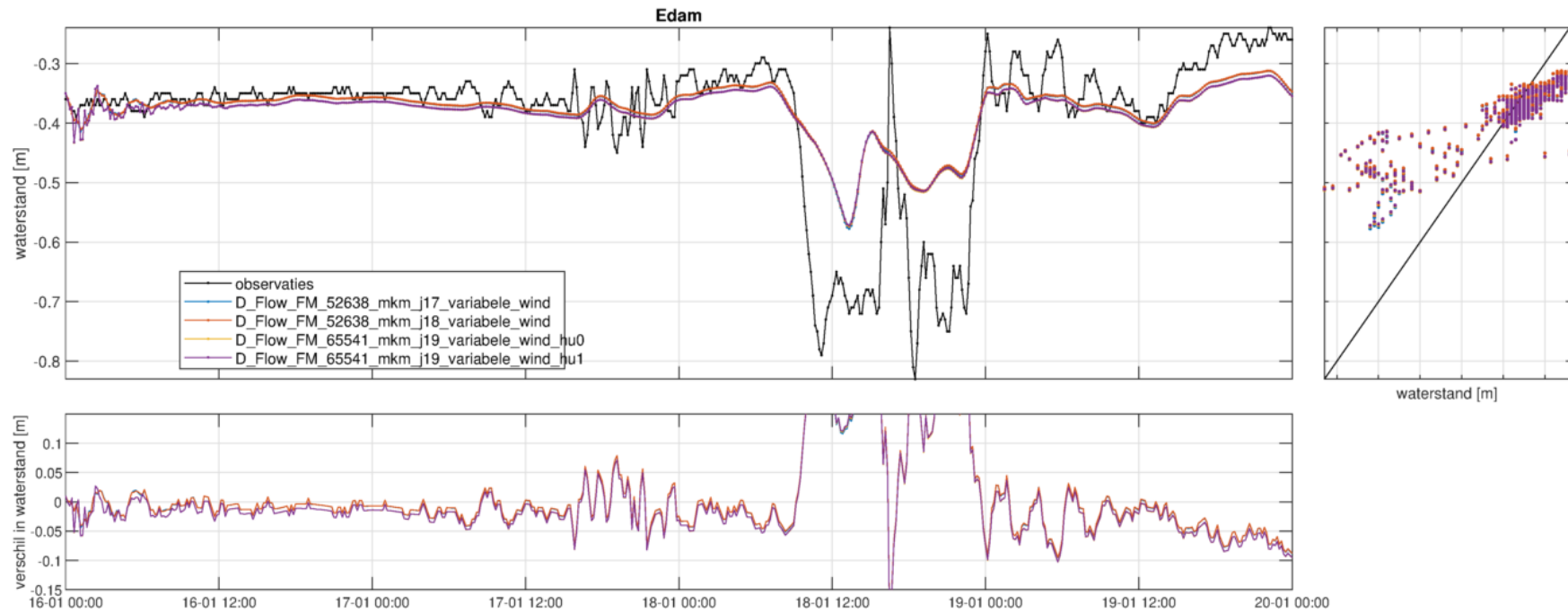
Figuur C.78 Resultaten bij Schellingwoude voor stormperiode januari 2007 met uniforme wind. Berekening voor j17, j18 en j19 en verschillende versies van D-Flow FM.

Tabel C.16 Modelprestatie voor storm januari 2007 met uniforme wind.

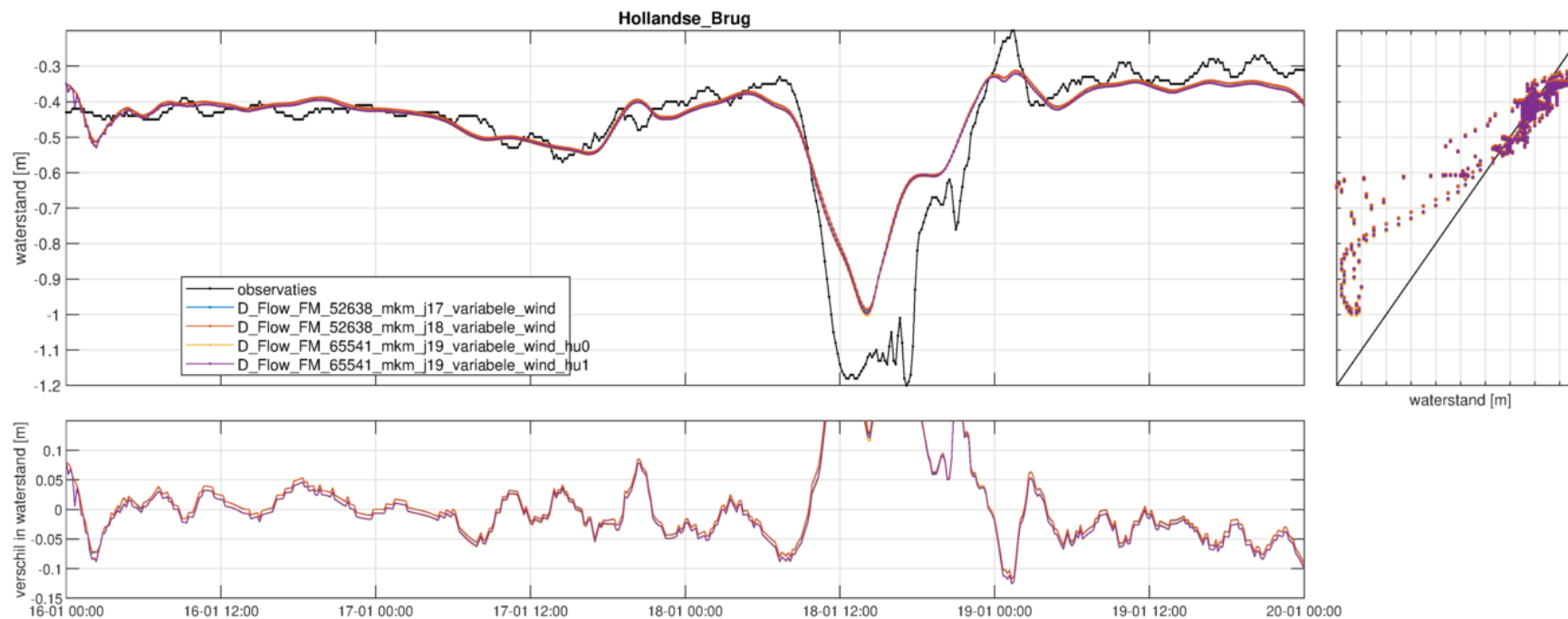
	D-Flow-FM 52638 j17 - observaties					D-Flow-FM 52638 j18 - observaties				
Station	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13
Edam	-0.004	0.052	0.052	-0.074		-0.003	0.052	0.052	-0.071	
Hollandse Brug	0.025	0.079	0.075	-0.040		0.025	0.079	0.075	-0.037	
Houtrib-Zuid	-0.036	0.076	0.067		0.041	-0.036	0.076	0.068		0.042
Krabbersgat-Zuid	-0.037	0.064	0.052		-0.114	-0.037	0.063	0.051		-0.112
Nijkerk-West	-0.001	0.063	0.063		-0.136	-0.000	0.063	0.063		-0.134
Schellingwoude	-0.010	0.119	0.118	0.042		-0.010	0.119	0.118	0.045	
Mean_stations	-0.011	0.075	0.071			-0.010	0.075	0.071		
RMS_stations	0.024	0.078	0.075			0.024	0.078	0.075		

	D-Flow-FM 65541 j19 hu0 - observaties					D-Flow-FM 65541 j19 hu1 - observaties				
Station	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13
Edam	-0.010	0.054	0.054	-0.070		-0.009	0.055	0.054	-0.067	
Hollandse Brug	0.017	0.076	0.075	-0.062		0.017	0.077	0.075	-0.055	
Houtrib-Zuid	-0.045	0.083	0.070		0.029	-0.046	0.083	0.070		0.025
Krabbersgat-Zuid	-0.046	0.069	0.052		-0.124	-0.047	0.070	0.052		-0.129
Nijkerk-West	-0.004	0.065	0.064		-0.102	-0.010	0.065	0.064		-0.138
Schellingwoude	-0.016	0.122	0.121	0.035		-0.013	0.122	0.121	-0.045	
Mean_stations	-0.017	0.078	0.073			-0.018	0.079	0.073		
RMS_stations	0.028	0.081	0.076			0.029	0.081	0.076		

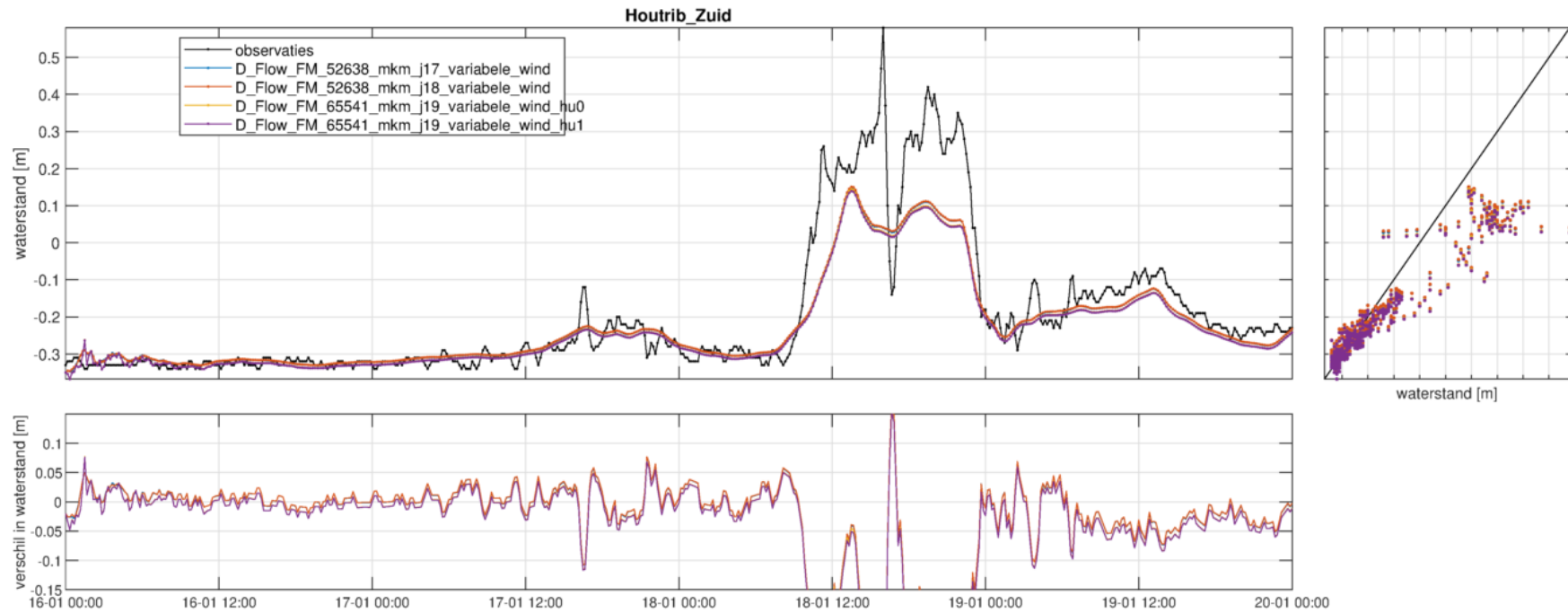
C.10.2 Ruimtelijk variërende wind



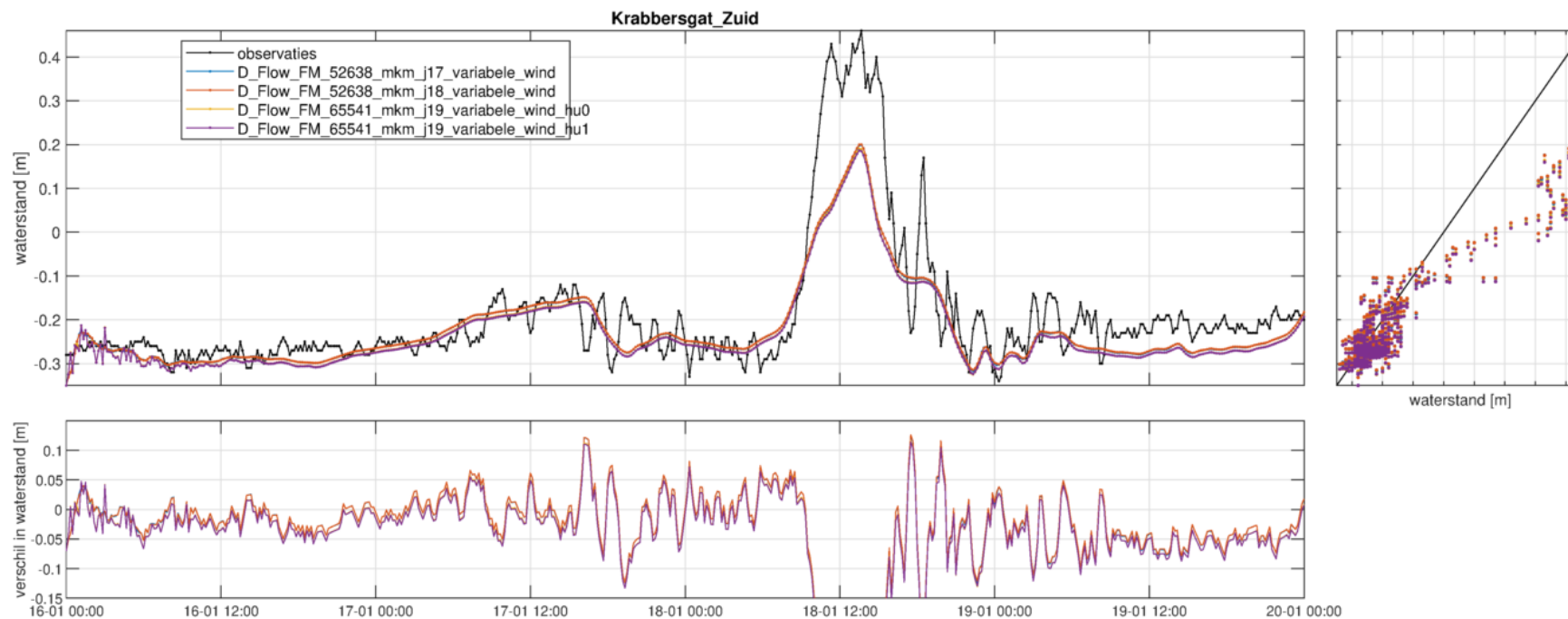
Figuur C.79 Resultaten bij Edam voor stormperiode januari 2007 met ruimtelijk variërende wind. Berekening voor j17, j18 en j19 en verschillende versies van D-Flow FM.



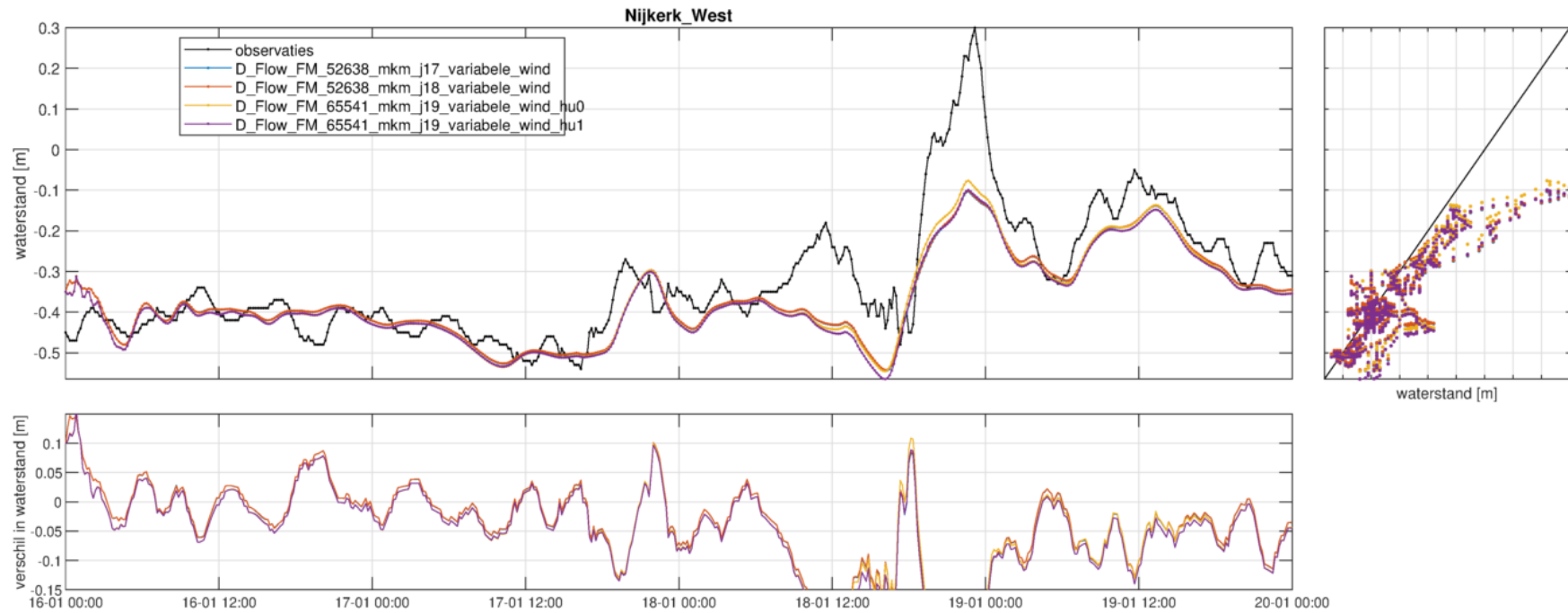
Figuur C.80 Resultaten bij Hollandse Brug voor stormperiode januari 2007 met ruimtelijk variërende wind. Berekening voor j17, j18 en j19 en verschillende versies van D-Flow FM.



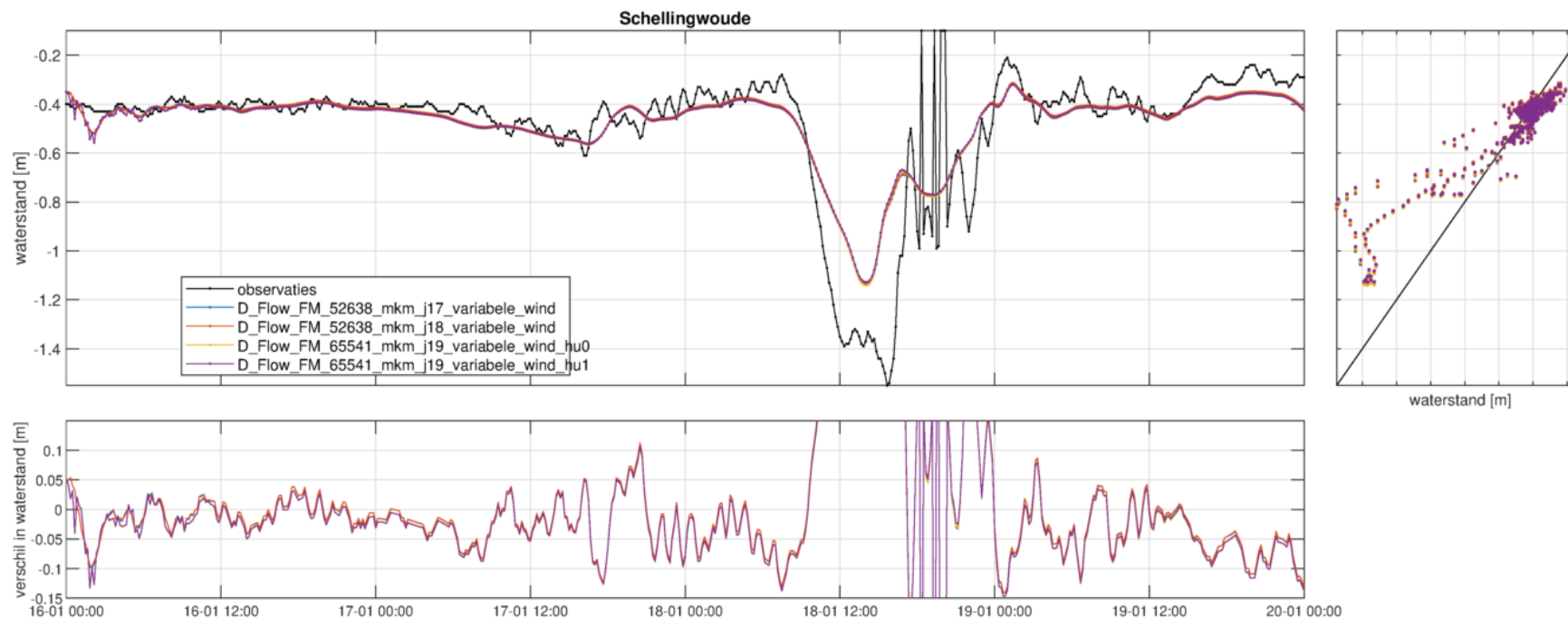
Figuur C.81 Resultaten bij Houtrib-Zuid voor stormperiode januari 2007 met ruimtelijke variërende wind. Berekening voor j17, j18 en j19 en verschillende versies van D-Flow FM.



Figuur C.82 Resultaten bij Krabbersgat-Zuid voor stormperiode januari 2007 met ruimtelijke variërende wind. Berekening voor j17, j18 en j19 en verschillende versies van D-Flow FM.



Figuur C.83 Resultaten bij Nijkerk-West voor stormperiode januari 2007 met ruimtelijke variërende wind. Berekening voor j17, j18 en j19 en verschillende versies van D-Flow FM.



Figuur C.84 Resultaten bij Schellingwoude voor stormperiode januari 2007 met ruimtelijke variërende wind. Berekening voor j17, j18 en j19 en verschillende versies van D-Flow FM.

Tabel C.17 Modelprestatie voor storm januari 2007 met ruimtelijk variërende wind.

	D-Flow-FM 52638 j17 - observaties					D-Flow-FM 52638 j18 - observaties				
Station	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13
Edam	0.010	0.081	0.080	0.125		0.011	0.082	0.081	0.128	
Hollandse Brug	0.020	0.098	0.096	0.111		0.020	0.099	0.097	0.114	
Houtrib-Zuid	-0.029	0.085	0.080		-0.102	-0.028	0.085	0.080		0.128
Krabbersgat-Zuid	-0.030	0.078	0.072		-0.230	-0.029	0.078	0.072		0.114
Nijkerk-West	-0.044	0.094	0.083		-0.325	-0.043	0.093	0.082		-0.048
Schellingwoude	0.006	0.140	0.139	0.297		0.007	0.140	0.140	0.300	
Mean_stations	-0.011	0.096	0.092			-0.010	0.096	0.092		
RMS_stations	0.026	0.098	0.095			0.026	0.098	0.095		

	D-Flow-FM 65541 j19 hu0 - observaties					D-Flow-FM 65541 j19 hu1 - observaties				
Station	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13	B	RMSE	stdv	dmin13	dmax13
Edam	0.004	0.082	0.082	0.129		0.005	0.083	0.082	0.130	
Hollandse Brug	0.012	0.096	0.096	0.100		0.013	0.097	0.097	0.106	
Houtrib-Zuid	-0.037	0.089	0.081		-0.107	-0.038	0.090	0.082		-0.111
Krabbersgat-Zuid	-0.038	0.082	0.072		-0.233	-0.039	0.083	0.073		-0.237
Nijkerk-West	0.092	0.078	-0.020		-0.052	0.097	0.082	-0.039		-0.323
Schellingwoude	0.001	0.141	0.141	0.294		0.003	0.143	0.143	0.306	
Mean_stations	-0.018	0.097	0.092			-0.018	0.099	0.093		
RMS_stations	0.030	0.099	0.095			0.031	0.101	0.096		

D Analyse D-Flow FM, Delft3D-FLOW en WAQUA voor Veluwerandmeren

D.1 Aanleiding

Voor de storm rond 5 december 2013 traden voor het D-Flow FM model van de Veluwerandmeren waterstanden op die flink afweken van zowel het WAQUA model als de metingen (zie ook Figuur D.27). Tijdens de piek van de storm onderschat het D-Flow FM model de waterstand zo'n 5 tot 10 cm. Dit treedt ook op als het D-Flow FM met het WAQUA rooster van de Veluwerandmeren gedraaid wordt. Omdat alle instellingen van het WAQUA model zo goed als mogelijk één op één zijn overgezet in het D-Flow FM model is de vraag waar dit door komt. In deze bijlage een samenvatting van de daarvoor uitgevoerde analyse.

D.2 Gebruikte modellen

Er zijn voor de analyse verschillende modellen en roosters gebruikt:

- Het WAQUA model van de Veluwerandmeren met curvilineair rooster.
- Een eerdere versie van het D-Flow FM model van de Veluwerandmeren met boundary fitted driehoekig rooster met rekencellen van 50 m bij 50 m bij 50 m en zo regelmatig als mogelijk (nog geen lokale roosterverfijning zoals bij Harderwijk).
- Een model voor Delft3D-FLOW, D-Flow FM en WAQUA met alleen een vierhoekig rooster van 20 m bij 20 m rekencellen dat de Veluwerandmeren bedekt (zie Figuur D.2) en alleen aangedreven door de wind, één versie met een uniforme diepte van 5 m, de andere versie met de werkelijke diepte afgebeeld op de rekencellen.
- Een schematisch kanaal model voor Delft3D-FLOW, D-Flow FM en WAQUA met alleen een vierhoekig rooster van 20 m bij 20 m rekencellen (zie Figuur D.1) en alleen aangedreven door de wind. Verschillende versies met vernauwingen (zie Figuur D.3): geen vernauwing, een vernauwing met 500 m opening, drie vernauwingen met 500 m opening, een vernauwing met 60 m opening en drie vernauwingen met 60 m opening. Dit in combinatie met een uniforme diepte van 5 m of een schematische diepte met een 60 m smalle vaargeul van 5 m diep en 2 m (on)diep elders.

Alle instellingen voor Delft3D-FLOW, D-Flow FM en WAQUA model zijn zo goed als mogelijk één op één hetzelfde gehouden. De modellen worden gedraaid voor zowel de storm rond 5 december 2013 (Figuur D.5) als een schematische WBI wind [6] (Figuur D.4). In beide gevallen is de windrichting in de langgerekte richting van de modeldomeinen van de verschillende modellen. Hierdoor is er een aanzienlijke opstuwing als de windsnelheid zijn maximum bereikt.

D.3 Resultaten schematische kanaal model

Doel van het schematische kanaal model met de verschillende diepten en vernauwingen is om te laten zien wanneer het verschil begint op te treden. De hier gepresenteerde figuren zijn daarop geordend.

D.3.1 Schematische WBI wind

Figuur D.6 laat de waterstand links en rechts zien voor het schematisch kanaal model met uniforme bodemdiepte en schematische WBI wind. Delft3D-FLOW, D-Flow FM en WAQUA laten nagenoeg hetzelfde resultaat zien. De introductie van vernauwingen zorgt dat met name D-Flow FM gaat afwijken, deze afwijking neemt toe als de vernauwingen groter worden. In Figuren D.7 en D.8 door kleine faseverschillen tijdens de piek van de storm. In Figuren D.9 en D.10 een structureel verschil tijdens de opbouw van de piek van de storm, tijdens de piek van de storm is het verschil weer verdwenen. Bij de schematische diepte met een smalle vaargeul

treedt het verschil al op zonder vernauwingen en dit houdt wel aan tijdens de piek van de storm (Figuren D.11 t/m D.13).

Het schematisch kanaal model is een factor 3 in beide horizontale richtingen verfijnd. Hiermee is nagegaan dat het geconstateerde verschil tussen D-Flow FM enerzijds en Delft3D-FLOW en WAQUA anderzijds niet afhangt van de roosterresolutie, zie Figuur D.14.

Figuur D.15 laat zien dat de bodemwrijvingscoëfficiënt UnifFrictCoef voor D-Flow FM minstens een factor 10 verkleind moet worden om de uitkomsten enigszins bij die van WAQUA te krijgen. Voor de volgende D-Flow FM instellingen zijn ook testen gedaan maar geen verschillen geobserveerd met de default waarden: Dicouv (10 ipv. 1), epshu (0.01 ipv. 0.0001), Dtuser en Limtypmom (0 ipv. 4).

D.3.2 Storm rond 5 december 2013

Voor de storm rond 5 december 2013 zijn vergelijkbare trends te observeren. De introductie van vernauwingen in het schematisch kanaal met uniforme bodemdpte zorgt dat met name D-Flow FM gaat afwijken, deze afwijking neemt toe als de vernauwingen groter worden (Figuren D.16 t/m D.20). Bij de schematische diepte met een smalle vaargeul treedt het verschil al op zonder vernauwingen (Figuur D.21). Deze afwijking is het grootst bij de pieken (dalen) en neemt toe als de vernauwingen groter worden (van Figuur D.21 via Figuur D.22 naar Figuur D.23).

D.4 Resultaten vierhoekige rooster Veluwerandmeren en WAQUA en D-Flow FM modellen

Doel van de modellen met de vierhoekige roosters voor de Veluwerandmeren is om te laten zien dat het geconstateerde verschil niet komt door een andere manier van afhandelen van Baseline achtige projecties op een rooster of andere roosterafhankelijkheden.

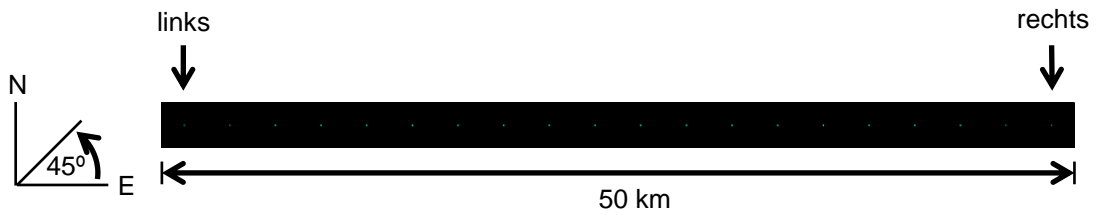
D.4.1 Schematische WBI wind

Figuur D.24 laat de waterstand bij Nijkerkersluis-oost en Roggebotsluis-zuid zien voor het vierhoekige rooster voor de Veluwerandmeren met uniforme bodemdpte en schematische WBI wind. Delft3D-FLOW, D-Flow FM en WAQUA laten resultaten zien die lijken op een situatie tussen die van Figuren D.8 en D.9, het schematische kanaal met uniforme bodemdpte en vernauwingen die groter worden.

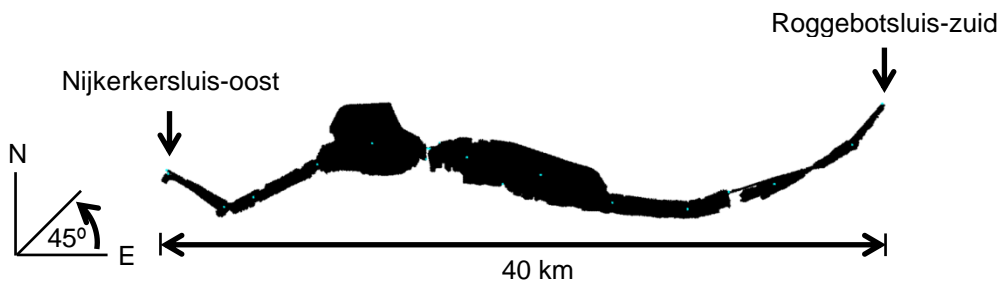
Figuur D.25 laat de waterstand bij Nijkerkersluis-oost en Roggebotsluis-zuid zien voor het vierhoekige rooster voor de Veluwerandmeren met werkelijke bodemdpte en schematische wind. Delft3D-FLOW, D-Flow FM en WAQUA laten resultaten zien die lijken op die van het schematische kanaal met smalle vaargeul en drie vernauwingen met 60 m opening (Figuur D.13). Nu is het verschil groter geworden. Dit verschil wordt nog wat groter voor D-Flow FM en WAQUA gedraaid voor het oorspronkelijke WAQUA rooster met werkelijke bodemdpte (Figuur D.26).

D.4.2 Storm rond 5 december 2013

Figuur D.27 laat de waterstand bij Nijkerkersluis-oost en Roggebotsluis-zuid zien voor het vierhoekige rooster voor de Veluwerandmeren met uniforme bodemdpte en voor de storm rond 5 december 2013. Deze resultaten van Delft3D-FLOW, D-Flow FM en WAQUA lijken enigszins op een situatie tussen die van Figuren D.18 en D.19, het schematische kanaal met uniforme bodemdpte en vernauwingen die groter worden. Na het passeren van de piek van de storm treedt er nu wel een faseverschil op tussen Delft3D-FLOW, D-Flow FM en WAQUA. Figuur D.28 laat de waterstand bij Nijkerkersluis-oost en Roggebotsluis-zuid zien voor het vierhoekige rooster voor de Veluwerandmeren met werkelijke bodemdpte en voor de storm rond 5 december 2013. Delft3D-FLOW, D-Flow FM en WAQUA laten resultaten zien die lijken op die van het schematische kanaal met smalle vaargeul en drie vernauwingen met 60 m opening (Figuur D.23). Nu is het verschil groter geworden. Dit verschil wordt nog wat groter voor D-Flow FM en WAQUA gedraaid voor het oorspronkelijke WAQUA rooster en D-Flow FM rooster (alleen D-Flow FM) met werkelijke bodemdpte (Figuur D.29).



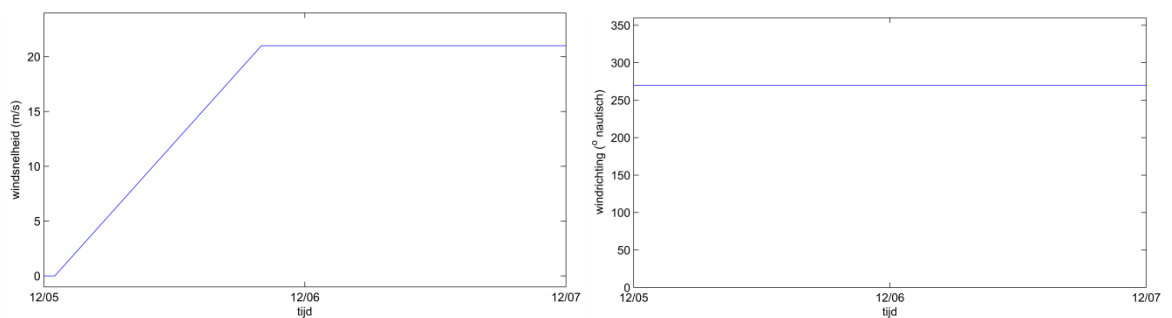
Figuur D.1 Schematische kanaal en locatie van de twee observatie punten.



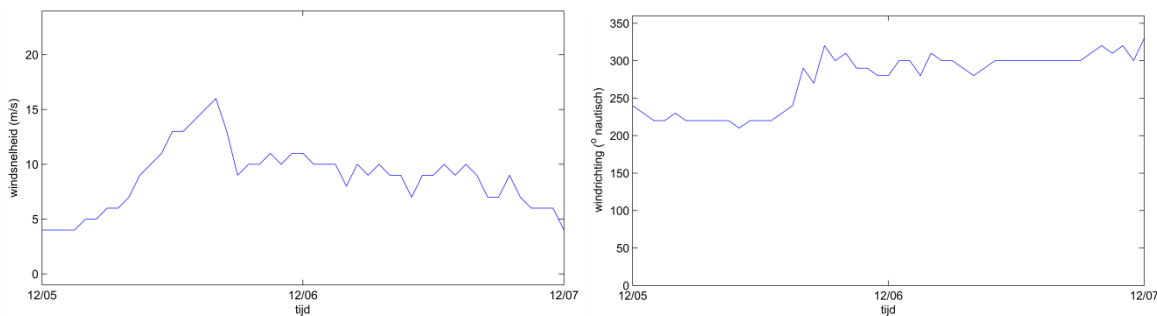
Figuur D.2 Door vierhoekig rooster bedekte gebied van Veluwerandmeren en locatie van de twee observatie punten.



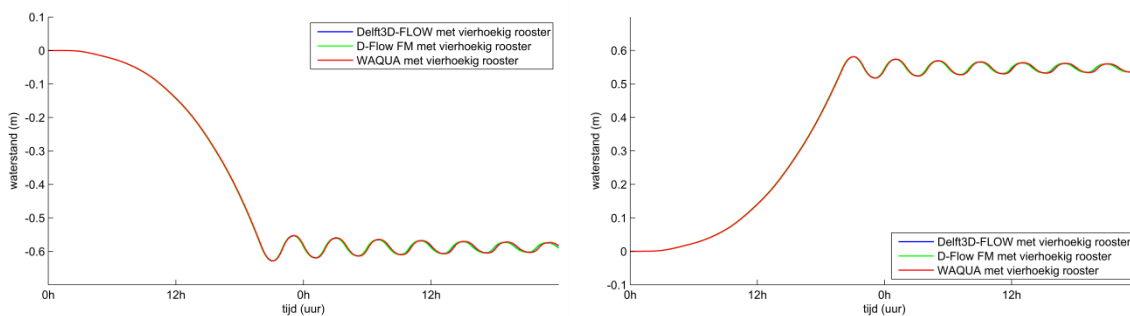
Figuur D.3 Schematische kanaal met van boven naar beneden: geen vernauwing, een vernauwing met 500 m opening, drie vernauwingen met 500 m opening, een vernauwing met 60 m opening en drie vernauwingen met 60 m opening.



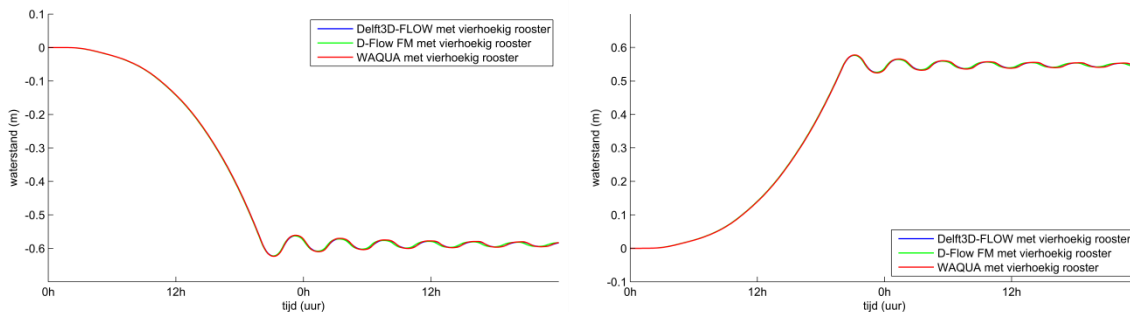
Figuur D.4 Windsnelheid (links) en windrichting (rechts) van schematische WBI wind.



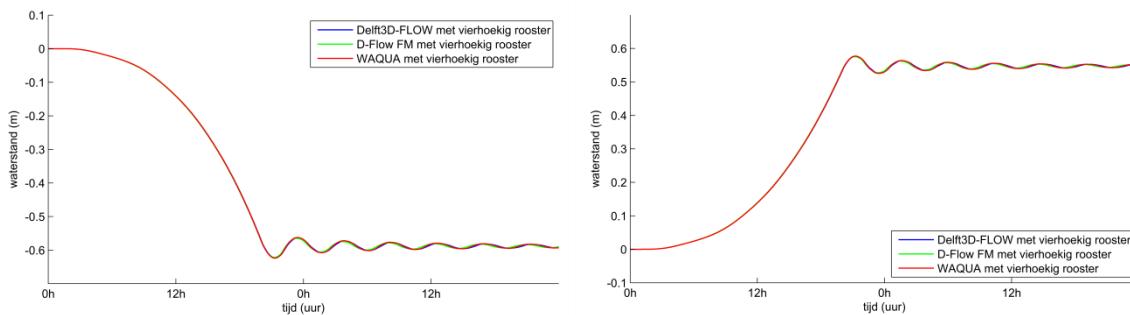
Figuur D.5 Windsnelheid (links) en windrichting gedurende storm rond 5 december 2013 (meetstation Lelystad).



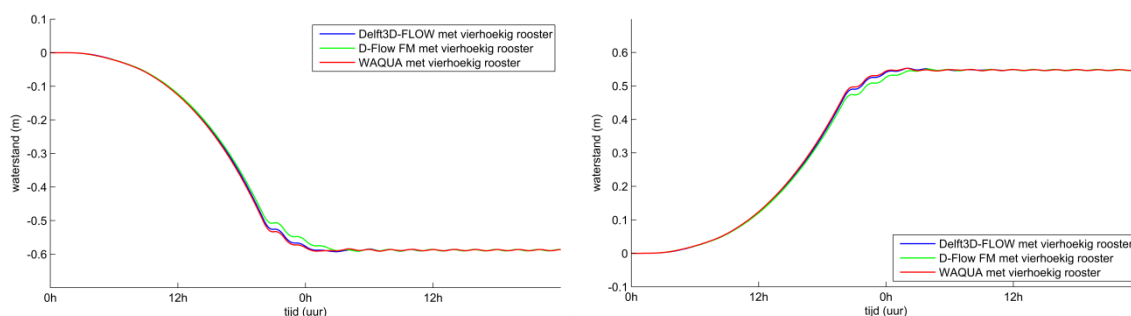
Figuur D.6 Waterstand links (links) en rechts (rechts) in schematische kanaal met uniforme bodemdiepte en schematische WBI wind.



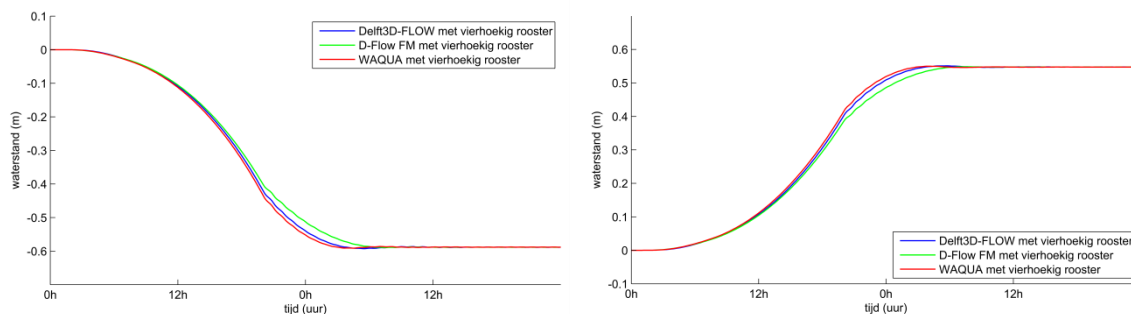
Figuur D.7 Waterstand links (links) en rechts (rechts) in schematische kanaal met uniforme bodemdiepte, een vernauwing met 500 m opening en schematische WBI wind.



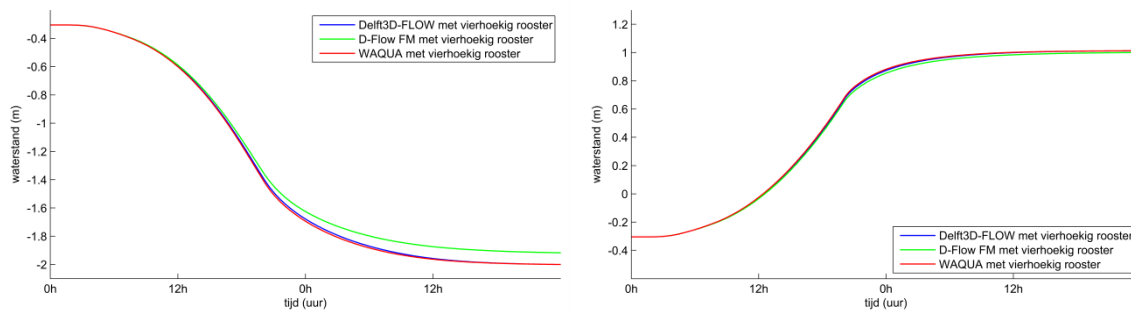
Figuur D.8 Waterstand links (links) en rechts (rechts) in schematische kanaal met uniforme bodemdiepte, drie vernauwingen met 500 m opening en schematische WBI wind.



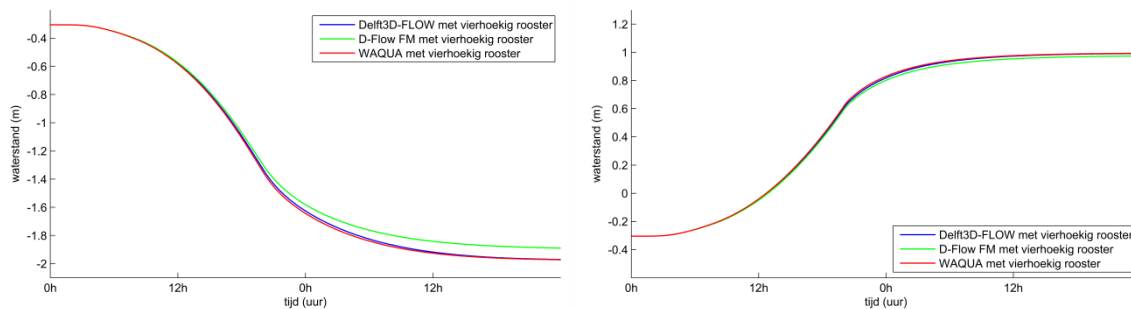
Figuur D.9 Waterstand links (links) en rechts (rechts) in schematische kanaal met uniforme bodemdiepte, een vernauwing met 60 m opening en schematische WBI wind.



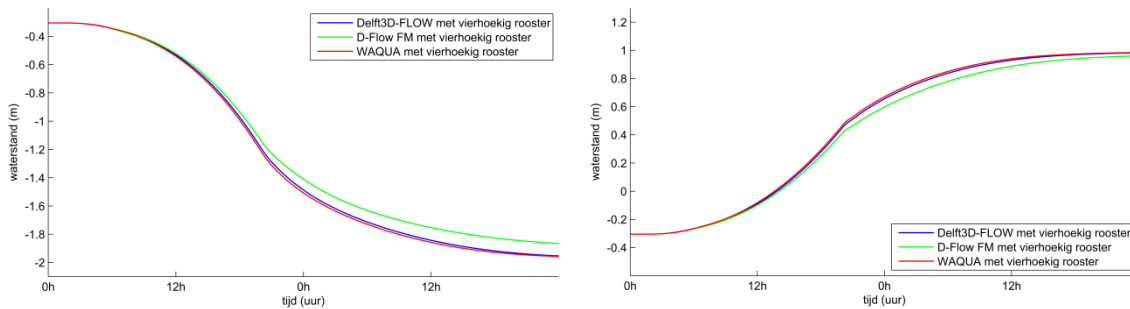
Figuur D.10 Waterstand links (links) en rechts (rechts) in schematische kanaal met uniforme bodemdiepte, drie vernauwingen met 60 m opening en schematische WBI wind.



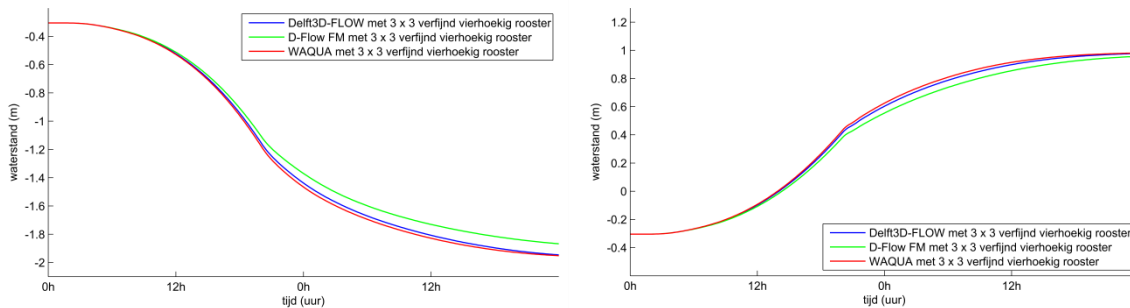
Figuur D.11 Waterstand links (links) en rechts (rechts) in schematische kanaal met smalle vaargeul en schematische WBI wind.



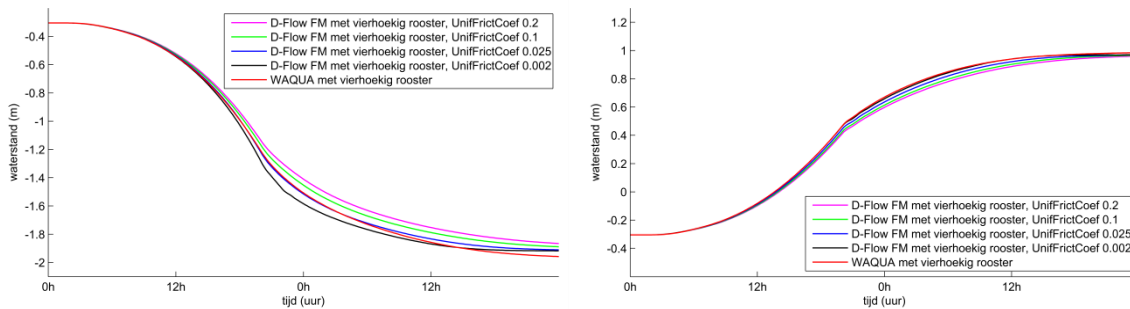
Figuur D.12 Waterstand links (links) en rechts (rechts) in schematische kanaal met smalle vaargeul, drie vernauwingen met 500 m opening en schematische WBI wind.



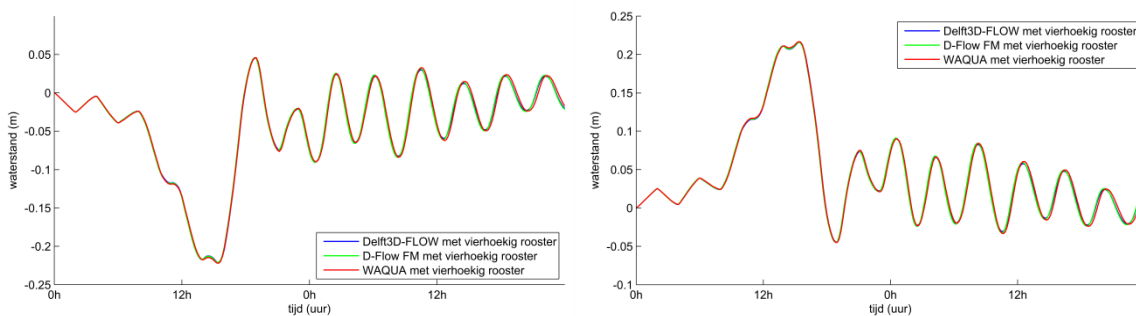
Figuur D.13 Waterstand links (links) en rechts (rechts) in schematische kanaal met smalle vaargeul, drie vernauwingen met 60 m opening en schematische WBI wind.



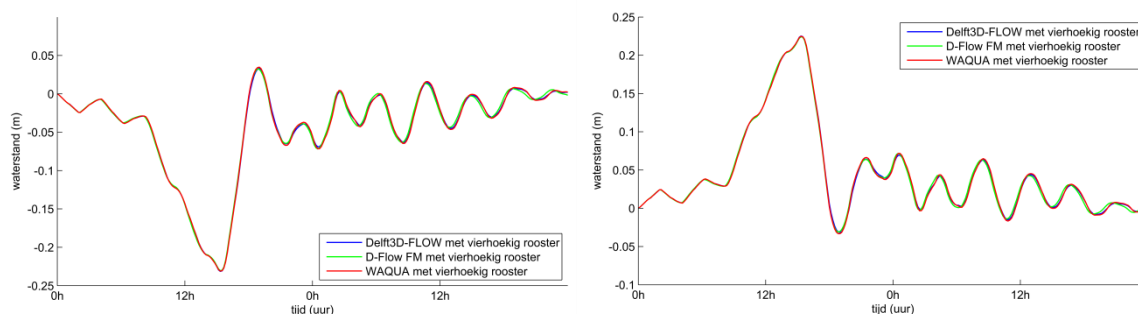
Figuur D.14 Waterstand links (links) en rechts (rechts) in schematische kanaal met 3 x 3 horizontaal verjijnd rooster met smalle vaargeul, drie vernauwingen met 60 m opening en schematische WBI wind.



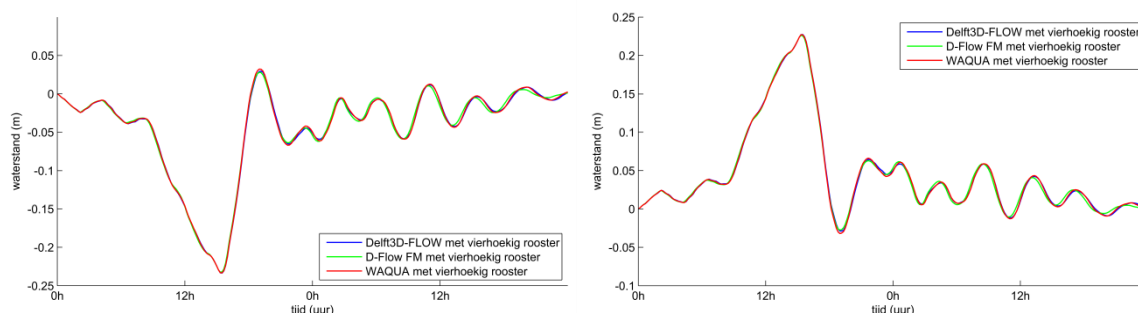
Figuur D.15 Waterstand links (links) en rechts (rechts) in schematische kanaal met smalle vaargeul, drie vernauwingen met 60 m opening en schematische WBI wind. Verschillende waarden gebruikt voor de uniforme bodemwrijvingscoëfficiënt in D-Flow FM.



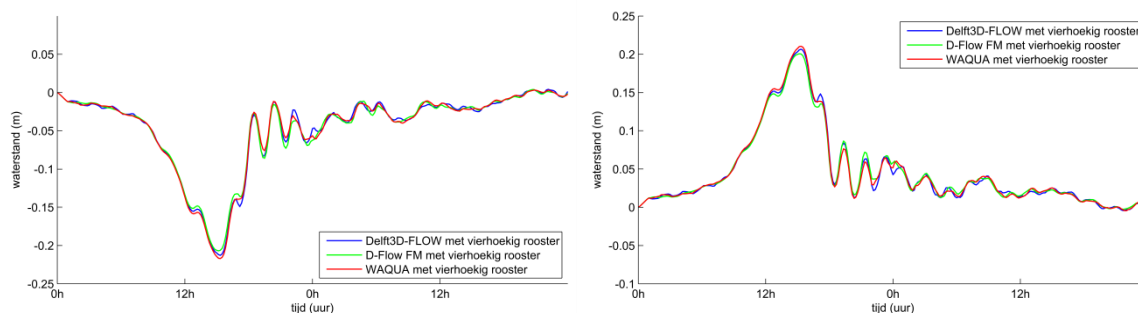
Figuur D.16 Waterstand links (links) en rechts (rechts) in schematische kanaal met uniforme bodemdpte en wind van storm rond 5 december 2013.



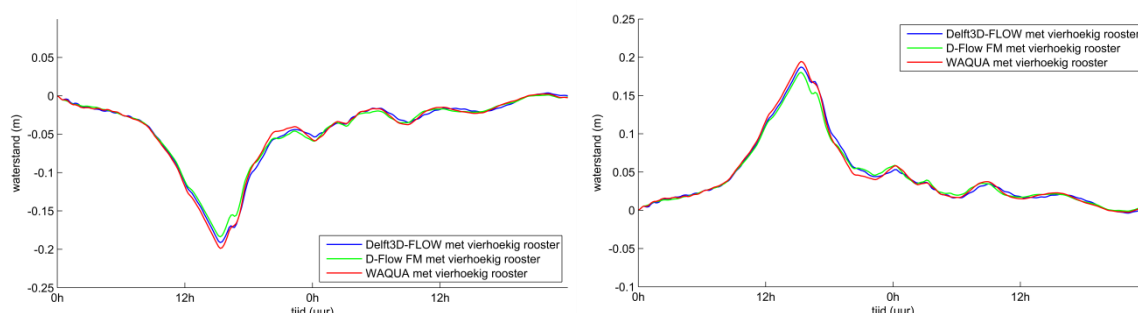
Figuur D.17 Waterstand links (links) en rechts (rechts) in schematische kanaal met uniforme bodemdiepte, een vernauwing met 500 m opening en wind van storm rond 5 december 2013.



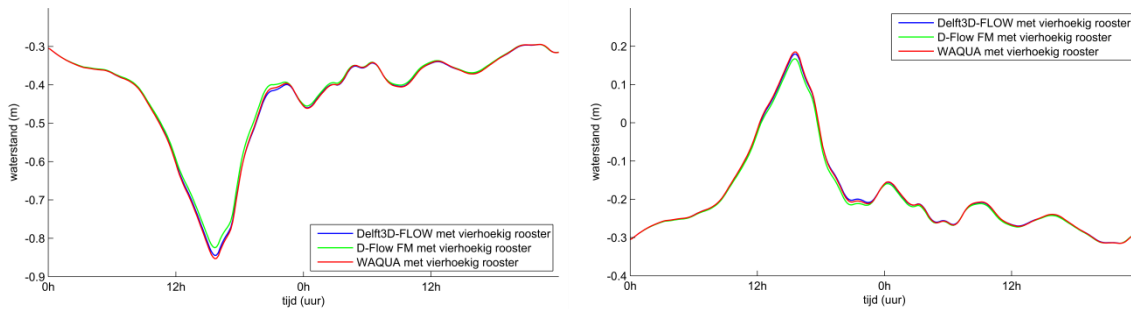
Figuur D.18 Waterstand links (links) en rechts (rechts) in schematische kanaal met uniforme bodemdiepte, drie vernauwingen met 500 m opening en wind van storm rond 5 december 2013.



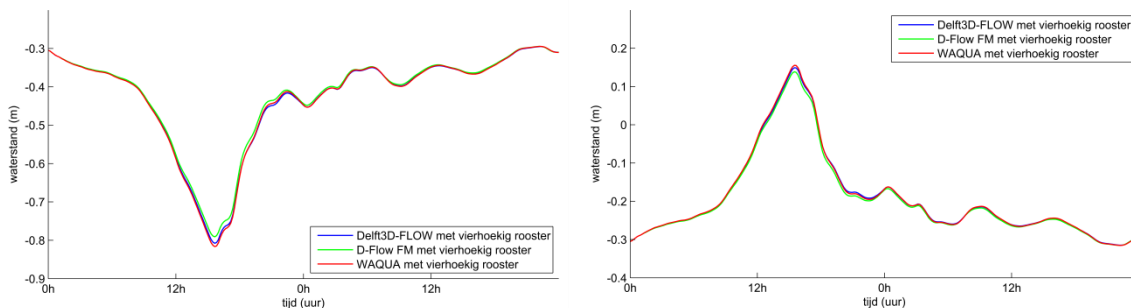
Figuur D.19 Waterstand links (links) en rechts (rechts) in schematische kanaal met uniforme bodemdiepte, een vernauwing met 60 m opening en wind van storm rond 5 december 2013.



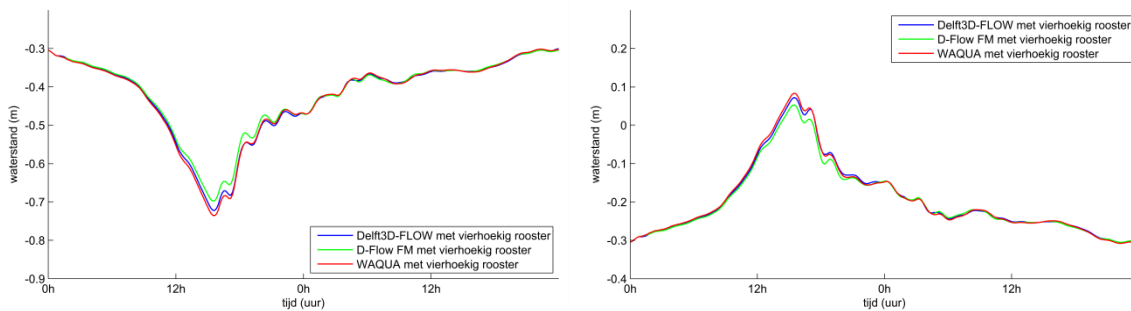
Figuur D.20 Waterstand links (links) en rechts (rechts) in schematische kanaal met uniforme bodemdiepte, drie vernauwingen met 60 m opening en wind van storm rond 5 december 2013.



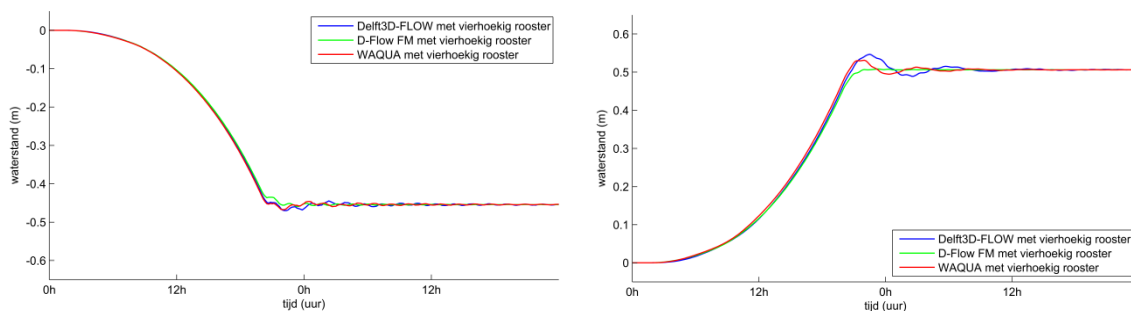
Figuur D.21 Waterstand links (links) en rechts (rechts) in schematische kanaal met smalle vaargeul en wind van storm rond 5 december 2013.



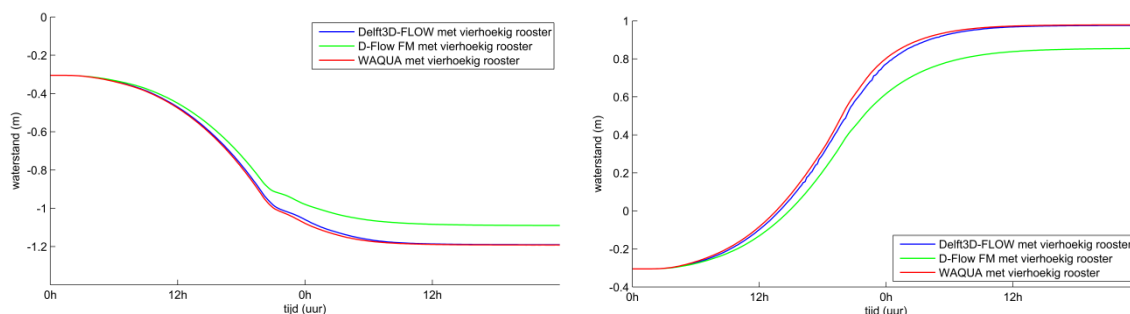
Figuur D.22 Waterstand links (links) en rechts (rechts) in schematische kanaal met smalle vaargeul, drie vernauwingen met 500 m opening en wind van storm rond 5 december 2013.



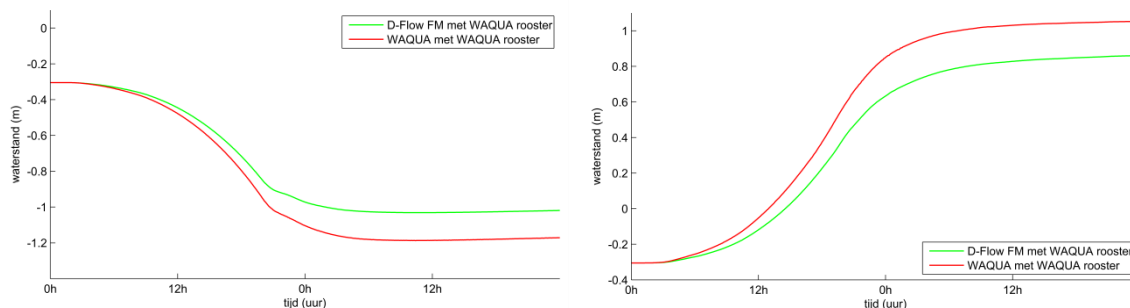
Figuur D.23 Waterstand links (links) en rechts (rechts) in schematische kanaal met smalle vaargeul, drie vernauwingen met 60 m opening en wind van storm rond 5 december 2013.



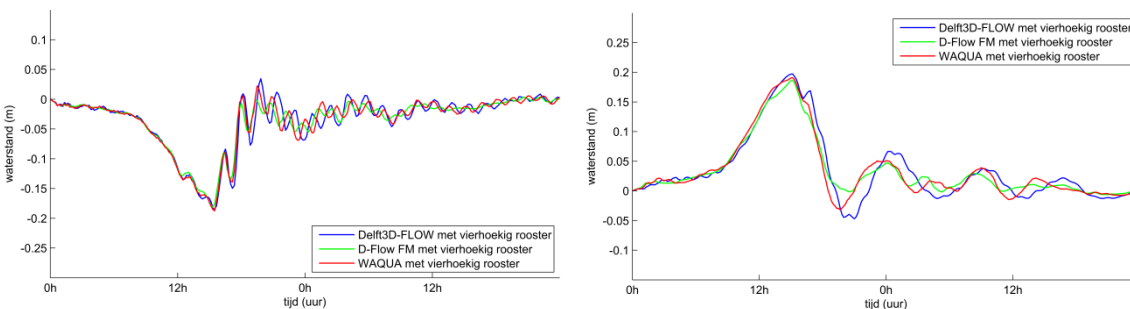
Figuur D.24 Waterstand Nijkerkersluis-oost (links) en Roggebotsluis-zuid (rechts) voor vierhoekig rooster met uniforme bodemdiepte en schematische WBI wind.



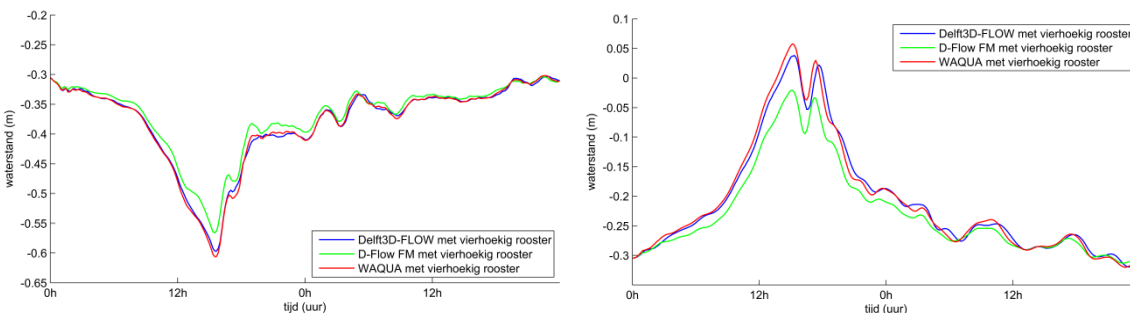
Figuur D.25 Waterstand Nijkerkersluis-oost (links) en Roggebotsluis-zuid (rechts) voor vierhoekig rooster met werkelijke bodemdiepte en schematische WBI wind.



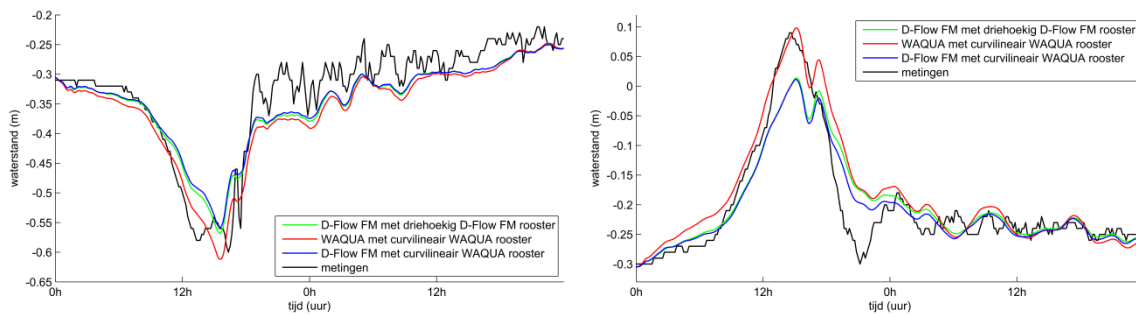
Figuur D.26 Waterstand bij Nijkerkersluis-oost (links) en Roggebotsluis-zuid (rechts) voor WAQUA rooster met werkelijke bodemdiepte en schematische WBI wind.



Figuur D.27 Waterstand Nijkerkersluis-oost (links) en Roggebotsluis-zuid (rechts) voor vierhoekig rooster met uniforme bodemdiepte en wind van storm rond 5 december 2013.



Figuur D.28 Waterstand Nijkerkersluis-oost (links) en Roggebotsluis-zuid (rechts) voor vierhoekig rooster met werkelijke bodemdiepte en wind van storm rond 5 december 2013.



Figuur D.29 Waterstand Nijkerkersluis-oost (links) en Roggebotsluis-zuid (rechts) voor WAQUA model, D-Flow FM gedraaid met WAQUA model, D-Flow FM model en metingen met lateralen en wind van storm rond 5 december 2013.

E Herkomst bodemruwheid IJsselmeergebied WAQUA-modellen

E.1 Bodemruwheid IJsselmeer

E.1.1 1986

Eerste WAQUA model voor IJsselmeer door Waterloopkundig Laboratorium, grid 1000m x 1000m. Beschreven door Vermeer in 1986, "Opwaaiing klein IJsselmeer", R2171. Zie bladzijde 27, berekening T7, Manning gewijzigd van 0.0243 naar 0.0265.

Digitaal via kennisbank Deltares:

<\\projectstore\project\repos\w\rap\R2171.pdf>

Berekening T7

De toegepaste methode om het snelheidsverloop van Urk aan te passen met een factor die de gemiddelde IJsselmeerinvloed beschrijft werd als methode minder fraai geacht. Daarom is gezocht naar een meer representatief windstation. Bij de berekening T7 is daarom het stormverloop van het station Lelystad-haven ingevoerd (gecorrigeerd naar open terrein). Het verloop van de windschuifspanningkoëfficiënt kwam overeen met dat van de berekening T6.

Bovendien zijn een aantal geometrie details gewijzigd ten opzichte van de berekening T6. De belangrijkste modificatie betreft de bodemaanpassing nabij Den Oever, waar de bodem is verondiept in een poging de waterstand in dat station beter kloppend te krijgen. Vanaf berekening T7 is ook de bodemruwheid aangepast. De Mannings-coëfficiënt werd gewijzigd van $n = 0,0243 \text{ s/m}^{1/3}$ (wat overeenkomt met een bodemruwheid van $k_s = 0,05 \text{ m}$) in $n = 0,0263 \text{ s/m}^{1/3}$ (overeenkomend met een bodemruwheid $k_s = 0,08 \text{ m}$). De bodemruwheid komt daarmee overeen met de toegepaste bodemruwheid bij het Randmerenmodel (WL studies R1077 en R1524) ref. [8] en [9]. Verder zijn voor de berekening T7 en volgende

E.1.2 1992 (1)

WAQUA model voor Ketelmeer, Toet en Blom 1992, "Modellering van slibtransport in het ketelmeer". Gebruiken globaal Manning=0.025.

Artikel in:

<https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:8d740238-ea76-41e3-9e87-c0523cc70999?collection=research>

E.1.3 1992 (2)

WAQUA model voor Markermeer, door Liz van Duin, proefschrift, "Sediment transport, light and algal growth in the Markermeer A two-dimensional water quality model for a shallow lake", E.H.S. van Duin, 1992.

Op bladzijde 286 vermeldt ze Manning waarde 0.026, er is ook naar iets hogere en iets lagere waarde gekeken:

For the Markermeer study a time step of 10 minutes is used. Hence, C_r is plus minus 20, which is very high. However, results seemed reliable. The results of computations with a time step of 5 minutes, were very similar. Results of simulations with three different values of the wind stress coefficient were compared, 0.016, 0.021 and $0.026 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. The best results were obtained with a wind stress coefficient of 0.021. Three values of the Manning coefficient were used, 0.021, 0.026 and 0.031. The results of water level simulations were very similar, but estimated flow velocities decreased with 0.02 to $0.03 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, with increasing values of the Manning coefficient. Hence, the data did not allow an accurate discrimination between the values for M and a value of 0.026 has been used. The sensitivity of the model to the velocity diffusion coefficient is very small as far as the computed water level are concerned. Virtually no differences were detected in the simulated water level when a value of 0.1 or $10.0 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ was used instead of $1.0 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

Op te vragen via:

<http://library.wur.nl/WebQuery/hydrotheek/557990>

E.1.4 1993-1999

In 1993 is gestart met de bouw van kromlijnig model t.b.v. Randvoorwaardenboek1996 (wat nu WBI heet). Beschreven in "Achtergronden hydraulische belastingen dijken IJsselmeergebied: modellering waterbeweging (WAQUA), deelrapport5", C.I. Bak en D.P. Vlag, 1999. Bij RWS is het digitaal op Kennisplein op te halen. (Referentie [7] uit dit rapport.)

In het rapport wordt de Manning waarde 0.0263 genoemd. Deze waarde is vermoedelijk overgenomen uit Vermeer (1986) of uit een iets fijner rechthoekig WAQUA model dat tussen 1986 en 1993 is gebruikt bij RWS (hiervan is helaas geen documentatie te vinden). Tijdens het ijken van het kromlijnige model in 1993 zijn er ook andere waarden gebruikt: 0.018, 0.036 en locale combinaties, zie paragraaf 4.3 en Appendix F van dat rapport.

Zie ook onderstaande 2 screendumps.

Appendix F: Overzicht instellingen ijkruns (december-storm) en figuren

run	tijdstap [min]	emp. coëff. (♥)	Manning [s/m ^{1/3}] (♣)	windrooster-variant (♠)	Vecht [m ² /s]	IJssel [m ² /s]
4a	10	nominaal	nominaal	[1]	70	240
4aa(*)	10	nominaal	nominaal	[1]	70	240
4b	5	nominaal	nominaal	[1]	70	240
4c	10	nominaal	0.018	[1]	70	240
4cc	10	nominaal	0.036	[1]	70	240
4d	10	.9 .08	nominaal	[1]	70	240
4e	10	.3 .05	nominaal	[1]	70	240
4f	10	nominaal	nominaal	[2]	70	240
4ff	10	nominaal	nominaal	[3]	70	240
4g	10	nominaal	nominaal	[4]	70	240
4gg	10	nominaal	nominaal	[4]	70 (♣)	240
4s	10	nominaal	nominaal	(♠)	70 (♣)	240
4j	5	nominaal	nominaal	[4]	70 (♣)	240
4l	5	.5 .06	nominaal	[4]	70 (♣)	240
4ll	5	.5 .06	0.018	[4]	70 (♣)	240
4m	5	.9 .06	nominaal	[4]	70 (♣)	240
4mm	5	.9 .06	0.036	[4]	70 (♣)	240
4n	5	nominaal	nominaal	[4]	70 (♣)	300
4p	5	.9 .06	M_1	[4]	70 (♣)	300
4q	5	.9 .06	M_2	[4]	70 (♣)	300
4r	5	.9 .06	M_3	[4]	70 (♣)	300
4u	5	.9 .06	nominaal	[4]	70 (♣)	300
4v	5	.9 .08	nominaal	[4]	70 (♣)	300

4.3 Bodemruwheid

Voor de bepaling van de bodemruwheid is gekozen voor de Manningformulering met als standaardwaarde $0.0263 \text{ s/m}^{1/3}$. In WAQUA wordt m.b.v. de opgegeven Manningwaarde en de locale diepte de Chézycoëfficiënt voor ieder rekenpunt berekend.

⁷ Intern DONAR zijn deze verkregen uit bewerking op spuigegevens (spuimassa's en spuitijden).

Er zijn twee runs (december-storm) uitgevoerd om de gevoeligheid voor deze parameter te schatten. Met behulp van deze parameter kan de vorm van de waterstandsgolf enigszins gestuurd worden (Manning laag: "scherp en hoog" danwel Manning hoog: "flauw en laag"). Zoals verwacht is de invloed m.n. te zien op Ketel-, Vosse- en Zwartemeer, alhoewel niet geheel is uit te sluiten dat ook de (te) grote tijdstap in combinatie met de ruwheid de effecten veroorzaakt.

Ook zijn er runs gemaakt, waarbij lokaal de bodem ruwer is gemaakt (Manningwaarde $0.036 \text{ s/m}^{1/3}$) in de volgende varianten:

- alleen de IJssel
- IJssel en Vossemeer
- Ketelmeer (incl. IJssel en Vossemeer) en Zwartemeer.

De derde variant heeft uiteraard het grootste effect en dan vooral voor de locaties Kampen, Kadoelen en Ramspol. In Kampen en Kadoelen wordt het zakken van de waterstand aan het einde van de storm beter gesimuleerd, de resultaten voor Ramspol verslechteren daarentegen. Feitelijk kan enkel de eerste variant gemotiveerd worden; er is geen ge-gronde reden waarom Ketelmeer en Zwartemeer ruwer zouden zijn dan het IJsselmeer.

E.1.5 1997

Kromlijning model voor Markermeer en 2 randmeren. Dit model werd in 1997 gebouwd in kader van de zogenaamde OOM studie (Onafhankelijk Onderzoek Markermeer). Model is gebouwd door het Waterloopkundig Laboratorium. De waarde voor Manning is overgenomen uit het kromlijning model van WAQUA voor het IJsselmeer. Er zijn gevoeligheidsberekeningen gedaan met waarden 0.0243 respectievelijk 0.036.

Digitaal te vinden via:

<http://publicaties.minienm.nl/documenten/onafhankelijk-onderzoek-markermeer-technisch-inhoudelijke-en-integrerende-studie-verslag-fase-1b-2-bouw-delft2d-systeem>

(Referentie [9] uit dit rapport.)

Bodemruwheid

Voor het bepalen van de bodemruwheid wordt de Manningformulering genomen, met als constante waarde $0.0263 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$. Dit is overeenkomstig de IJsselmeerstudie van het RIZA (Bak en Vlag, 1997), waarin de berekeningen zijn uitgevoerd met een fijnmazig, kromlijning WAQUA model. In de Markermeerstudie van Kruitwagen et al. (1993) werd in het grofmazig, rechthoekig WAQUA model de Manningcoëfficiënt op $0.0243 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ gesteld. Alhoewel het in principe een fysische coëfficiënt betreft, worden hierin ook niet fysische aspecten verwerkt. Zodoende laten schematisatie verschillen een keuze van een andere Manningwaarde toe in hetzelfde gebied.

Bodemruwheid

Een ruwheidsverhoging heeft nauwelijks merkbare gevolgen voor het Markermeer. Een grotere invloed van de bodemruwheid is waar te nemen in de randmeren. Een toename van de ruwheid geeft meer demping en leidt tot een iets kleinere waterstandsverhoging voor de lokatie Nijkerkersluis. Een Manningwaarde van $0.0263 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ in plaats van $0.0243 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ (overeenkomstig de waarde van Kruitwagen et al. (1991)), leidt tot een verlaging te Nijkerkersluis van maximaal 4 cm, zie ook figuren 3.8a en 3.8b. Een zeer hoge Manningwaarde van $0.036 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ heeft meer effect. Een hogere Manningwaarde leidt tot enige vertraging van het moment van optreden van de extreme waterstand te Nijkerkersluis (en Oranjesluizen). Tevens is de extreme waterstand bij Nijkerkersluis en bij de Oranjesluizen met ongeveer 10 cm afgenomen, zie figuur 3.8c.

E.1.6 2006

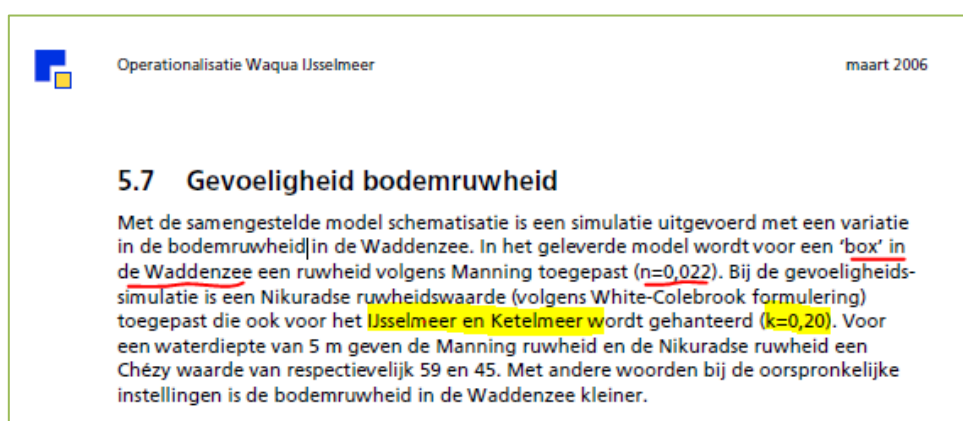
Voor WDIJ (Waarschuwingsdienst IJsselmeergebied) is door Alkyon een model geoperationaliseerd. Er was hiervoor bij RIZA al eerder een model beschikbaar (Vecht, IJssel en Ketelmeer). Hieraan is een fijner IJsselmeer model toegevoegd (welke gebruikt is voor een project over extra spuicapaciteit van de Afsluitdijk).

Op de rivieren, Zwartemeer en Ketelmeer was het gebruikelijk om een White-Colebrook formulering voor ruwheid te gebruiken, dus met een Nikuradse waarde. Globaal is een Nikuradse waarde 0.2 opgegeven, die gold dus voor het IJsselmeer.

Dit is nagegaan voor de versie van de rapportage die voor WDIJ in subversion is bewaard, Alkyon “Operationalisatie WAQUA voor IJsselmeer en Vecht- en IJsseldelta”, rapport A1591R1r1, 2006:

https://repos.deltares.nl/repos/gebiedsschematisaties-RWS/tags/IJsselmeer/WDIJ_OS/WAQUA/simona-ijvd-wdij2006_4).

In deze rapportage is uitdrukkelijk gemeld dat alleen voor de Waddenzee een Manning formulering voor de bodemruwheid wordt gebruikt. Deze is opgelegd middels een box, de waarde is 0.022.



Het was hier schijnbaar niet de bedoeling om voor deze gebieden de Manningwaarde 0.022 te gebruiken. Maar dat is kennelijk toch gebeurd bij de bouw van het VIJD model voor WTI2011 door Deltares.

E.1.7 2008

WAQUA model voor IJsselmeer en Vecht-IJsseldelta gebouwd in 2008. “WAQUA-model IJsselmeer, IJsseldelta en Vecht: opbouw, kalibratie en verificatie”, van der Wal et al.

Digitaal via kennisbank Deltares:

\\projectstore\project\repos\deltares\1202108_000.pdf

In paragraaf 2.4.3 is gemeld dat de meren met een Manning ruwheid worden gemodelleerd. In paragraaf 6.5.5.1 is te zien dat voor de randmeren de oude Manning waarde 0.0263 is hersteld, maar dat kennelijk op het IJsselmeer de waarde 0.022 wordt verondersteld (die eigenlijk alleen voor de Waddenzee gold, zie vorige sectie).

6.5.5.1 Ruwheid

Voor de verschillende trajecten van het model is de ruwheid van het zomerbed in Tabel 6.7 vermeld (zie paragraaf 4.2 voor de achtergronden van de ruwheid van het zomerbed in rivieren). Voor de Vecht, Zwarte Water en Zwarte Meer zijn deze waarden voor een deel op een geautomatiseerde procedure met OpenDA (Calibriv) gebaseerd. Daar waar deze methode geen realistische waarden berekende, is handmatig een passende ruwheidswaarde gekozen (zie bijlage D). De zomerbedruwheid van de IJssel is uit het bestaande Rijntakkenmodel overgenomen. Opgemerkt wordt dat de berekende waterstanden vrijwel ongevoelig zijn voor de ruwheid van de bodem van het IJsselmeer.

Tabel 6.7 Ruwheidscoëfficiënten als resultaat van de kalibratie.

Ruwheidssectie	Coëfficiënten	Methode
Zwarte Meer	$\alpha = 0,0263$	Ruwheidsformulering volgens de formule van Manning
Vossemeer	$\alpha = 0,0263$	
Ketelmeer Oost	$\alpha = 0,0263$	
Ketelmeer West	$\alpha = 0,0263$	
IJsselmeer	$\alpha = 0,022$	
Olst - Katerveer	$\alpha = 0,0281$ $\beta = 2,5$	1995-kalibratie ruwheden
Katerveer - Kampen	$\alpha = 0,0140$ $\beta = 2,5$	
Kampen – einde IJssel	$\alpha = 0,0096$ $\beta = 2,5$	

Deze waarde is ook overgenomen in de Sobek3 modellen voor het IJsselmeergebied.

E.2 Bodemruwheid Markermeer

E.2.1 2005

Nadat het model voor de OOM-studie was gebouwd, bleek dat een belangrijk deel ontbrak (Eem en polders). In 2005 is een nieuw model gebouwd door Alkyon en Meander. Dit model was bedoeld voor HRVW2006 (nu WBI).

Dit model is ook gebruikt voor de WDIJ.

(Referentie [10] uit dit rapport.)

Paragraaf 5.3 vertelt dat voor de meren een Nikuradse waarde van 0.102 wordt gehanteerd:

Bodemruwheid;

De bodemruwheid is opgelegd volgend de White-Colebrook formulering met een uniforme waarde van 0,102. Deze waarde komt zo goed mogelijk overeen met de Manning-waarde van 0,0263 zoals is toegepast bij de OOM-studie. Voor de ondiepe delen (met name in de Eemvallei) worden met de Nikuradse optie van Simona de ruwheden aangepast. Hierbij worden lokaal ruwheidswaarden opgelegd die samenhangen met de lokale ecotopen (o.a. voor grasland, akkers en bosgebieden).

E.2.2 2013

Bij Deltares is in het kader van de 5e generatie modellen (en ook een nieuw rooster) opnieuw een model gebouwd. "Markermeer WAQUA model 5de generatie Modelopzet en validatie", Mirjam van der Mheen, 2013 (zie ook de referenties van dit rapport).

De rapportage staat in subversion:

https://repos.deltares.nl/repos/gebiedsschematisaties-RWS/tags/Markermeer_5/10_5-v1/metainfo/rapportage/1207880-009-ZWS-0007-v5-r-Markermeer_WAQUA_model_5de_generatie.pdf

(Referentie [2] uit dit rapport.)

In paragraaf 2.3.4 is vermeld dat op meren en randmeren weer de (oorspronkelijke) Manningwaarde is gebruikt, dus 0.0263:

Bodemruwheid

Voor de ruwheid van het Markermeer, IJmeer en de randmeren wordt een Manning ruwheid met een constante waarde van $0.0263 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ gebruikt. Dit is een standaard waarde die aan meren wordt toegekend, deze komt ook overeen met de ruwheid die in het Onafhankelijk Onderzoek Markermeer (Waterloopkundig Laboratorium, 1997) is gebruikt. De Eem krijgt een aparte ruwheid. Hiervoor wordt een Nikuradse ruwheid opgelegd met een default waarde van 0.05. Deze waarde komt overeen met de waarde die in het WAQUA-model uit 2005 (Alkyon, 2005) wordt gebruikt.

In paragraaf 5.2 is de gevoeligheid van de waterstand voor de bodemruwheid onderzocht. De waarden 0.0234 en 0.028 zijn toegepast.

E.3 Bodemruwheid Veluwerandmeren**E.3.1 2004**

In 2004 is door HKV een kromlijinig model gemaakt voor de Veluwerandmeren. De aanleiding was de verwijdering van de Hardersluis. RWS wilde gevoel krijgen voor hydraulische randvoorwaarden en het project ProMoVera werd gestart.

Het beschrijvende document “Veluwerandmeren Hydraulische omstandigheden”, Wijbenga et al, 2004, is te vinden via (1ste link onder documenten):

<https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/applicaties-modellen/per-regio/ijsselmeer/ijsselmeer/waqua-veluwerandmeren/>

In dit document wordt gesproken over hydraulische ruwheid, dus niet bodemruwheid. In paragraaf 3.3.3 is deze ruwheid samen met een windfactor geijkt. Met als resultaat een Nikuradse waarde van

De simplex-procedure is herhaald voor ijkstorm van februari 2002. Na enkele stappen wordt een waarde voor de objectfunctie gevonden, die dicht tegen de eindwaarde aanligt. In de berekeningen die daarna nog zijn uitgevoerd blijkt, dat de windfactor en de Nikuradse ruwheid binnen zekere grenzen constant blijven. In deze berekeningen varieert de windfactor tussen de grenzen 0,838 en 0,842 en de Nikuradse ruwheid tussen de 0,159 m en 0,171 m. Deze waarden sluiten goed aan bij de resultaten die bij de ijkperiode van mei 2000 na 5 stappen werd bereikt.

	Ijkperiode	Windfactor	Hydraulische ruwheid
1	27 mei – 29 mei 2000	0,87	0,17
2	25 feb. – 1 mrt 2002	0,84	0,165

Tabel 3-1: Resultaten van de ijking voor de ijkperioden mei 2000 en februari 2002

In subversion staat ook nog een 2e versie van het model, “Promovera, versie 2.0”:

https://repos.deltares.nl/repos/gebiedsschematisaties-RWS/tags/Veluwerandmeren_4/Promovera/Metainfo/Pr%201154.10%20rapport%20def%20met%20bijlage%20B.pdf

Hierin zijn geen aanpassingen meer geweest van de ruwheid.

E.3.2 2015

Voor de Veluwerandmeren is in de 5e generatie WAQUA modellen de Manningwaarde 0.0263 gebruikt voor het zomerbed van de meren. Rapport "Veluwerandmeren WAQUA model 5de generatie, Modelopzet en validatie", C.I. Bak, 2015.

De rapportage staat in subversion:

https://repos.deltares.nl/repos/gebiedsschematisaties-RWS/tags/Veluwerandmeren_5/j10_5-v1/metainfo/1220072-011-ZWS-0006-v2-r-Veluwerandmeren_WAQUA-model_5de_generatie.pdf

(zie ook de referenties van dit rapport).

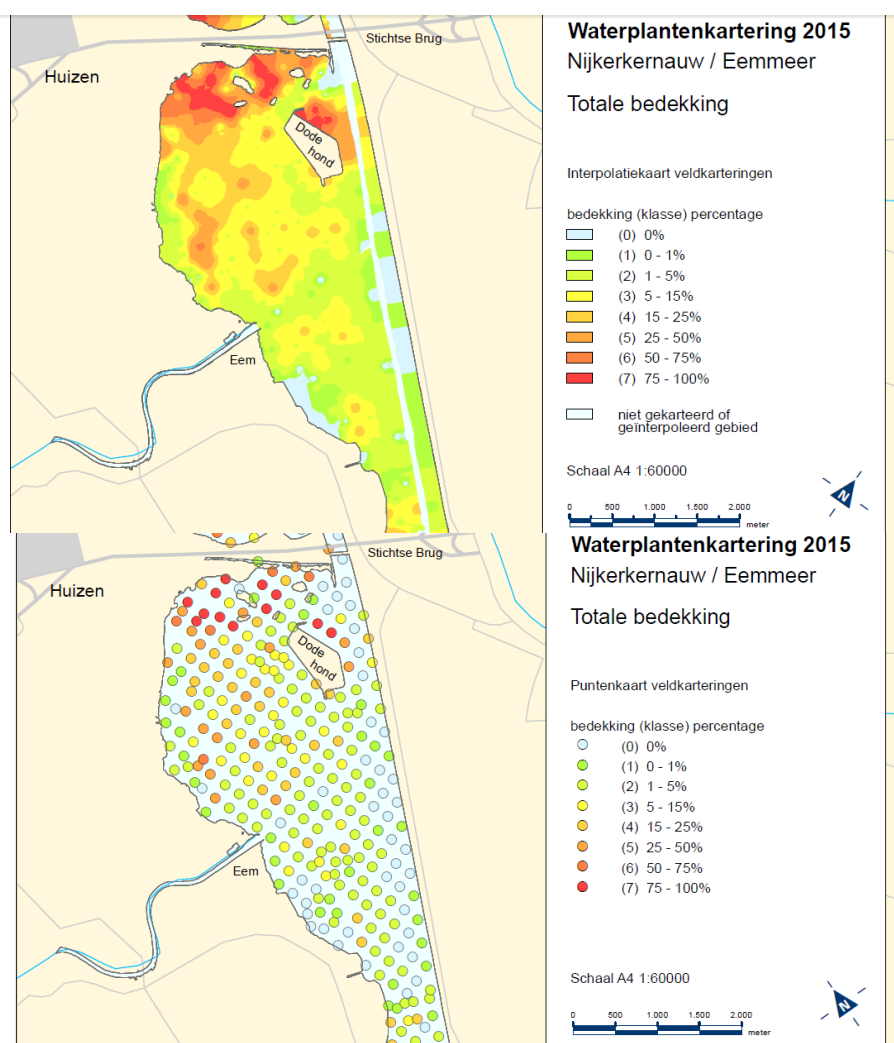
Het zomerbed is opgedeeld in vijf meren en het aquaduct bij Harderwijk. Voor alle vijf de meren wordt dezelfde waarde gebruikt. Er is gekeken of de waterstanden gevoelig zijn en dan voor een lage waarde (0.0234) en een hoge waarde (0.028). Dit zijn dezelfde waarden als die voor het 5^e generatie Markermeer model is gebruikt. Er is enig effect, zie paragraaf 5.2 in de bovengenoemde rapportage.

F Karteringen waterplanten en mosselen

F.1 Karteringen waterplanten: eens per 3 jaar

Markermeer laatste 2016: alleen gekarteerd op diepten waar planten verwacht worden, dus niet in het hele meer. Hier en daar komen planten (fonteinkruid in lagere bedekking) toch voor buiten het karteringsoppervlak.

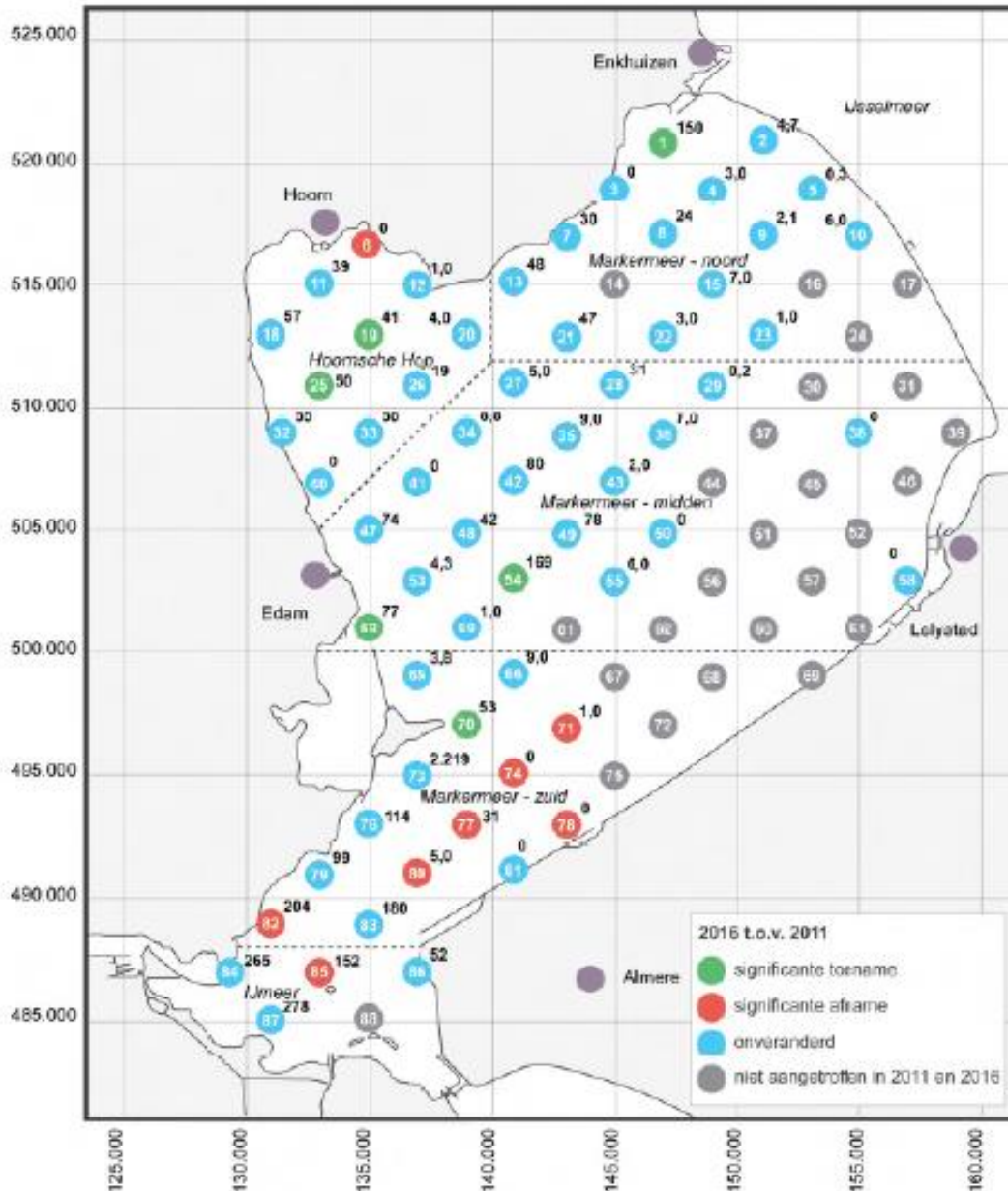
Randmeren laatste 2015: totale oppervlak van de meren, m.u.v. geulen en diepere delen van het Gooimeer.



Voorbeeld hierboven voor Eemmeer 2015: geïnterpoleerde kaart en werkelijke locaties. RWS kan shapefiles leveren of de XY coördinaten met dichtheden van totaal waterplanten en alle afzonderlijke soorten, inclusief draadvormige algen. Dichtheden worden genoteerd in bedekkingsklassen totaal en per soort in % bodembedekking, zie legenda. De karteringen worden in de zomer (ongeveer juli) uitgevoerd. Fonteinkruiden sterven rond augustus af, kranswieren verdwijnen pas in de loop van de winter. Kranswieren staan vooral in de Veluwerandmeren, het IJmeer en de Gouwzee, en blijven laag, hoogte neemt toe van 10 cm in de meest ondiepe delen tot ongeveer 80 cm op een meter of 3. Geen gegevens over andere parameters.

F.2 Mosselkarteringen: ad hoc

F.2.1 Markermeer laatste kartering najaar 2016, vorige in 2011, 2006 en 2000.



Hierboven meetgrid van de mosselkartering van 2016 met veranderingen in mosseldichtheid t.o.v. de voorgaande kartering in 2011. Het grid is in 2006 gehalveerd t.o.v. 2000; van 2000 zijn er dus gegevens met een 2x zo hoge dichtheid. Er worden per locatie 5 happen genomen. De karteringen worden uitgevoerd in het najaar (oktober/november). Gegevens worden genoteerd in biovolume, met steekproefsgewijs lengteverdeling en drooggewicht.

Aanvullende gegevens:

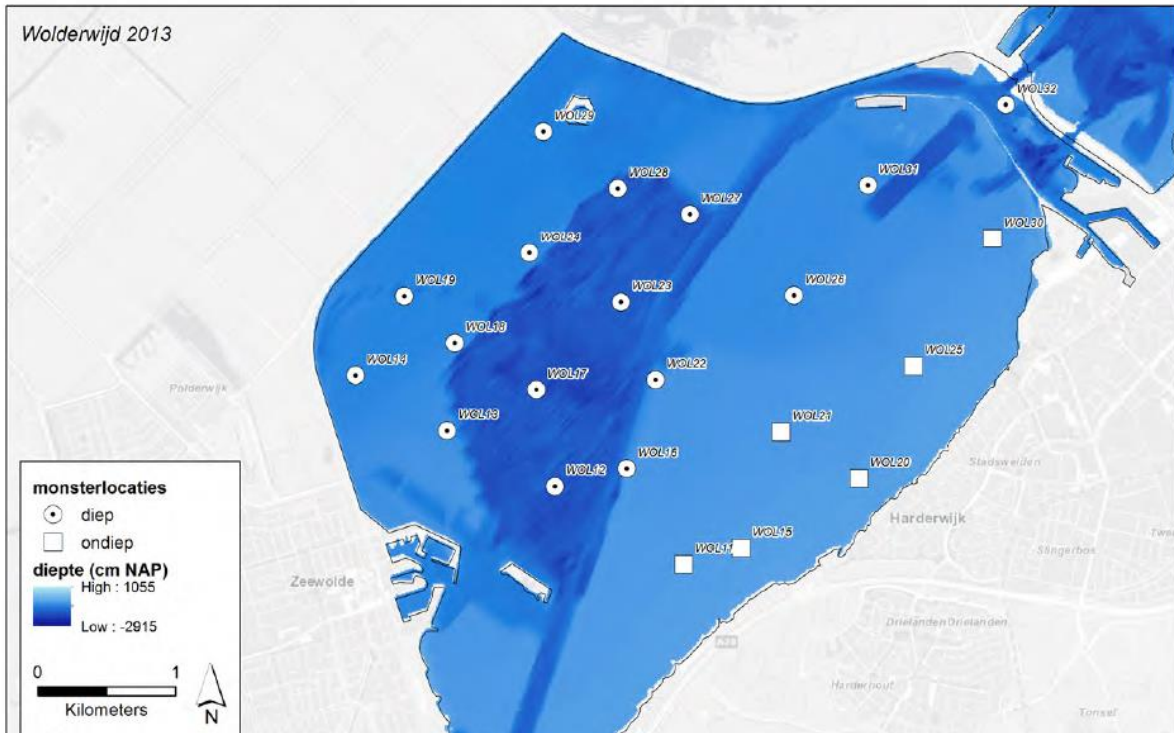
- **waterdiepte**,
- visuele/manuele karakterisering van **lutumpercentage** sediment, bepaald volgens hieronder getoonde schaal in elk van de vijf afzonderlijke happen per locatie.
- aanduiding primaire mosselsubstraat (meestal **zuiderzeeschelpen**, soms andere mosselen); genoteerd als aan- of afwezig in elk van 5 deelmonsters per locatie. Daardoor te scoren als in 6 abundantieklassen per meetlocatie.

Gegevens beschikbaar in excel.

Handmatige bepaling van het lutumgehalte in bodemmonsters.

Omschrijving sediment	Beoordeling	Lutum- percentage
kleiarm zand	strandzand, schuurt tussen duim en wijsvinger	0-2
kleihoudend zand	iets vuil, smeert ietsje, schuurt nog onverminderd, klein slibwolkje als je het in plas gooit	2-5
kleilig zand	slibbig zand, smeert en bij knijpen gaat een klein deel tussen de vingers door	5-8
zeer lichte zavel	smeert goed, bij knijpen grotendeels weg, iets zand over in de hand	8-12
matig lichte zavel	smeert goed, zand alleen nog goed te voelen tussen duim en wijsvinger	12-17
zware zavel	meert goed, bijna geen zand meer te voelen, klei wil niet meer van vingers afspoelen	17-25
lichte klei	bijna stopverf, als molykote tussen duim en vinger, zand alleen nog te proeven	25-35
zware klei	bijna stopverf, als molykote tussen duim en vinger, geen zand meer te proeven	>35

F.2.2 Mosselkartering Randmeren laatst in 2013, daarvoor tweejaarlijks van 1996 t/m 2008.



Voorbeeld hierboven verspreiding locaties mosselkartering randmeren.

In de randmeren is er onderscheid tussen diepe en ondiepe (>1,2m) locaties. Op ondiepe locaties worden 5 monsters genomen met een steekbuis, op diepe locaties 3 monsters met een steekschip, door een duiker (vroeger bemonsterd vanaf een boot met een happer). De karteringen worden uitgevoerd in het najaar (oktober/november). Aantal locaties per meer:

Tabel 2. *Het aantal bemonsterde locaties in de verschillende meren in 2013.*

Watersysteem	Meer	# ondiepe	# diepe	# locaties
		locaties	locaties	totaal
Randmeren-noord	Zwarte Meer	15	8	23
	Ketelmeer	0	23	23
	Vossemeer	6	4	10
Randmeren-oost	Drontermeer	6	4	10
	Veluwemeer	14	14	28
	Wolderwijd	6	16	22
	Nuldernaauw	8	2	10
Randmeren-zuid	Nijkerkernaauw	3	3	6
	Eemmeer	6	14	20
	Gooimeer	12	18	30
Totaal		76	106	182

Net als in het Markermeer worden mosseldichtheden gemeten als biovolume, aangevuld met steekproeven voor drooggewicht en lengteverdeling.

Aanvullende gegevens:

- **waterdiepte**,
- visuele karakterisering **sedimenttype**.
- schatting van percentage **zuiderzeeschelpen** aan het oppervlak
- schatting van het percentage planten
- biologische bijzonderheden

Hierna twee voorbeelden van de gegevens van 2013:

Veluwemeer: Nauwelijks zuiderzeeschelpen aan het oppervlak, ruwheid dus alleen van de mosselen zelf. Wel in oktober nog steeds hoge kranswier dichtheden.

Eemmeer: Meer zuiderzeeschelpen aan het oppervlak, minder planten, maar ondanks dat kranswier hier nagenoeg afwezig is toch nog hier en daar redelijke dichtheden.

Gegevens beschikbaar in pdf/word of excel.

2013	Veluwemeer	28 locaties						
locatie	x-coördinaat	y-coördinaat	diepte (m)	methode	bodentype	% ZZ schelpen aan oppervlakte	% vegetatie	opmerkingen
VEL33	171136	485733	0,9	s	zand met klein beetje klei	10	50	schedefonteinkruid
VEL34	171283	486681	4,7	d	slib	0	0	patches mosselen
VEL35	172385	486870	6,1	d	slib	0	0	
VEL36	171327	487614	3,4	d	slib	0	0	af en toe mosselen
VEL37	173023	486957	4,0	d	slib	0	0	
VEL38	172575	487977	2,1	d	slib, daaronder zandige klei	0	100	chara vegetatie
VEL39	172301	488445	5,8	d	klei	0	0	rand van de vaargeul, patches mosselen
VEL40	174330	487909	0,9	s	slib, daaronder zand	0	70	chara vegetatie
VEL41	173809	488753	2,3	d	slibbig zand	1	100	chara vegetatie
VEL42	173303	489138	2,3	d	klei en ZZ schelpen	1	100	chara vegetatie, punt 30 m verlegd ijm baggerschip X 173303 en Y 489138
VEL43	175480	488802	0,9	s	slibbig zand	1	90	chara vegetatie
VEL44	175117	489300	2,0	d	slibbig zand	0	100	chara vegetatie
VEL45	174733	490045	2,5	d	slib, daaronder zand	1	100	chara vegetatie
VEL46	177274	489259	0,6	s	zand	5	70	chara vegetatie
VEL47	176690	489914	0,9	s	slib, daaronder zand	1	30	chara vegetatie
VEL48	176122	490375	2,6	d	klei	0	100	chara vegetatie, aan de rand van vaargeul
VEL49	178496	490372	0,9	s	zand met klein beetje klei	1	90	chara vegetatie
VEL50	177785	490960	2,1	d	slib, daaronder zandige klei	0	100	chara vegetatie
VEL51	177512	491417	2,0	d	slib, daaronder zandige klei	1	30	chara vegetatie
VEL52	179589	491180	0,6	s	zand met klein beetje klei	0	70	chara vegetatie
VEL53	178786	491673	2,2	d	slib, daaronder zandige klei	0	100	chara vegetatie
VEL54	180016	491683	0,7	s	zand met klein beetje klei	1	90	chara vegetatie
VEL55	180973	492035	0,6	s	zand met klein beetje klei	0	95	chara vegetatie
VEL56	181859	492792	0,4	s	kleilig zand	0	80	chara vegetatie
VEL57	183161	493805	0,4	s	kleilig zand	2	70	chara vegetatie
VEL58	182207	493749	0,4	s	kleilig zand	0	5	chara vegetatie
VEL59	183341	494851	0,3	s	zand	0	0	
VEL60	184228	496189	0,6	s	zand	10	30	chara vegetatie

locatie VEL42 circa 30 meter verlegd, vanwege aanwezigheid baggerschip

2013		Eemmeer		20 locaties							
locatie	x-coördinaat	y-coördinaat	diepte (m)	methode	bodemtype	% ZZ schelpen aan oppervlakte	% vegetatie	opmerkingen			
EEM77	154251	474977	1,1	s	klei	2	0	gevekte rivierkreeft			
EEM78	153994	475704	1,9	d	zandige klei	1	1				
EEM79	152512	475868	1,1	s	veen	0	0	enkele klompjes mosselen			
EEM80	152974	476410	1,9	d	slib, daaronder klei	0	5	mat van mosselen			
EEM81	151450	476111	1,0	s	slib, daaronder klei	3	20	waterpest, mat van mosselen, gevekte rivierkreeft			
EEM82	152333	476928	2,1	d	slib, daaronder klei	5	50				
EEM83	150033	476565	1,0	s	slib, daaronder klei	10	0				
EEM84	150733	477037	1,8	d	klei en ZZ schelpen	30	1				
EEM85	151439	477622	2,1	d	klei	0	80				
EEM86	149370	477311	1,0	s	klei en ZZ schelpen	20	0	mamergrondel			
EEM87	150045	477790	1,7	d	slib, daaronder klei	0	70	spons op waterpest			
EEM88	150905	478510	1,8	d	slib, daaronder klei	0	5	enkele klompjes mosselen			
EEM89	149020	478122	1,0	s	slib, daaronder zand en ZZ schelpen	1	0				
EEM90	149856	478427	1,8	d	slib, daaronder zand	0	90	chara, spons op waterpest, mamergrondel			
EEM91	150264	478875	1,8	d	slib en veen	0	1	enkele klompjes mosselen			
Extra 1	149500	477900	1,4	d	slib, daaronder klei en ZZ schelpen	0	60	mat van mosselen, juveniele paling			
Extra 2	150000	477200	1,4	d	slib, daaronder klei en ZZ schelpen	15	1	enkele klompjes mosselen			
Extra 3	150600	476500	1,4	d	slib, daaronder klei en ZZ schelpen	10	20	enkele klompjes mosselen			
Extra 4	150900	477600	1,8	d	slib, daaronder klei	1	90	mat van mosselen			
Extra 5	151800	476600	1,8	d	slib, daaronder klei	1	10	enkele klompjes mosselen, spons			

G Definities modelbeoordeling

G.1 Achtergrond

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

G.2 Definities

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

G.2.1 Kalibratie

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

G.2.2 Validatie

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

G.2.3 Verificatie

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

G.3 Goodness-of-fit criteria

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

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

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

G.3.1 Bias

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

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

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

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

G.3.2 Standaardafwijking

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

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

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

G.3.3 Root Mean Square Error (RMSE)

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

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

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

G.3.4 Relatieve bias

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

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

G.3.5 Variatiecoëfficiënt

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

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

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

G.3.6 Verschil in waarden rond extremen

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

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

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

G.3.7 Verschil in tijdstip van extremen

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

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

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

G.3.8 Overschrijdingsduur

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

G.3.9 Gemiddelde over stations

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

$$Mean_stations = \frac{\Sigma (Statistiek\ per\ station)}{Aantal\ stations}$$
$$RMS_stations = \sqrt{\frac{\Sigma (Statistiek\ per\ station^2)}{Aantal\ stations}}$$

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

G.4 Middelingsduur variabelen

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

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

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

G.5 Nauwkeurigheidscriterium

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

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

H D-Flow FM en WAQUA op WBI uitvoerlocaties Veluwerandmeren

In een vroegtijdig stadium van de modelontwikkeling tijdens dit project is ook gekeken naar waterstanden voor typische WBI condities op WBI uitvoerlocaties in de Veluwerandmeren. Hiervoor is gebruik gemaakt van uitvoerlocaties voor WBI 2006 uit [6] (zie ook Figuur 2.8), Na de afronding van dit projectonderdeel zijn de nieuwe uitvoerlocaties voor WBI 2017 voor de Veluwerandmeren bekend geworden: voor deze nieuwe uitvoerlocaties is een selectie gemaakt van die van WBI 2006 waarbij een aantal is weggelaten.

Voor twee WBI uitvoerlocaties, Horsterwold (zie Figuur H.1) en Roggebotsluis (zie Figuur H.4), zijn de condities in het ontwerppunt als maatgevende condities bepaald door berekening van het hydraulisch belastingnivo met een herhalingstijd van 1/4000 volgens de normen van de HR2006. Als maatgevende condities kwamen hier uit voor Horsterwold een zwakke wind uit het oostnoordoosten en voor Roggebotsluis een sterke wind uit het westzuidwesten. Voor beide maatgevende condities zijn simulaties uitgevoerd met D-Flow FM en WAQUA. Voor D-Flow FM is een eerste versie van het uiteindelijke 6^e generatie deelmodel van de Veluwerandmeren gebruikt. Voor WAQUA het 5^e generatie model uit [3]. In beide gevallen zonder in-/uitstroom bij de randen ("gesloten bak"), een uniform meerpeil als initiële conditie en als aandrijvende kracht een synthetische wind.

H.1 Conditie met zwakke wind uit oostnoordoosten

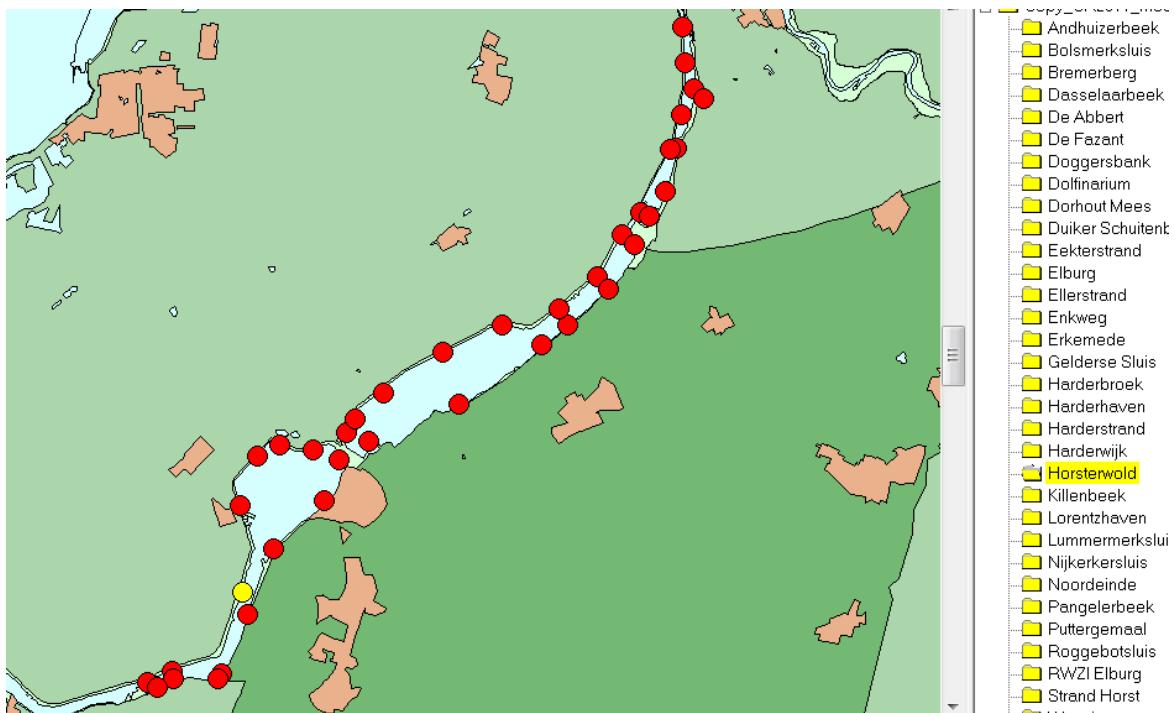
Voor de conditie met een zwakke wind uit het oostnoordoosten is een uniform meerpeil van 0.67 m +NAP gebruikt als initiële conditie. De synthetische wind is weergegeven in Tabel H.1, hierbij worden windsterke en –richting op tussengelegen momenten lineair geïnterpoleerd.

Tabel H.1 Gebruikte synthetische wind voor conditie met zwakke wind uit oostnoordoosten.

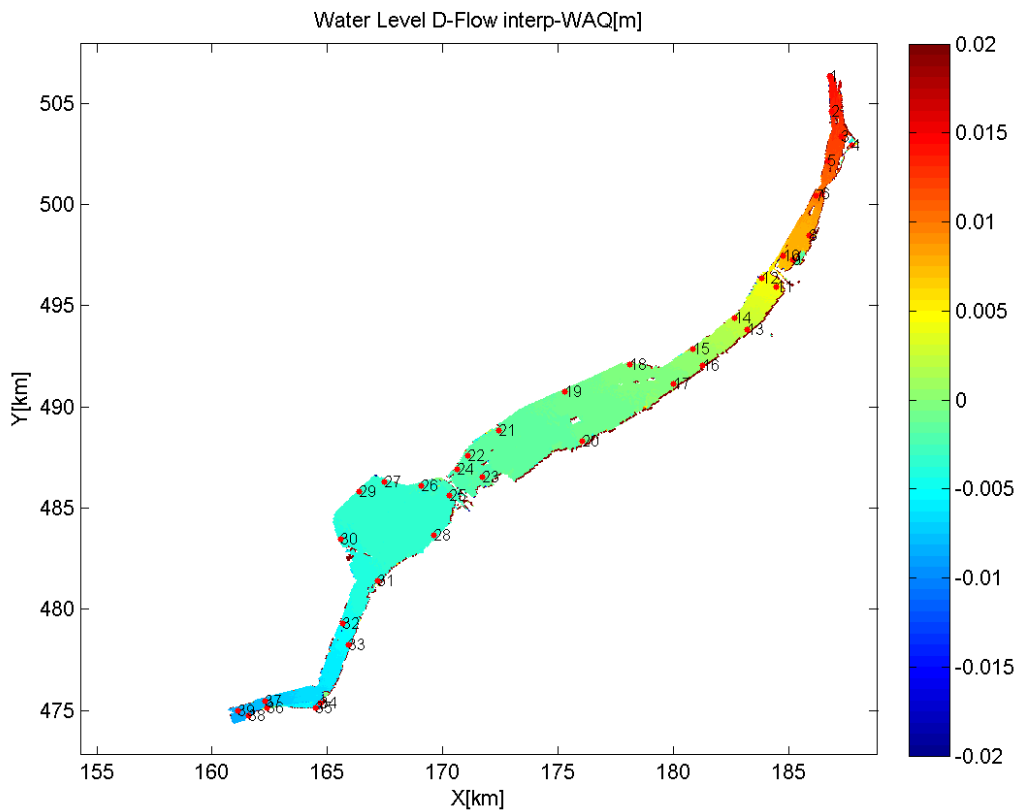
tijd (uur)	windsterke (m/s)	windrichting (° nautisch)
0:00	0	27.9
9:00	8.4	67.5
13:00	8.4	71.9
22:00	0	81.8

Figuur H.2 laat voor de piek van de storm van deze conditie het verschil zien van de door D-Flow FM en WAQUA voorspelde waterstand op Veluwerandmeren. D-Flow FM en WAQUA verschillen 0.02 m van elkaar op de uiteinden Nijkerkersluis en Roggebotsluis. Dit verschil wordt kleiner richting het midden van de Veluwerandmeren.

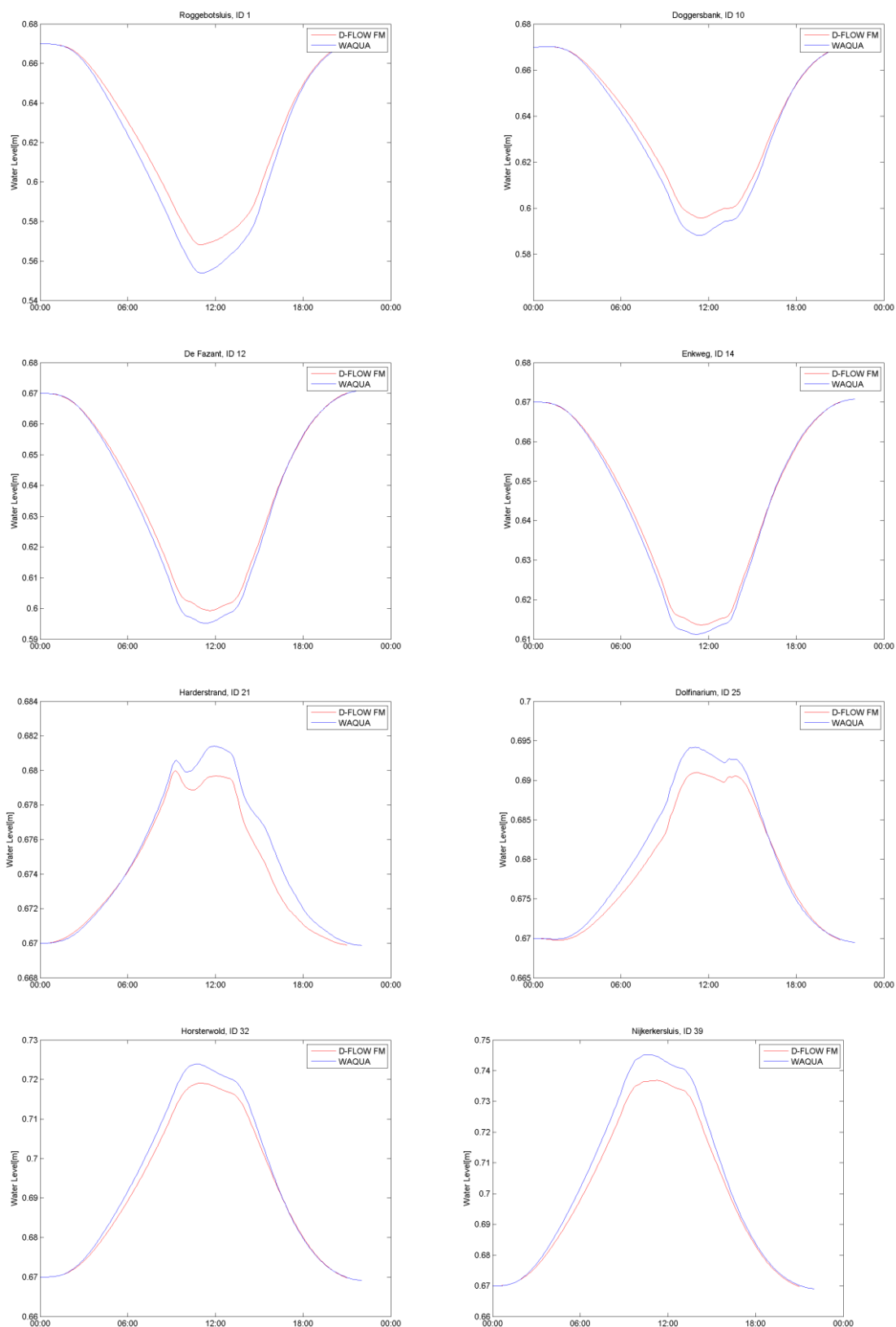
Tijdseries van door D-Flow FM en WAQUA voorspelde waterstanden op een selectie van WBI uitvoerlocaties staan in Figuur H.3.



Figuur H.1 Ligging uitvoerlocatie Horsterwold in Veluwerandmeren (gele bol).



Figuur H.2 Verschil van door D-Flow FM en WAQUA voorspelde waterstand op Veluwerandmeren tijdens piek van de storm voor conditie met zwakke wind uit oostnoordoosten.



Figuur H.3 Door D-Flow FM en WAQUA voorspelde waterstanden voor conditie met zwakke wind uit oostnoordoosten op selectie van WBI uitvoerlocaties.

H.2 Conditie met sterke wind uit westzuidwesten

Voor de conditie met een sterke wind uit het westzuidwesten is een uniform meerpeil van -0.21 m +NAP gebruikt als initiële conditie. De synthetische wind is weergegeven in Tabel H.2, hierbij worden windsterkte en –richting op tussengelegen momenten lineair geïnterpoleerd.

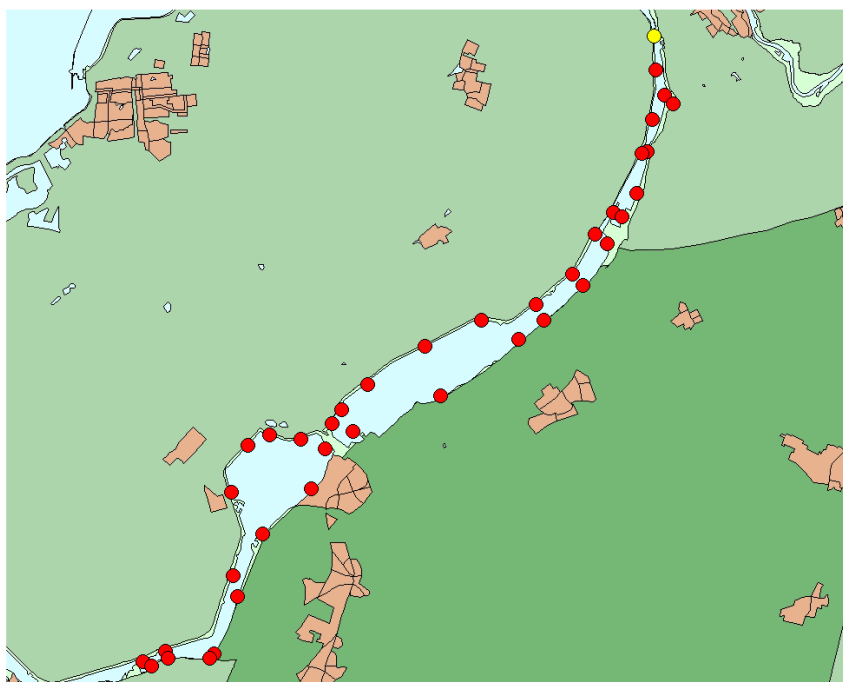
Tabel H.2 Gebruikte synthetische wind voor conditie met sterke wind uit westzuidwesten.

tijd (uur)	windsterke (m/s)	windrichting (° nautisch)
0:00	0	207.9
9:00	34.4	247.5
13:00	34.4	251.9
22:00	0	261.8

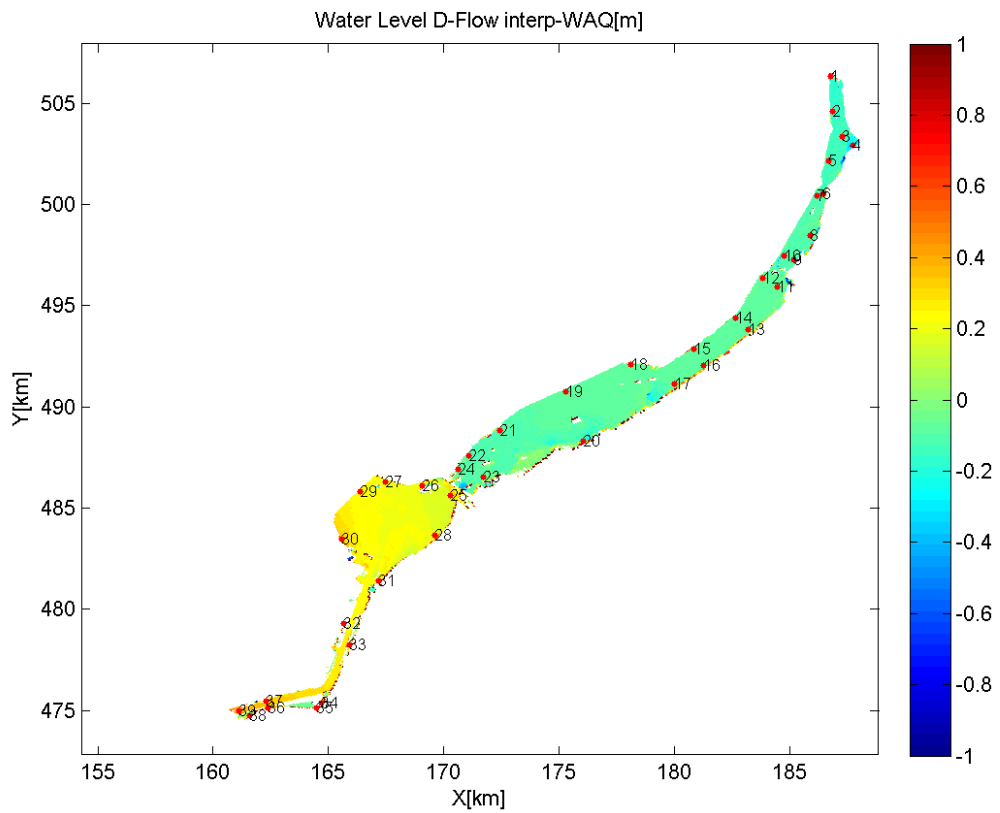
Figuur H.5 laat voor de piek van de storm van deze conditie het verschil zien van de door D-Flow FM en WAQUA voorspelde waterstand op Veluwerandmeren. D-Flow FM en WAQUA lijken nu op het oog zo'n 0.2 m van elkaar te verschillen op de uiteinden. Echter, op een aantal punten treden grotere verschillen op.

Tijdseries van door D-Flow FM en WAQUA voorspelde waterstanden op een selectie van WBI uitvoerlocaties staan in Figuur H.6. Hierin is te zien dat tijdens de piek van de storm D-Flow FM een 0.3 m lagere waterstand voorspelt dan WAQUA bij Roggebotsluis (linksboven in Figuur H.6) en een 0.5 m hogere bij Nijkerkersluis (rechtsonder in Figuur H.6).

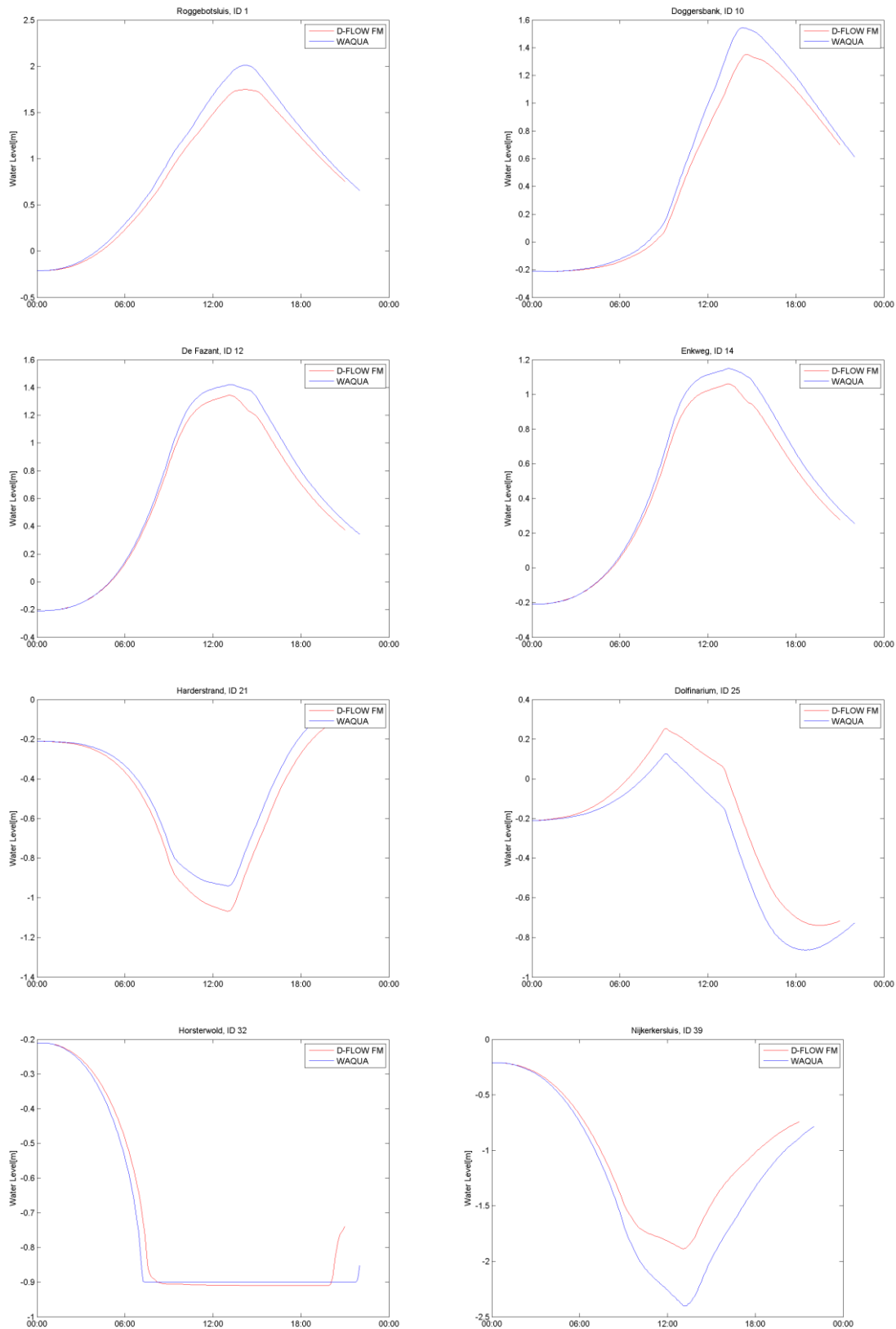
De hier geobserveerde verschillen zijn in lijn met hetgene dat is waargenomen voor de storm van december 2013 op de Veluwerandmeren (zie sectie 5.3). De verschillen zijn hier groter omdat de windsterkte hier twee keer zo groot is tijdens de piek van de storm (vergelijk Tabel 5.2 voor december 2013 met Tabel H.2).



Figuur H.4 Ligging uitvoerlocatie Roggebotsluis in Veluwerandmeren (gele bol).



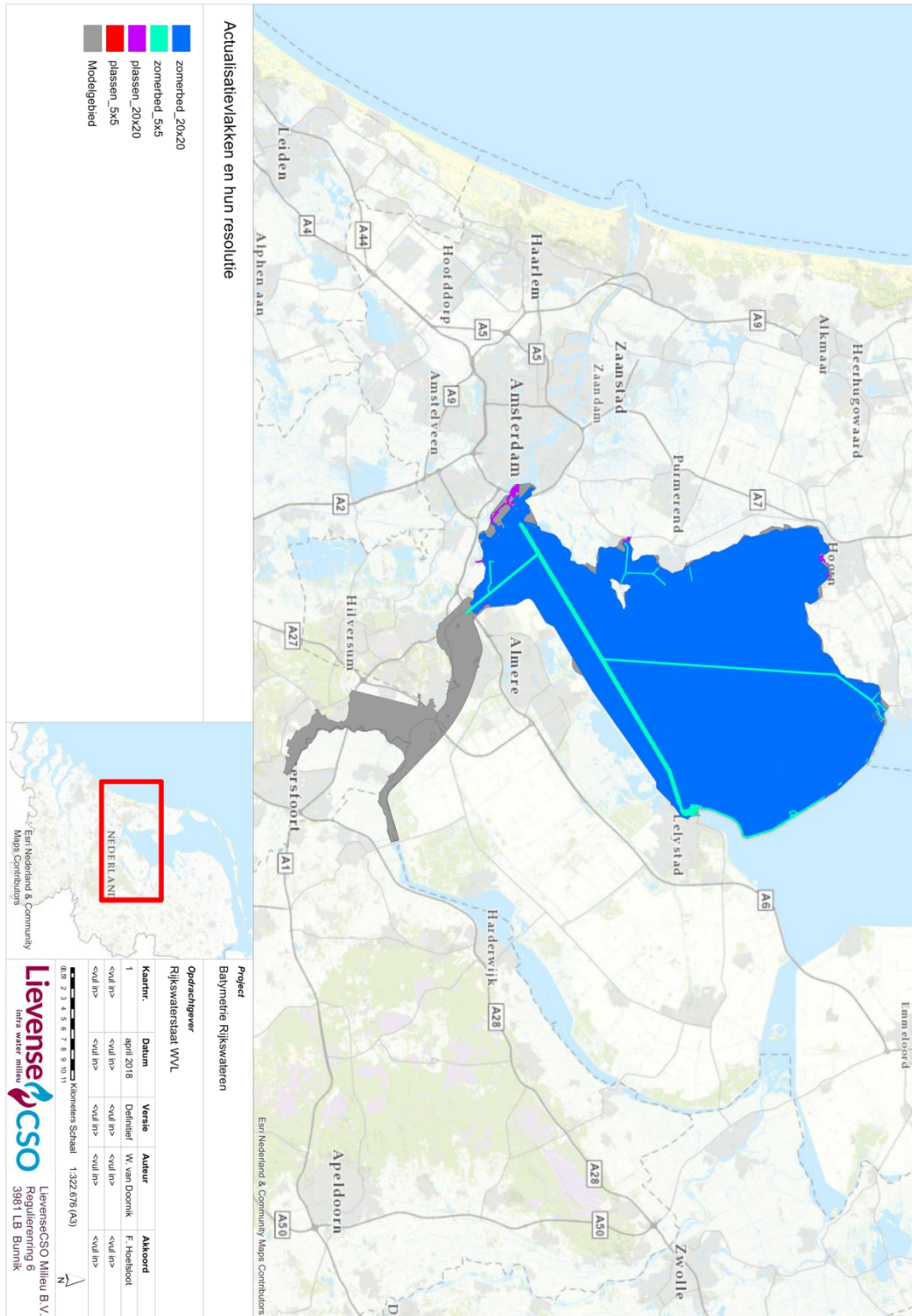
Figuur H.5 Verskil van door D-Flow FM en WAQUA voorspelde waterstand op Veluwerandmeren tijdens piek van de storm voor conditie met sterke wind uit westzuidwesten.



Figuur H.6 Door D-Flow FM en WAQUA voorspelde waterstanden voor conditie met sterke wind uit westzuidwesten op selectie van WBI uitvoerlocaties.

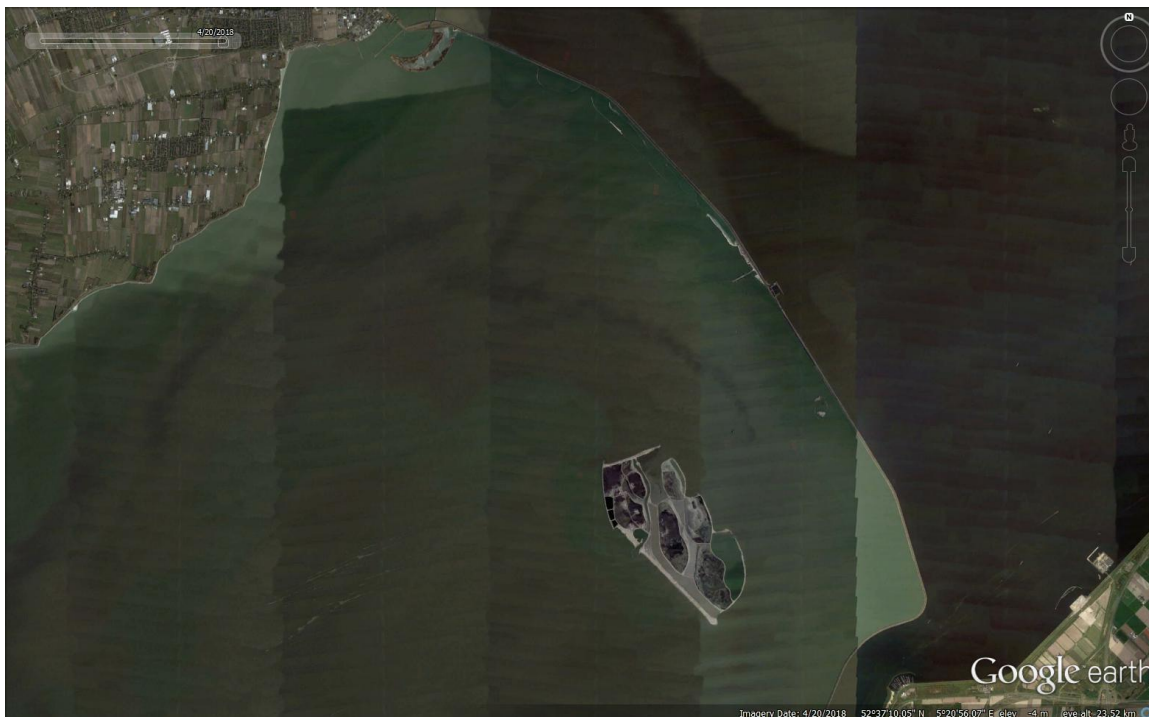
I Gegevens actualisatie diepte Markermeer en Marker Wadden

I.1 Omvang van de maatregel “mm_bath17_a1” .



Figuur I.1 Door LienseenseCSO aangeleverde Kaart_mm_bath17_a1.pdf.

I.2 Foto's van noordoosten Markermeer

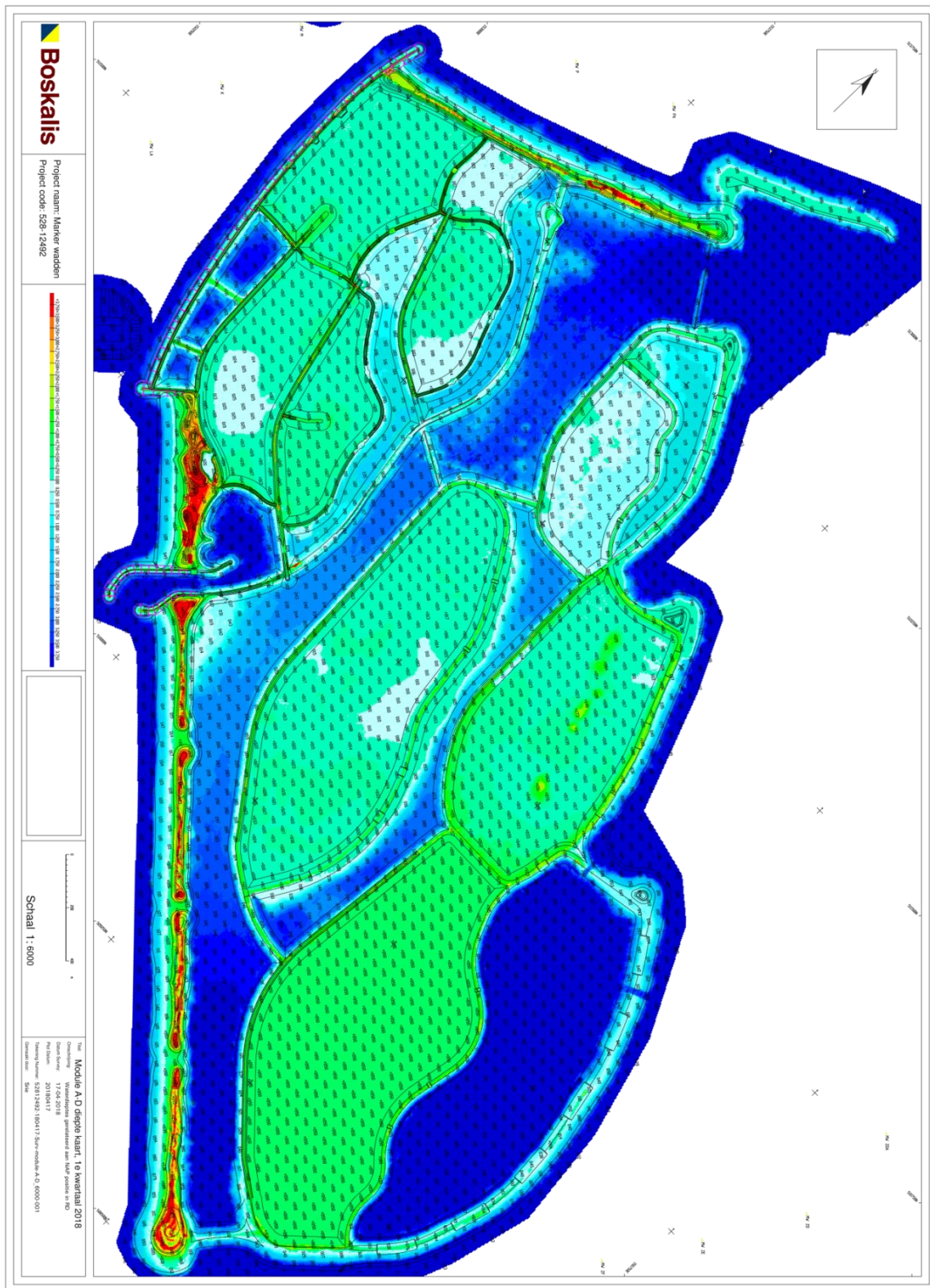


Figuur I.2 Samengesteld Google earth beeld van 19 maart 2018 (70%, linkergedeelte) en 20 april 2018 (30%, rechtergedeelte) van noordoosten Markermeer inclusief Marker Wadden.

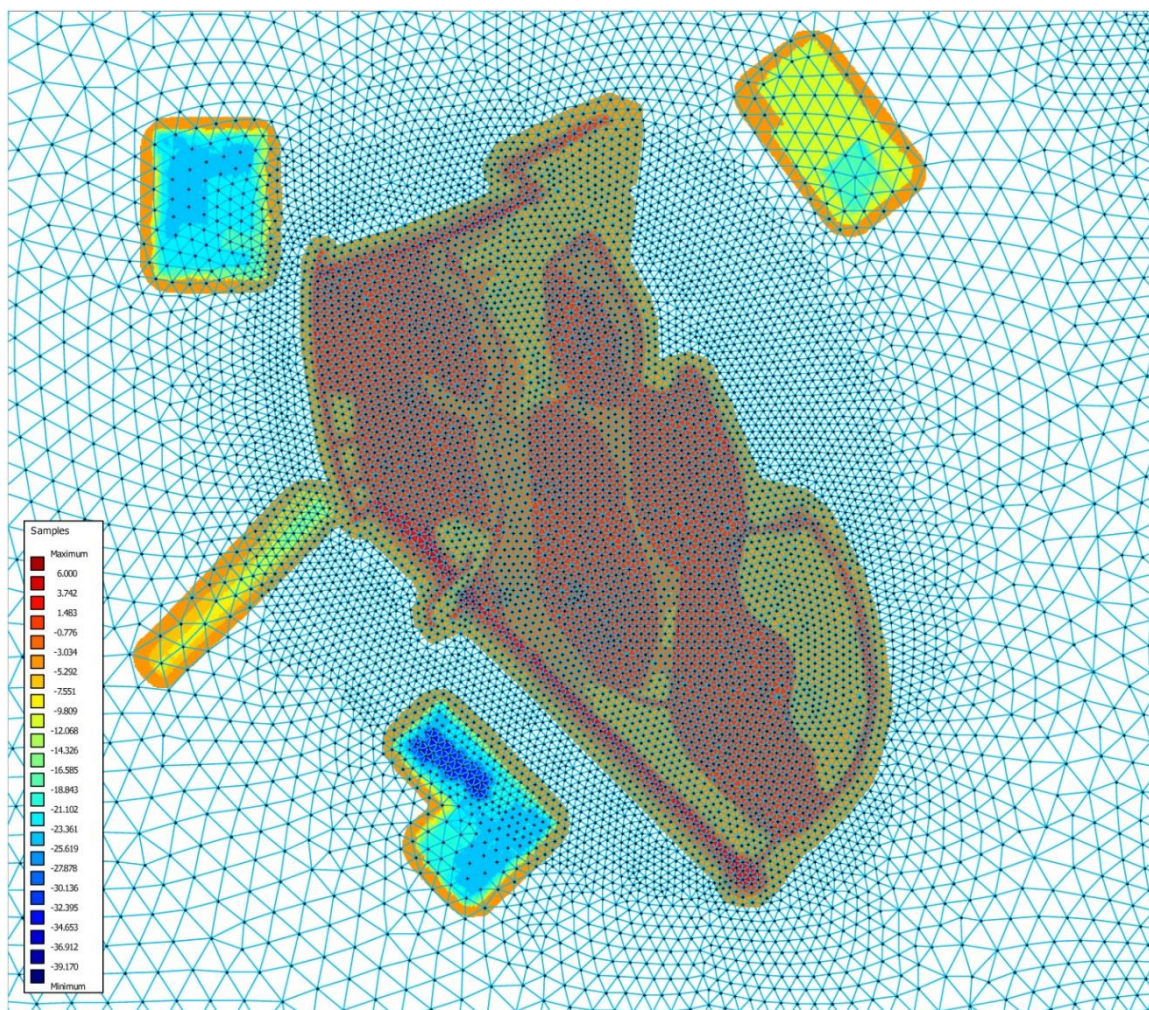


Figuur I.3 Luchtfoto door Marc Weeber (Deltares) van Marker Wadden en in de verte Trintelzand van 18 november 2018.

I.3 Survey Marker Wadden van 18 april 2018



Figuur I.4 Door Ronald Blokland (PPO-RWS) aangeleverde kaart 52812492-180417-Surv-Module_A-D_6000_001.pdf van eilanden uit survey Marker Wadden van 18 april 2018.



Figuur I.6 Samples van het aangeleverde lodingenbestand SURV_1x1_kwartaal1_2018.txt van survey Marker Wadden van 18 april 2018 en de lokale resolutie van het rekenrooster uit 2017.

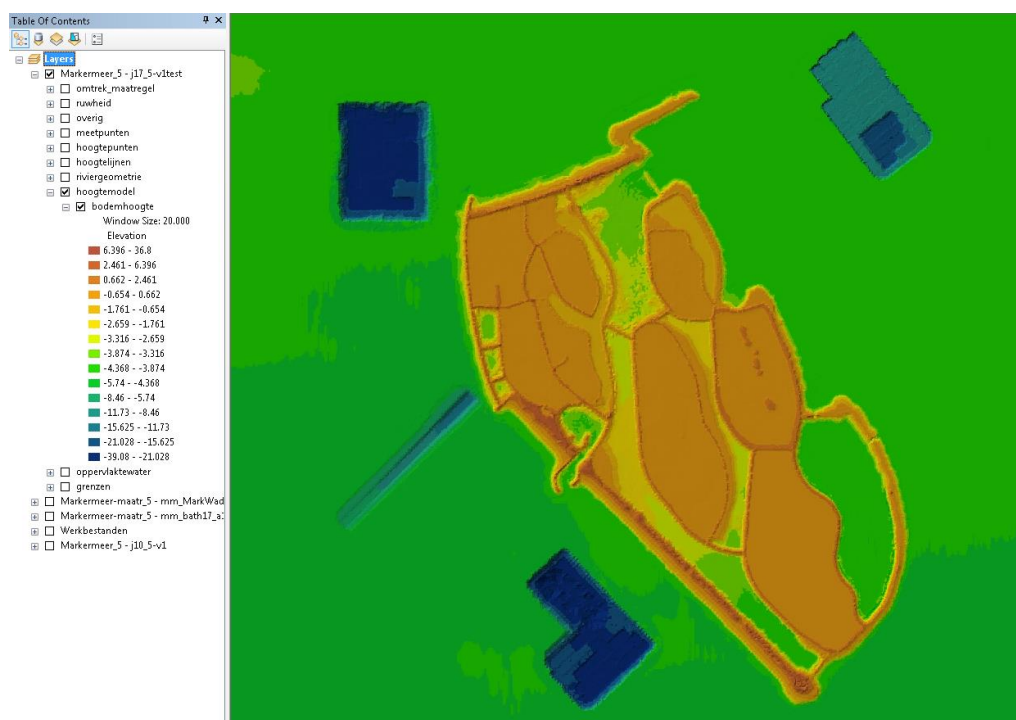
I.4 Baseline maatregel mm_MarkWad_a1 voor diepte Marker Wadden

De survey Marker Wadden van 18 april 2018 is door Deltares gebruikt om Baseline maatregel mm_MarkWad_a1 te maken. Basis hiervoor is Baseline referentie markermeer-j10_5-v1.

Allereerst verwijdt de maatregel bij het inmixen de zomerbedhoogtepunten uit de referentie voor het gebied waar lodingen van de survey voor zijn.

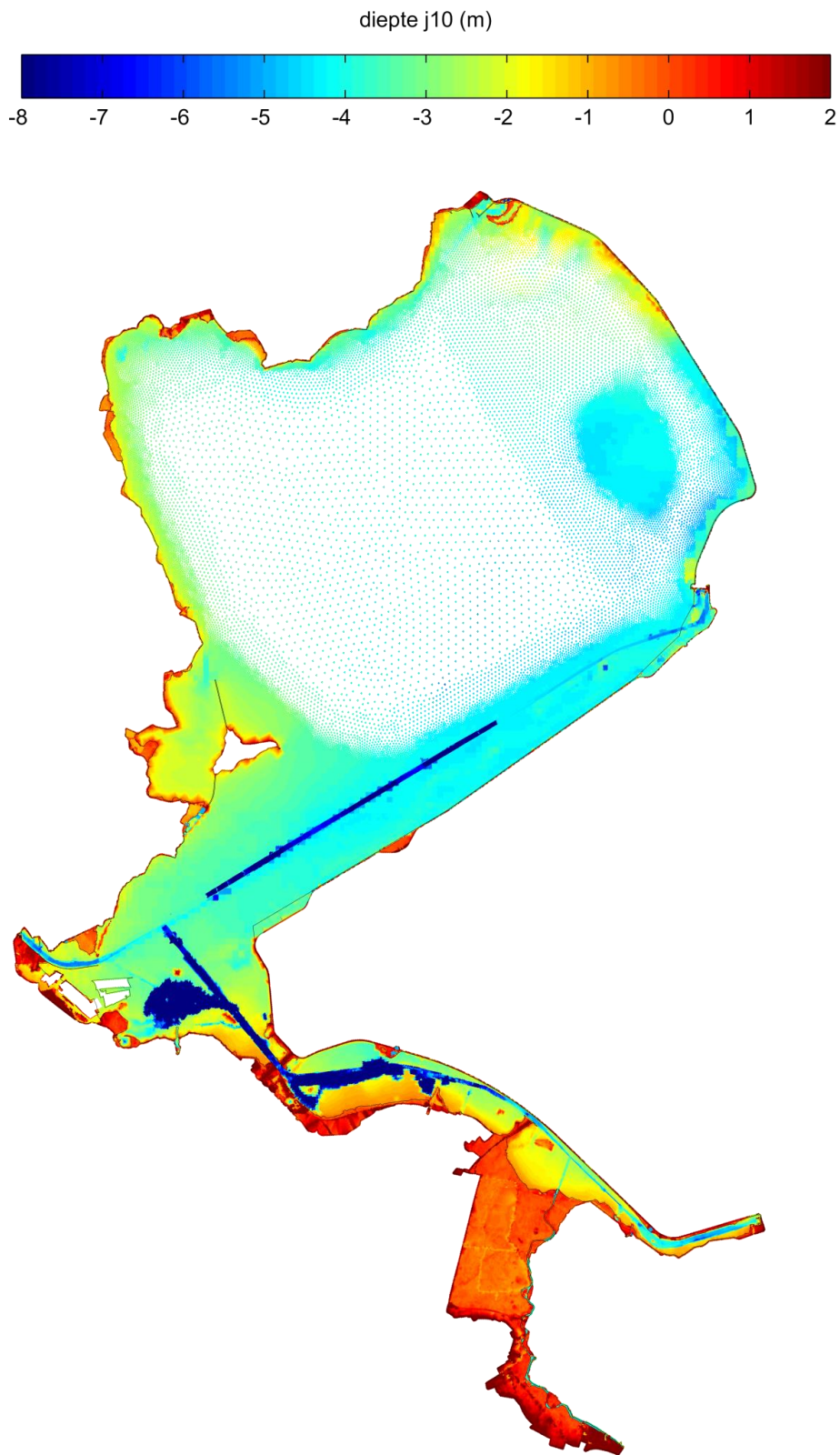
Vervolgens voegt de maatregel voor dit gebied de nieuwe zomerbedhoogtepunten toe. De zomerbedhoogtepunten zijn afkomstig uit het lodingenbestand SURV_1x1_kwartaal1_2018.txt van de survey. Het lodingenbestand van 1 m x 1 m is hiervoor omgezet naar een grid van 5 m x 5 m. Deze zit in de maatregel, de hoogte punten staan hier allemaal onder zomerbedhoogtes geplaatst, dit ondanks dat er punten bij zitten die nu niet meer in het water liggen, maar gewoon land zijn geworden. Echter, in principe is Marker Wadden buitendijks gebied en overal overstroombaar.

Figuur I.7 laat het bodemhoogtemodel zien na inmixen van de Baseline maatregel mm_MarkWad_a1 met Baseline referentie markermeer-j10_5-v1.

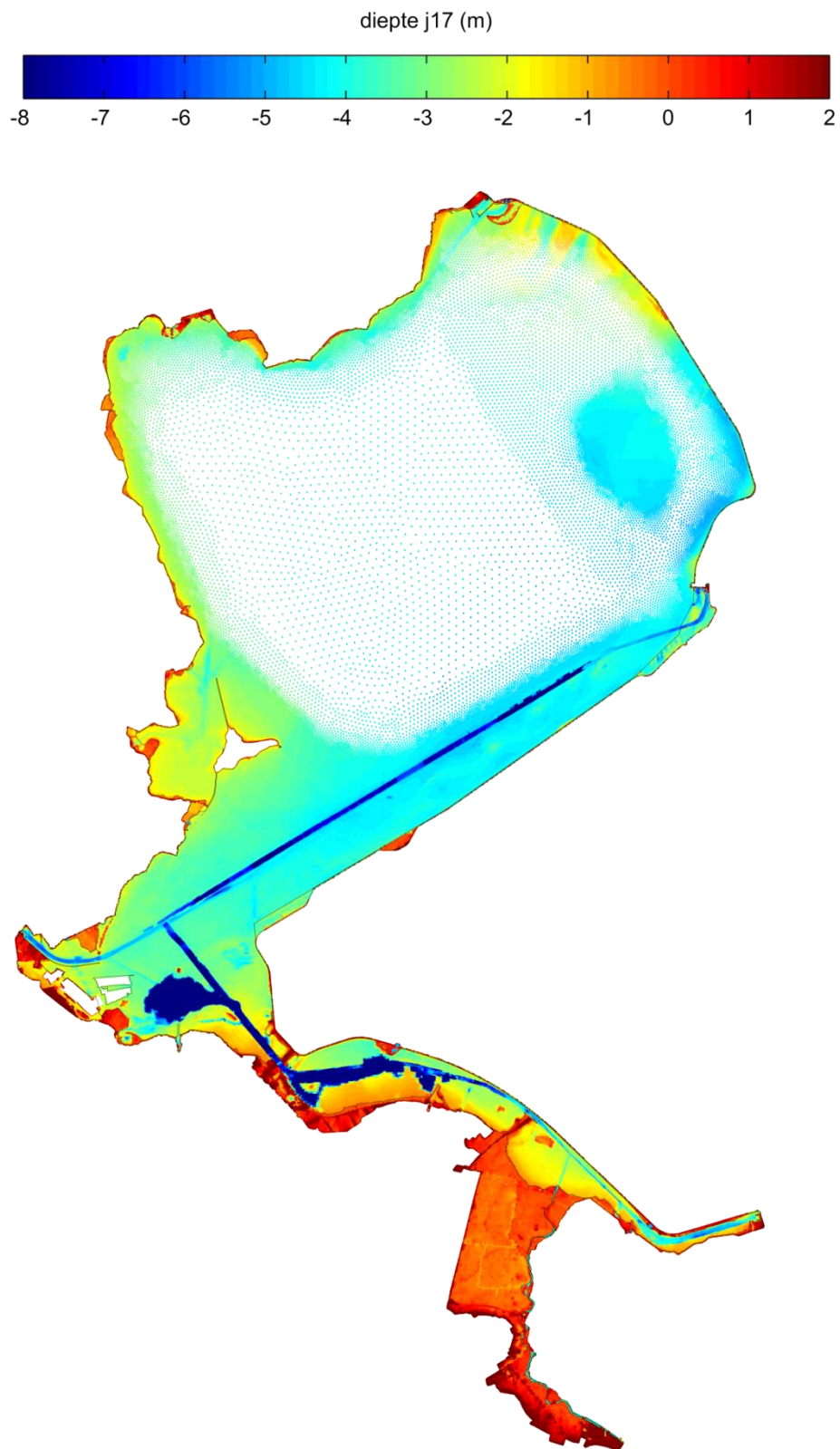


Figuur I.7 Bodemhoogtemodel van j17 variant met de maatregel "mm_MarkWad_a1".

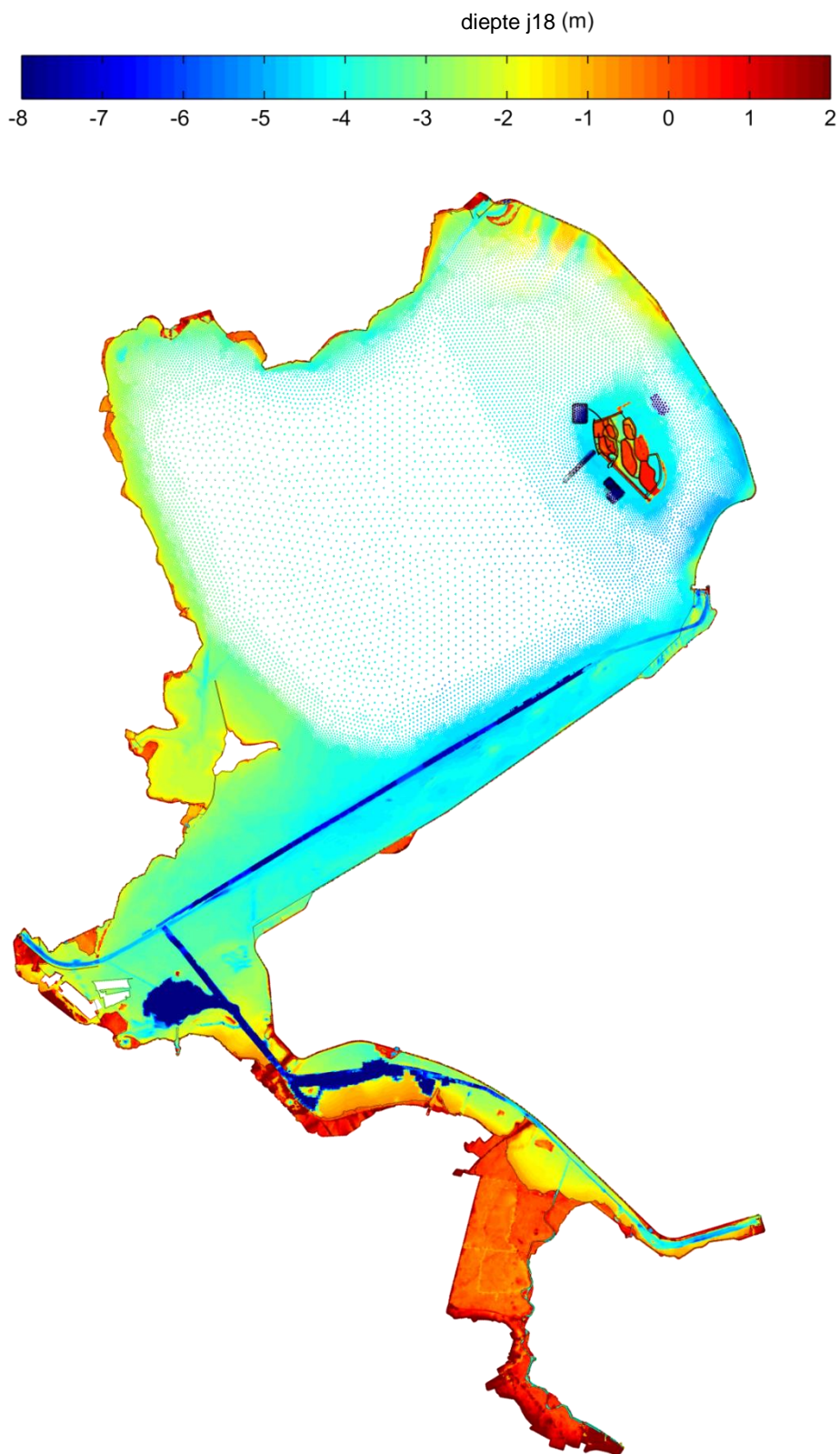
I.5 Projectie en verschillen op rooster



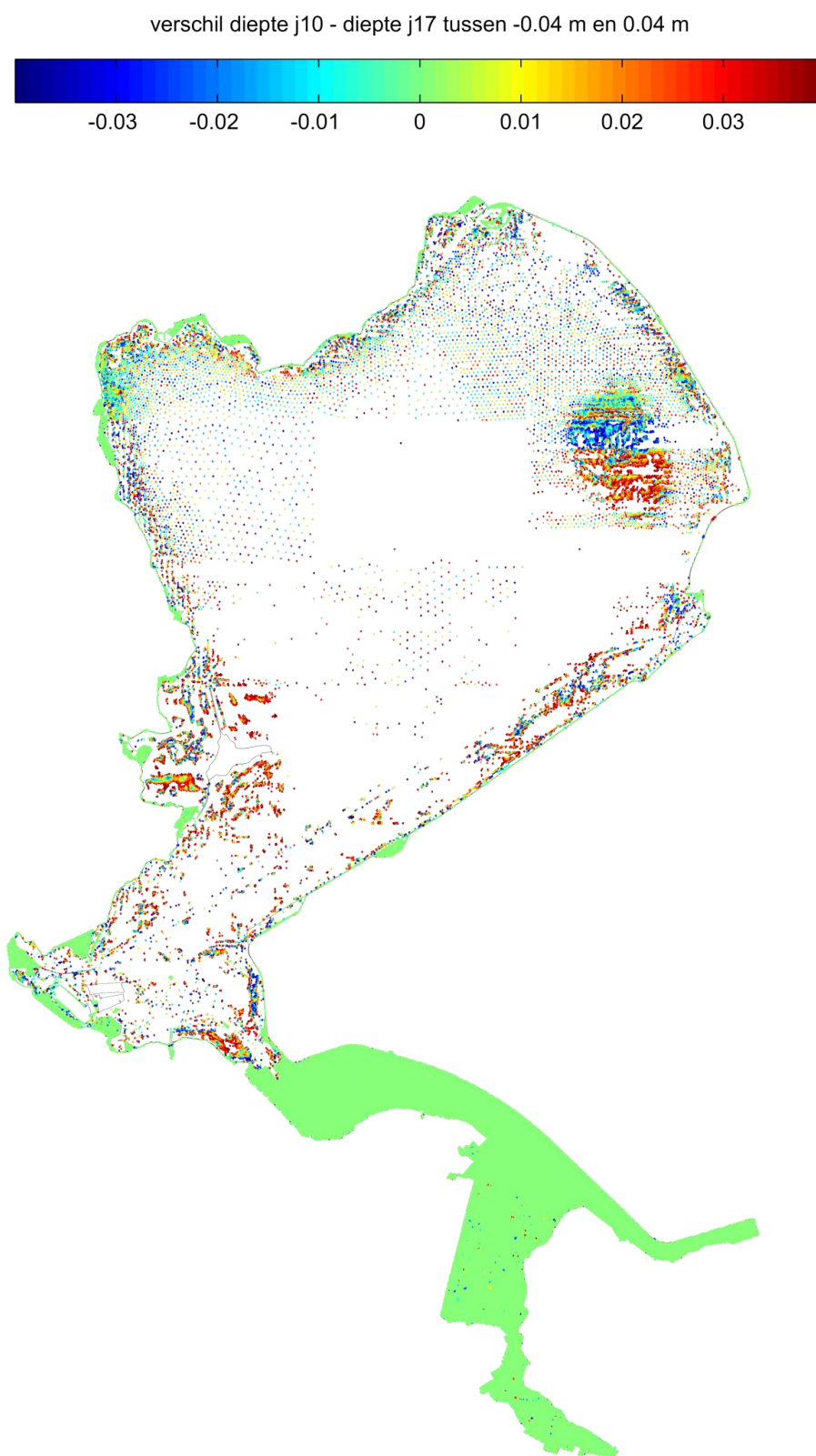
Figuur I.8 Diepte van D-Flow FM voor Baseline schematisatie markermeer-j10_5-v1.



Figuur I.9 Diepte van D-Flow FM voor Baseline schematisatie markermeer-j17_5-v1.

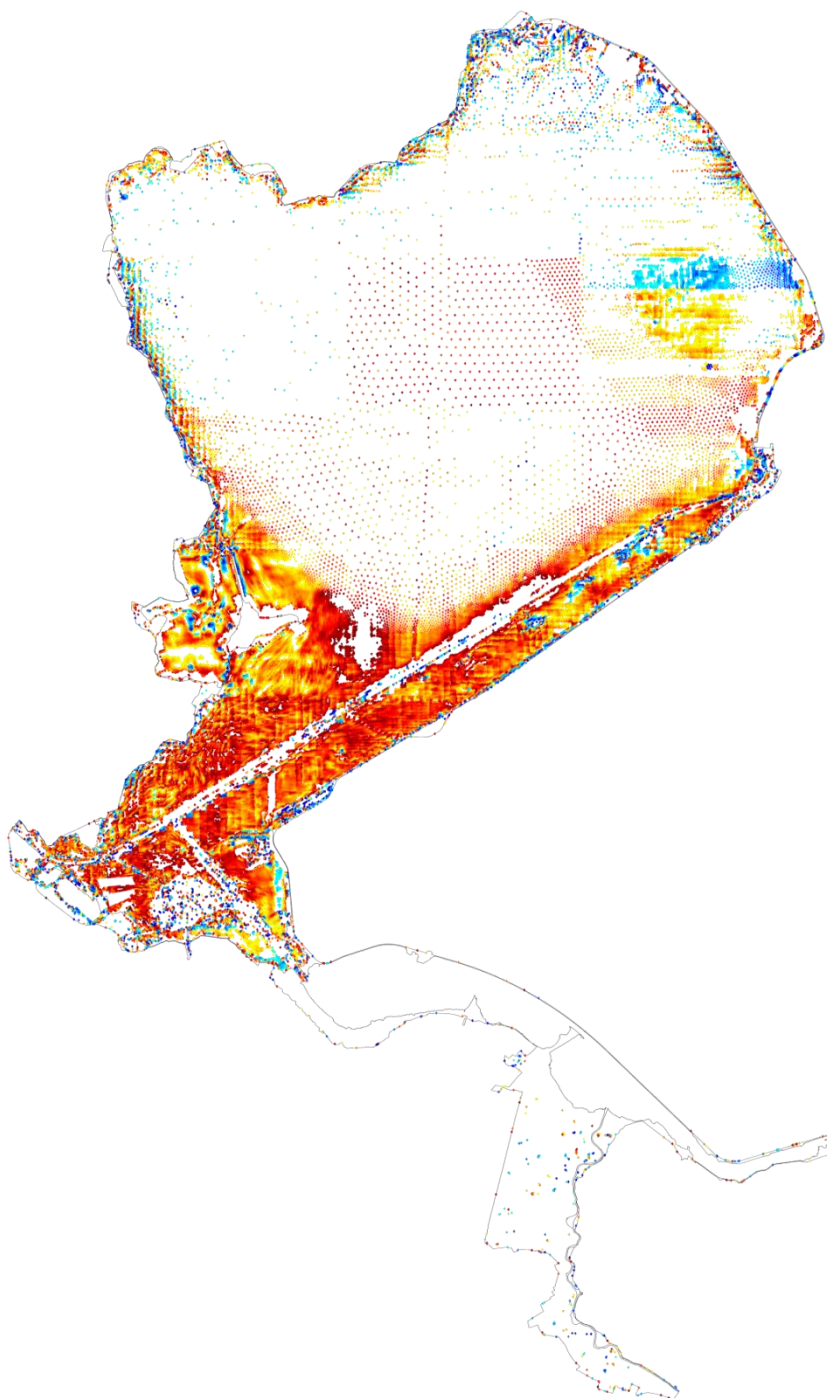
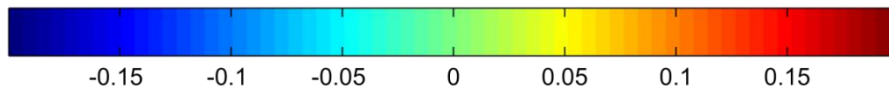


Figuur I.10 Diepte van D-Flow FM voor Baseline schematisatie markermeer-j18_5-v1 .

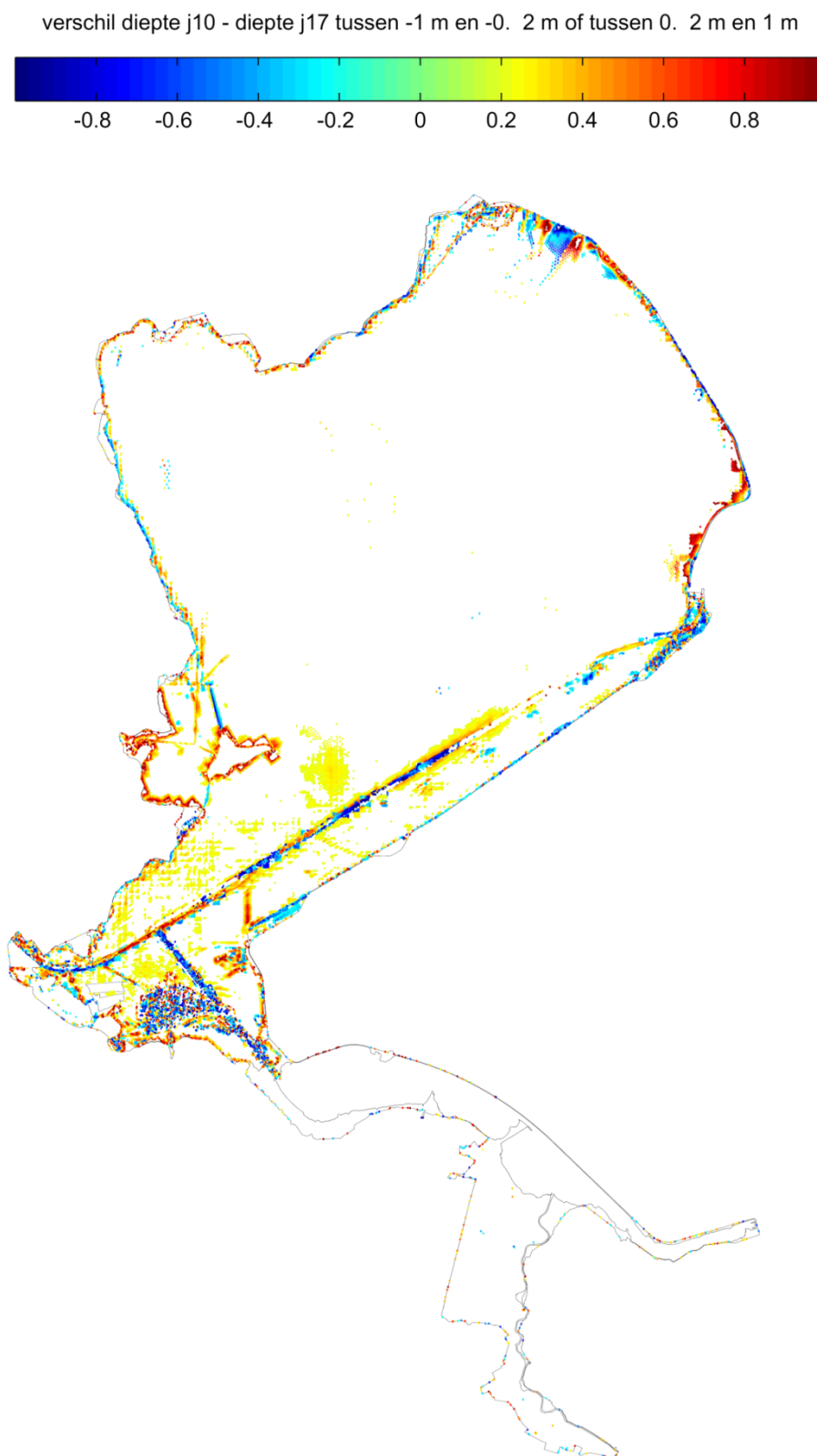


Figuur I.11 Verschil dat tussen -0.04 m en 0.04 m ligt van (diepte van D-Flow FM voor Baseline schematisatie markermeer-j10_5-v1) – (diepte van D-Flow FM voor Baseline schematisatie markermeer-j17_5-v1).

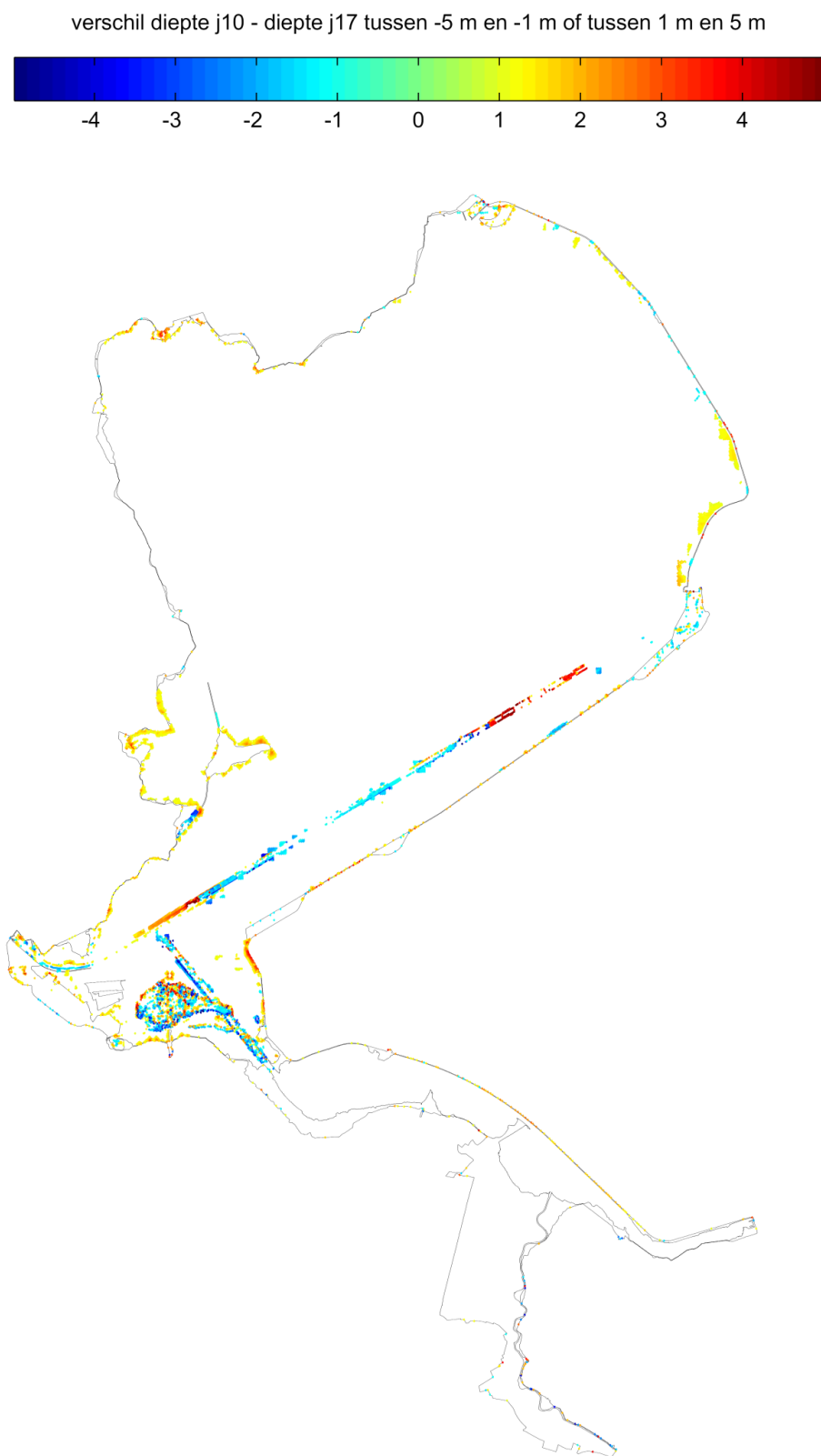
verschil diepte j10 - diepte j17 tussen -0.2 m en -0.04 m of tussen 0.04 m en 0.2 m



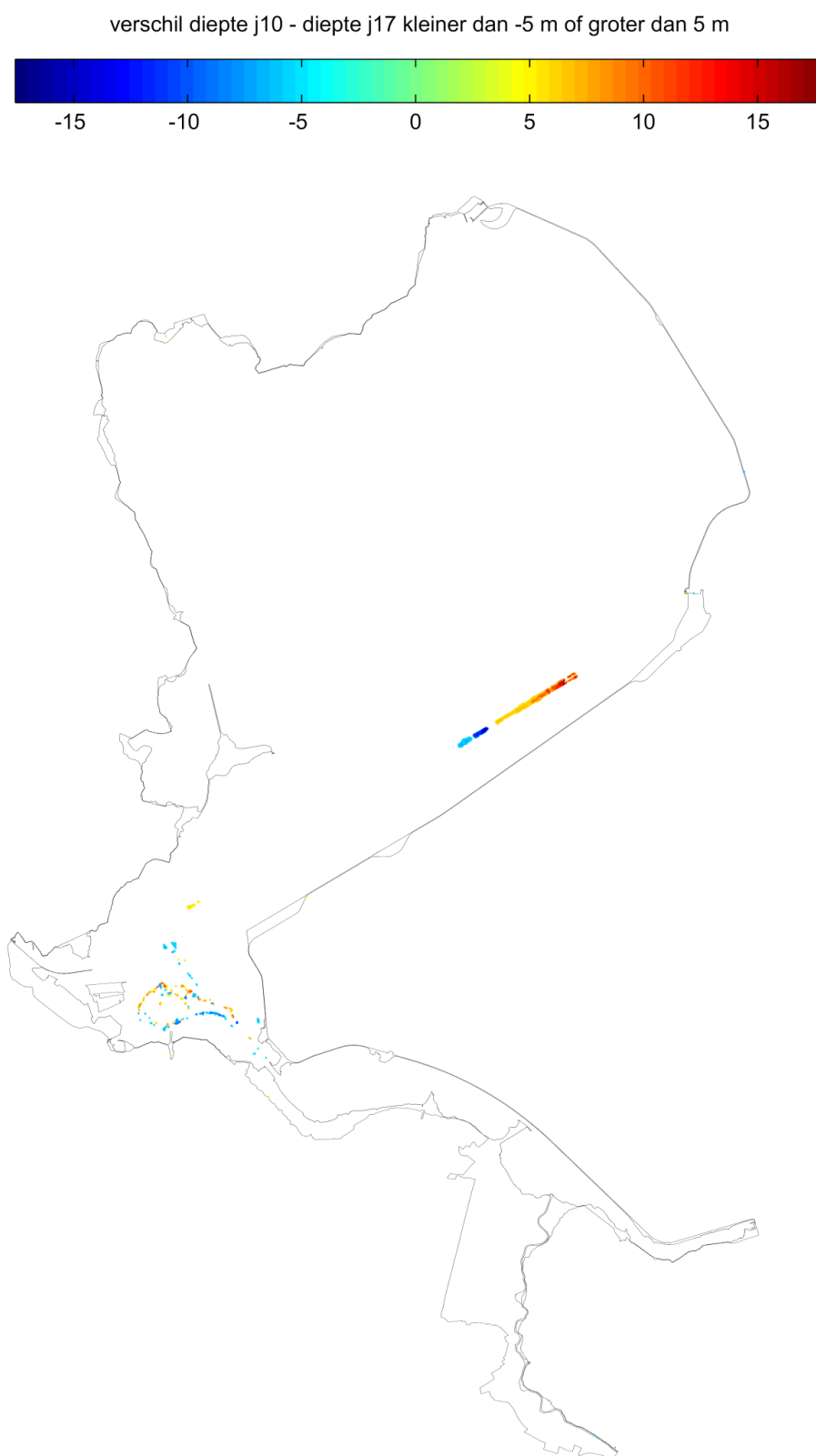
Figuur I.12 Verschil dat tussen -0.2 m en -0.04 m of tussen 0.04 m en 0.2 m ligt van (diepte van D-Flow FM voor Baseline schematisatie markermeer-j10_5-v1) – (diepte van D-Flow FM voor Baseline schematisatie markermeer-j17_5-v1).



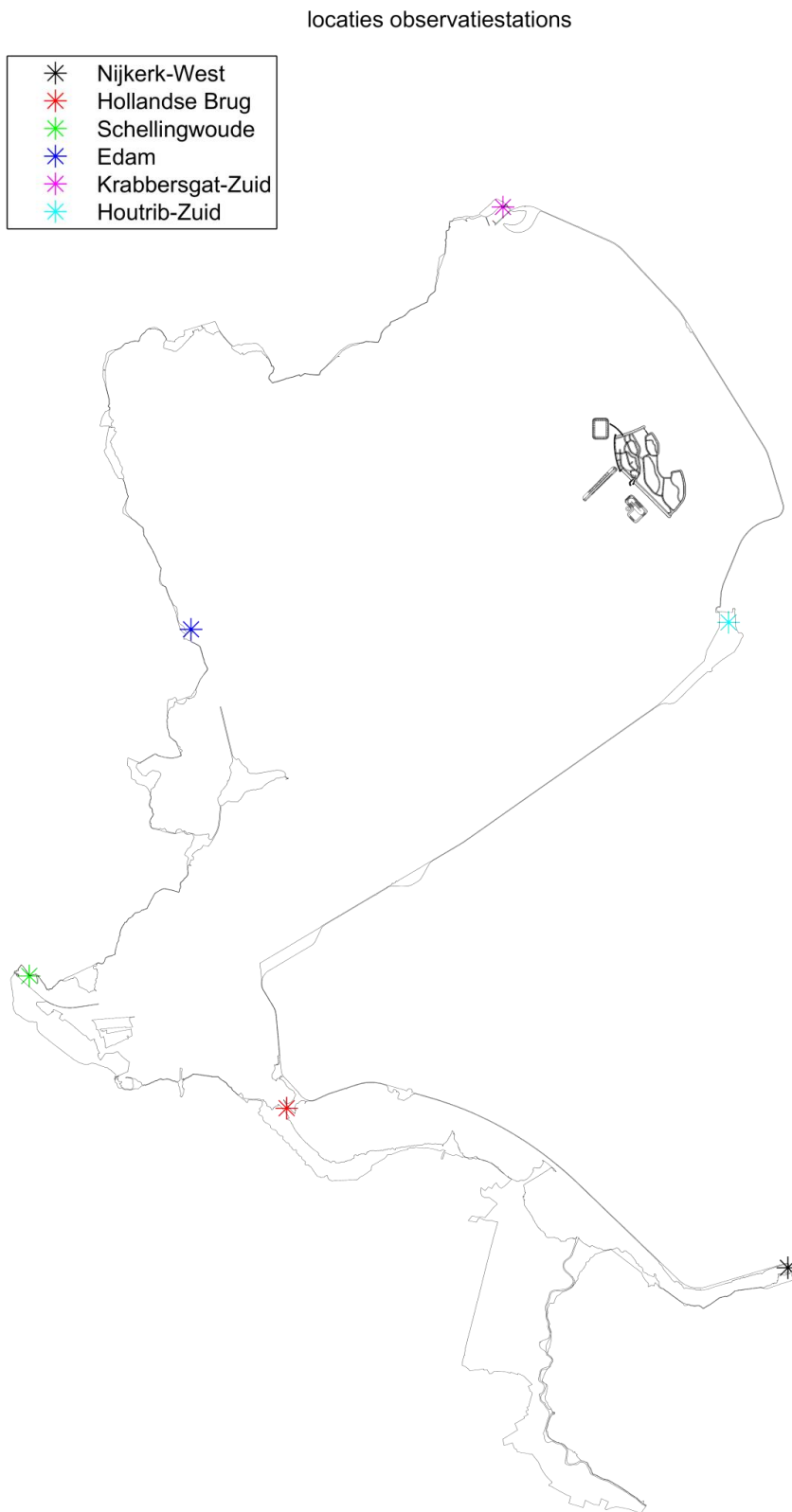
Figuur I.13 Verschil dat tussen -1 m en -0.2 m of tussen 0.2 m en 1 m ligt van (diepte van D-Flow FM voor Baseline schematisatie markermeer-j10_5-v1) – (diepte van D-Flow FM voor Baseline schematisatie markermeer-j17_5-v1).



Figuur I.14 Verschil dat tussen -5 m en -1 m of tussen 1 m en 5 m ligt van (diepte van D-Flow FM voor Baseline schematisatie markermeer-j10_5-v1) – (diepte van D-Flow FM voor Baseline schematisatie markermeer-j17_5-v1).



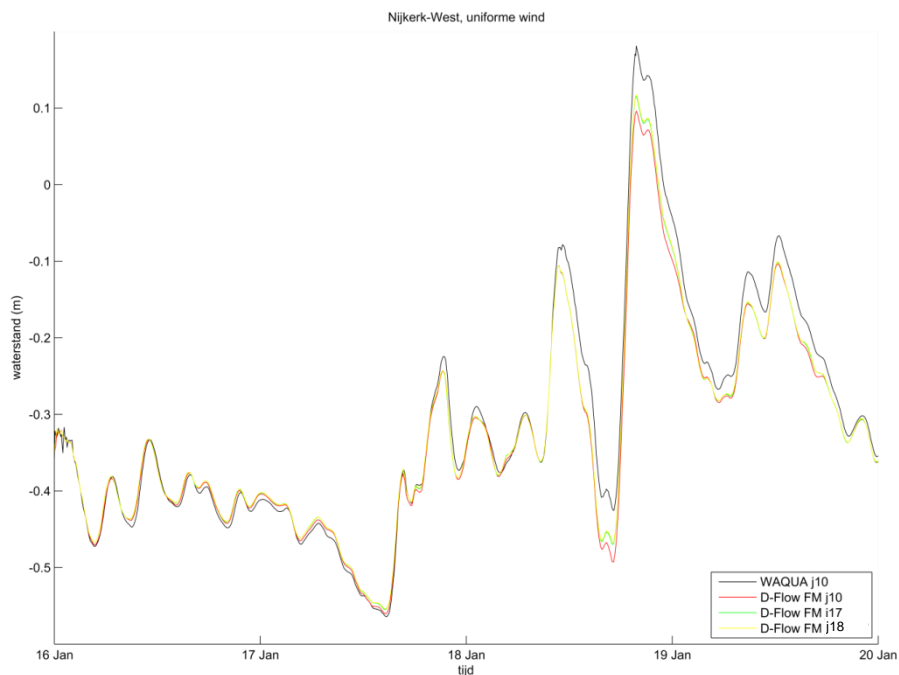
Figuur I.15 Verschil dat kleiner dan -5 m of groter dan 5 m is van (diepte van D-Flow FM voor Baseline schematisatie markermeer-j10_5-v1) – (diepte van D-Flow FM voor Baseline schematisatie markermeer-j17_5-v1).



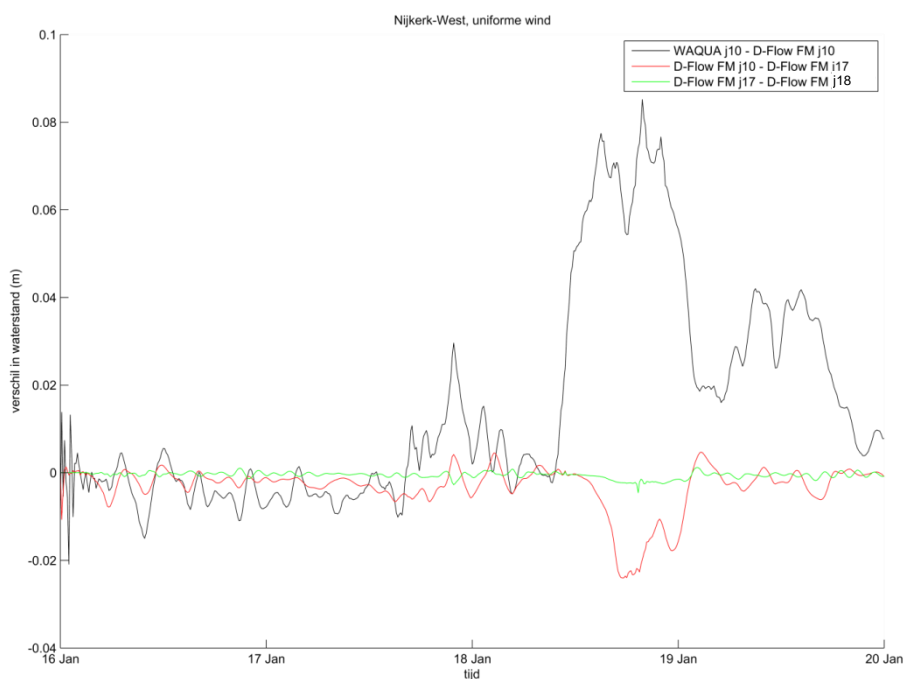
Figuur I.16 Locaties van observatiestations.

J Effect verschillende diepte van j10, j17 en j18

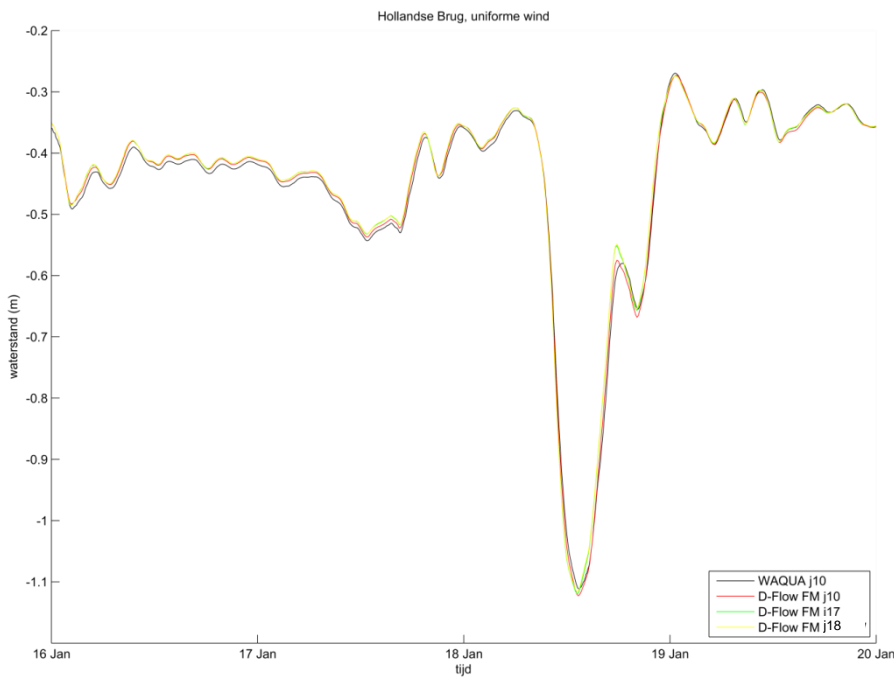
J.1 Storm januari 2007 op Markermeer met uniforme wind



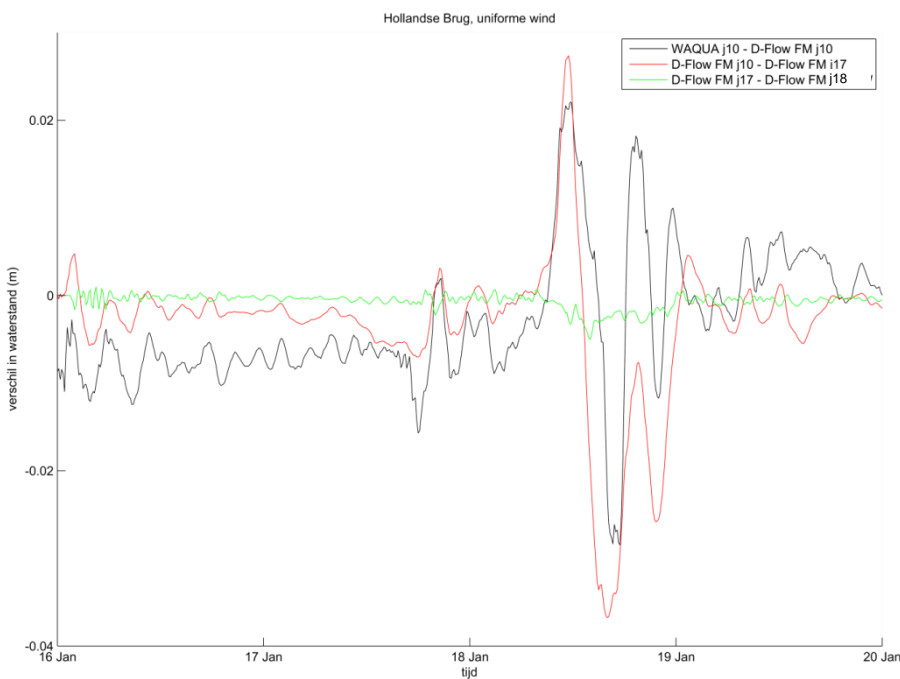
Figuur J.1 Resultaten bij Nijkerk-West voor stormperiode januari 2007 met uniforme wind voor WAQUA j10, D-Flow FM j10, D-Flow FM j17 en D-Flow FM j18.



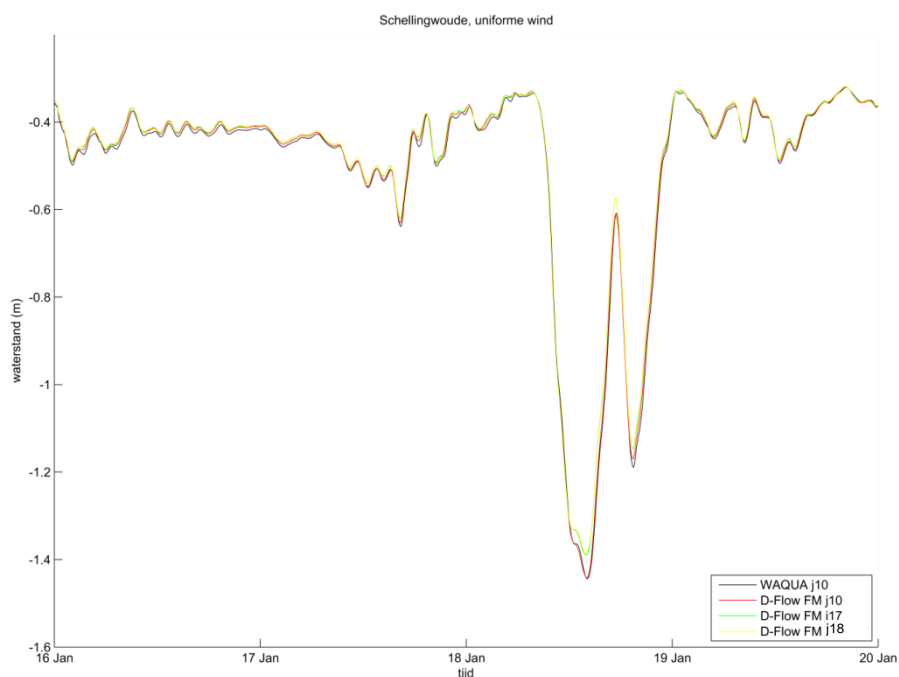
Figuur J.2 Verschil van resultaten bij Nijkerk-West voor stormperiode januari 2007 met uniforme wind voor (WAQUA j10) – (D-Flow FM j10), (D-Flow FM j10) – (D-Flow FM j17) en (D-Flow FM j17) – (D-Flow FM j18).



Figuur J.3 Resultaten bij Hollandse Brug voor stormperiode januari 2007 met uniforme wind voor WAQUA j10, D-Flow FM j10, D-Flow FM j17 en D-Flow FM j18.



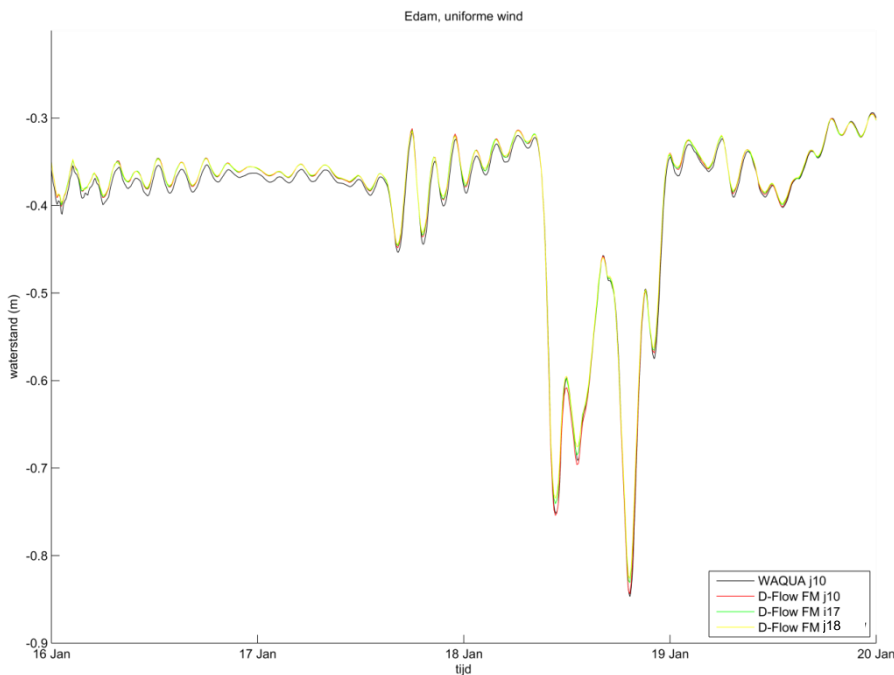
Figuur J.4 Verschil van resultaten bij Hollandse Brug voor stormperiode januari 2007 met uniforme wind voor (WAQUA j10) – (D-Flow FM j10), (D-Flow FM j10) – (D-Flow FM j17) en (D-Flow FM j17) – (D-Flow FM j18).



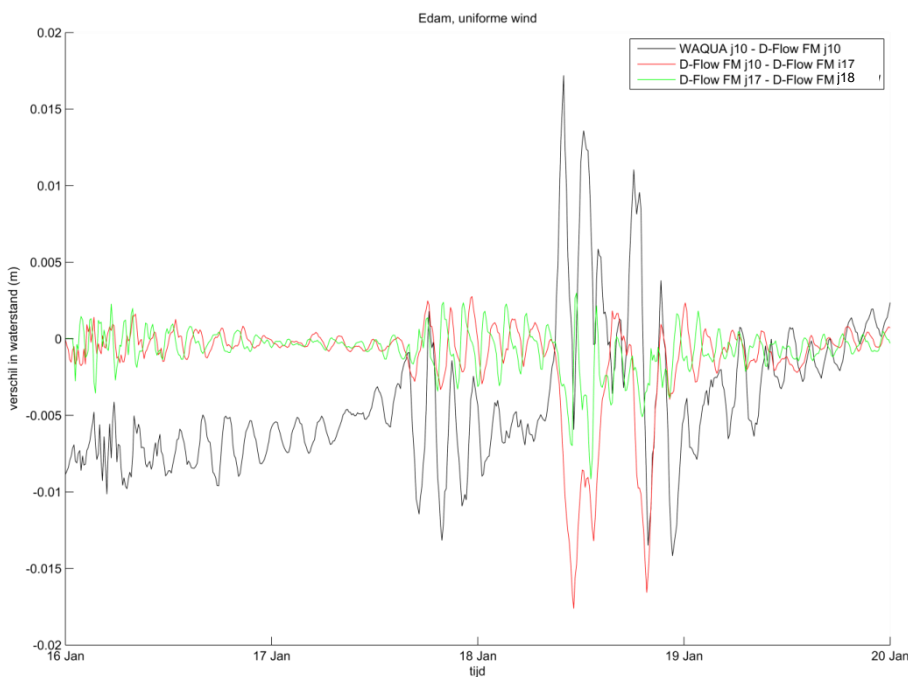
Figuur J.5 Resultaten bij Schellingwoude voor stormperiode januari 2007 met uniforme wind voor WAQUA j10, D-Flow FM j10, D-Flow FM j17 en D-Flow FM j18.



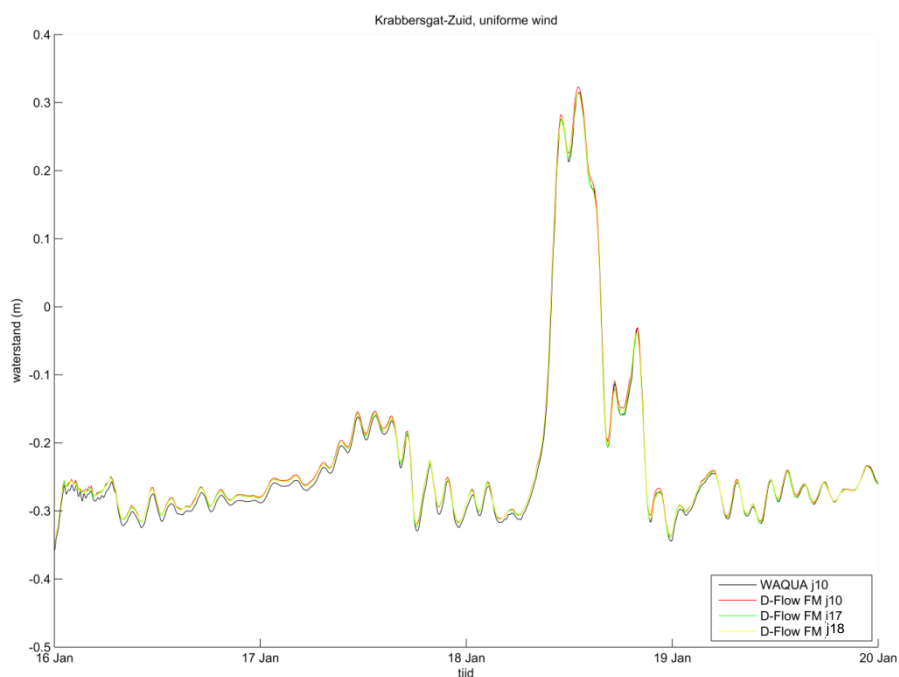
Figuur J.6 Verschil van resultaten bij Schellingwoude voor stormperiode januari 2007 uniforme wind voor (WAQUA j10) – (D-Flow FM j10), (D-Flow FM j10) – (D-Flow FM j17) en (D-Flow FM j17) – (D-Flow FM j18).



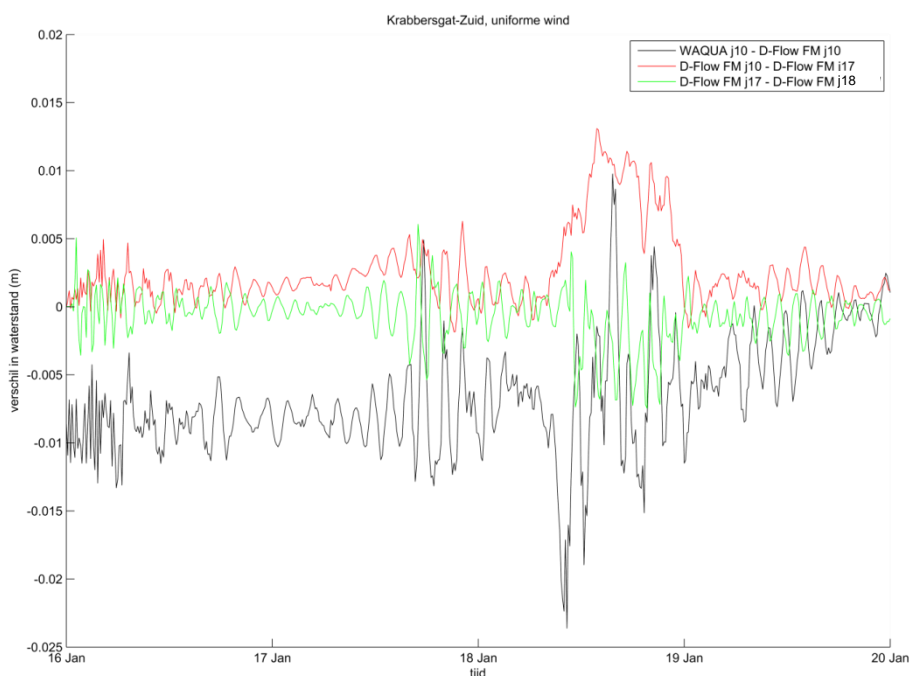
Figuur J.7 Resultaten bij Edam voor stormperiode januari 2007 met uniforme wind voor WAQUA j10, D-Flow FM j10, D-Flow FM j17 en D-Flow FM j18.



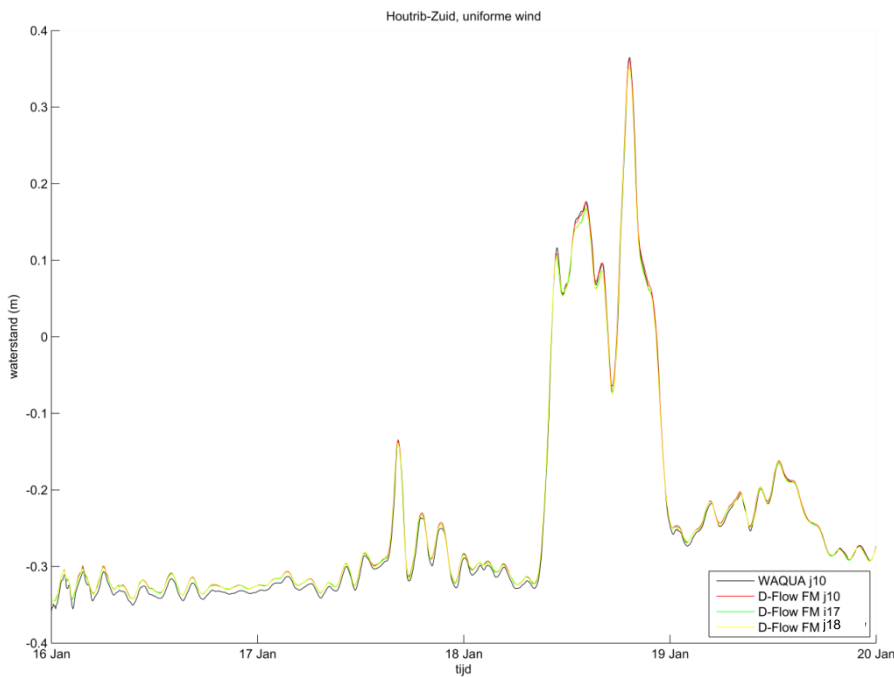
Figuur J.8 Verschil van resultaten bij Edam voor stormperiode januari 2007 met uniforme wind voor (WAQUA j10) – (D-Flow FM j10), (D-Flow FM j10) – (D-Flow FM j17) en (D-Flow FM j17) – (D-Flow FM j18).



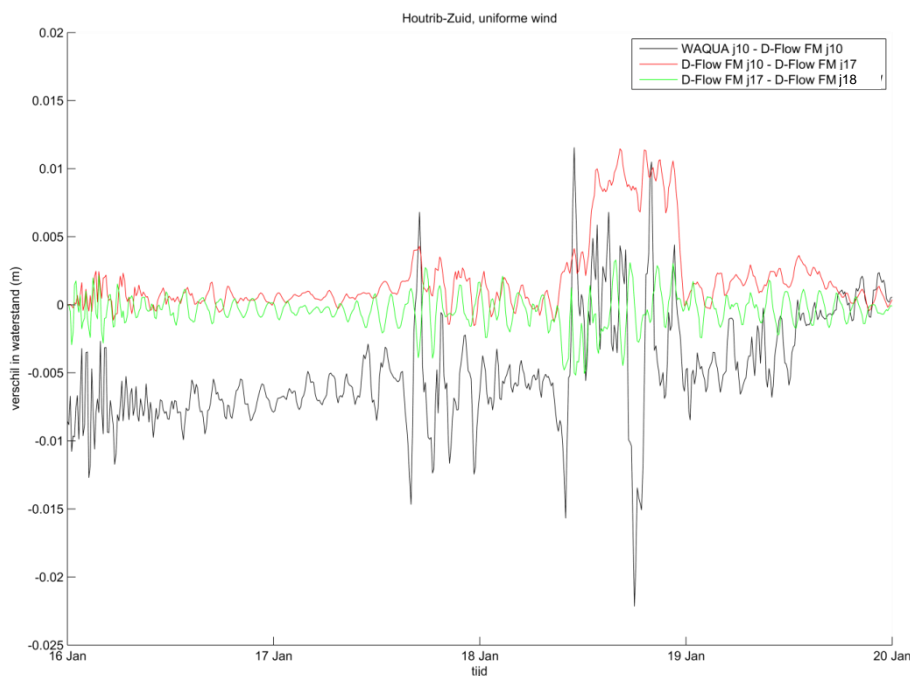
Figuur J.9 Resultaten bij Krabbersgat-Zuid voor stormperiode januari 2007 met uniforme wind voor WAQUA j10, D-Flow FM j10, D-Flow FM j17 en D-Flow FM j18.



Figuur J.10 Verschil van resultaten bij Krabbersgat-Zuid voor stormperiode januari 2007 met uniforme wind voor (WAQUA j10) – (D-Flow FM j10), (D-Flow FM j10) – (D-Flow FM j17) en (D-Flow FM j17) – (D-Flow FM j18).

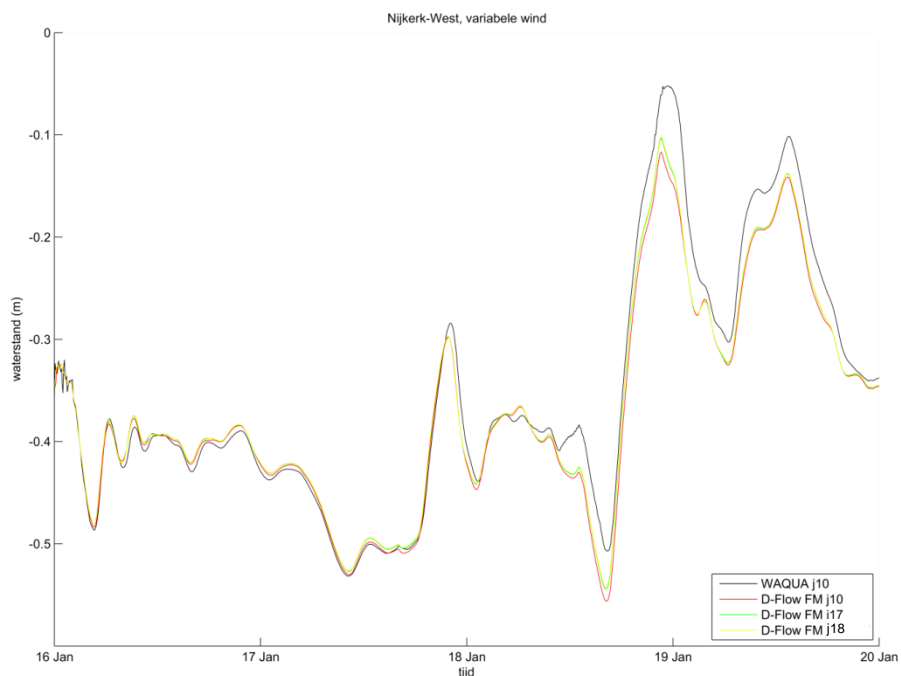


Figuur J.11 Resultaten bij Houtrib-Zuid voor stormperiode januari 2007 met uniforme wind voor WAQUA j10, D-Flow FM j10, D-Flow FM j17 en D-Flow FM j18.

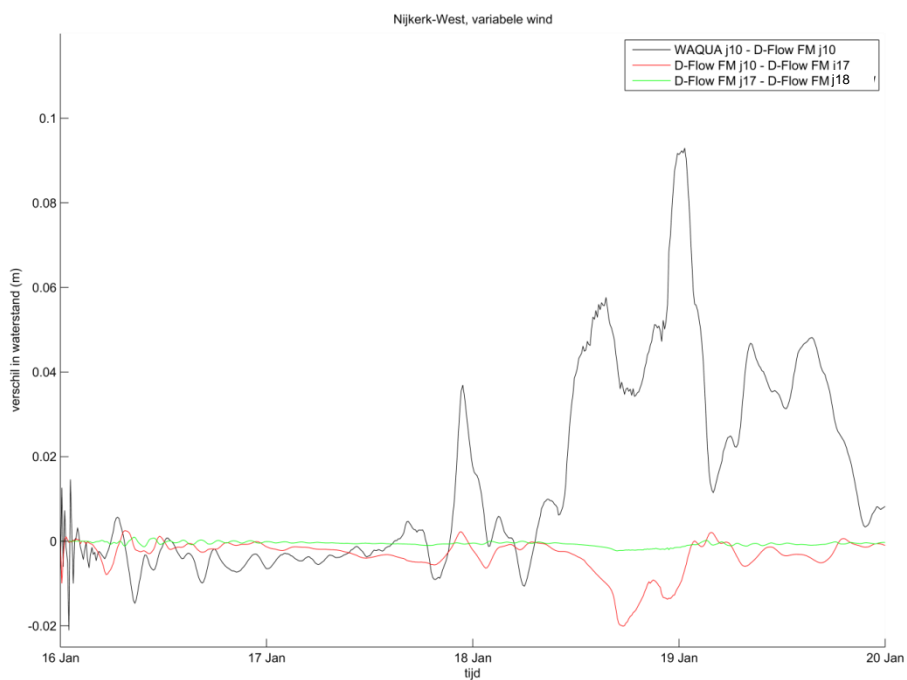


Figuur J.12 Verschil van resultaten bij Houtrib-Zuid voor stormperiode januari 2007 uniforme wind voor (WAQUA j10) – (D-Flow FM j10), (D-Flow FM j10) – (D-Flow FM j17) en (D-Flow FM j17) – (D-Flow FM j18).

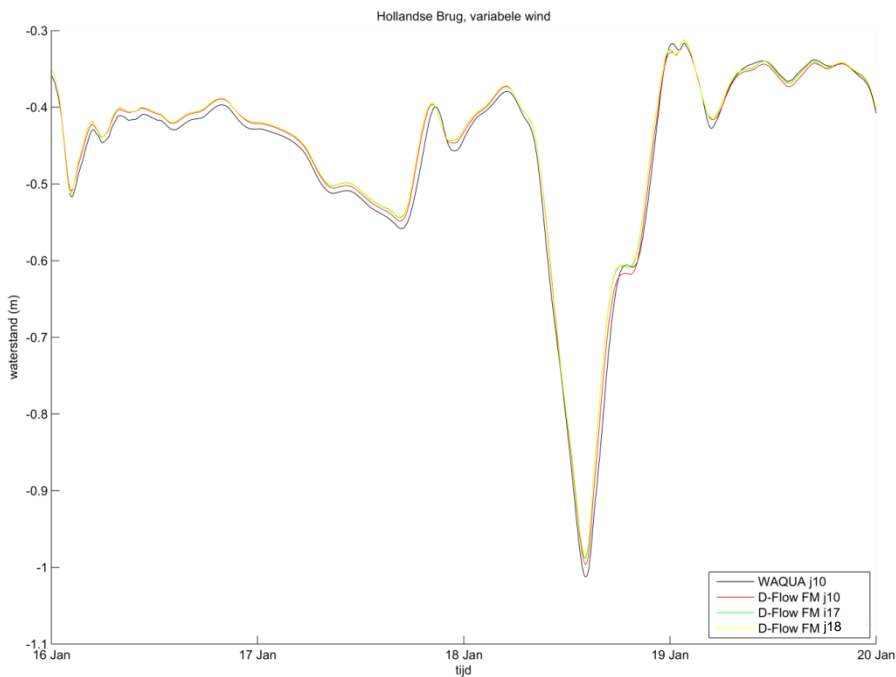
J.2 Storm januari 2007 op Markermeer met ruimtelijk variërende wind



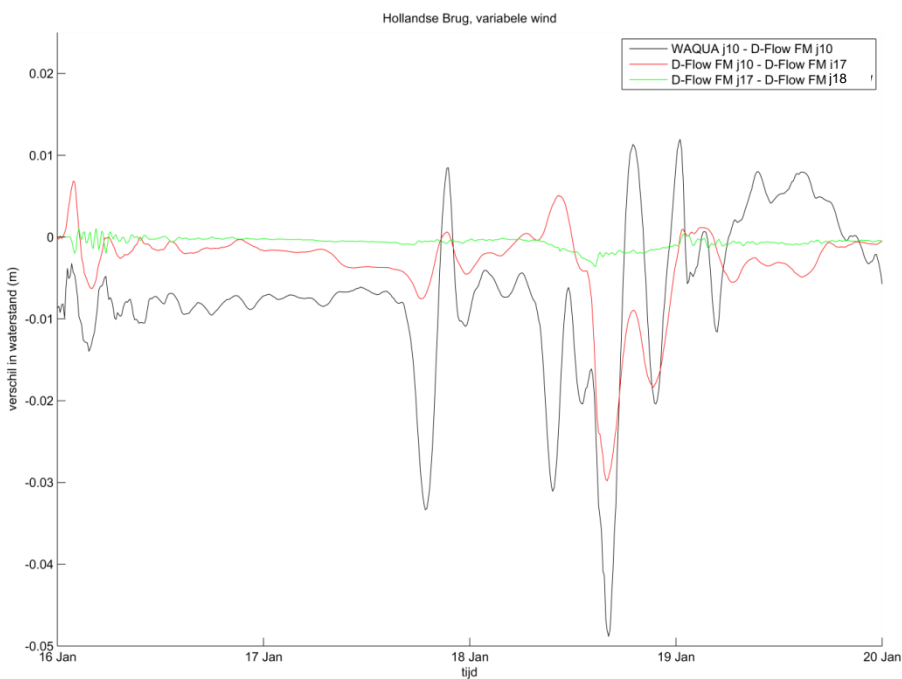
Figuur J.13 Resultaten bij Nijkerk-West voor stormperiode januari 2007 met ruimtelijk variërende wind voor WAQUA j10, D-Flow FM j10, D-Flow FM j17 en D-Flow FM j18.



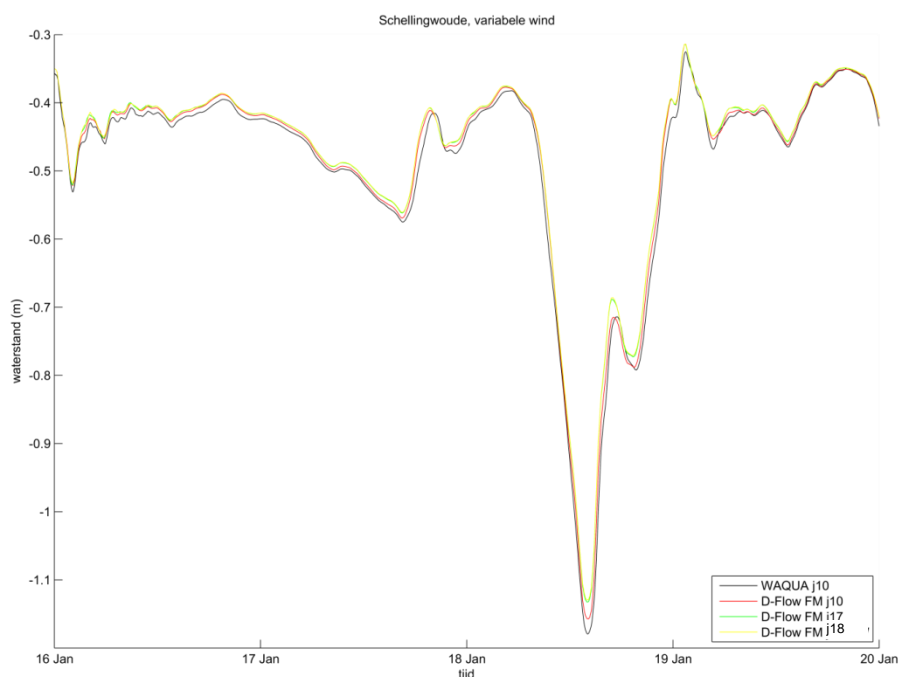
Figuur J.14 Verschil van resultaten bij Nijkerk-West voor stormperiode januari 2007 met ruimtelijk variërende wind voor (WAQUA j10) – (D-Flow FM j10), (D-Flow FM j10) – (D-Flow FM j17) en (D-Flow FM j17) – (D-Flow FM j18).



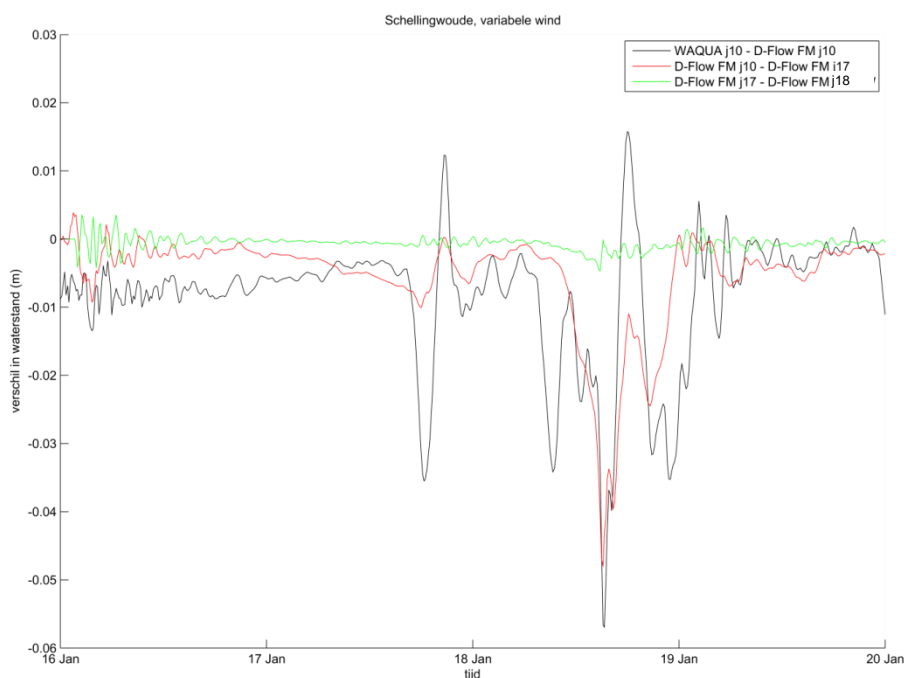
Figuur J.15 Resultaten bij Hollandse Brug voor stormperiode januari 2007 met ruimtelijk variërende wind voor WAQUA j10, D-Flow FM j10, D-Flow FM j17 en D-Flow FM j18.



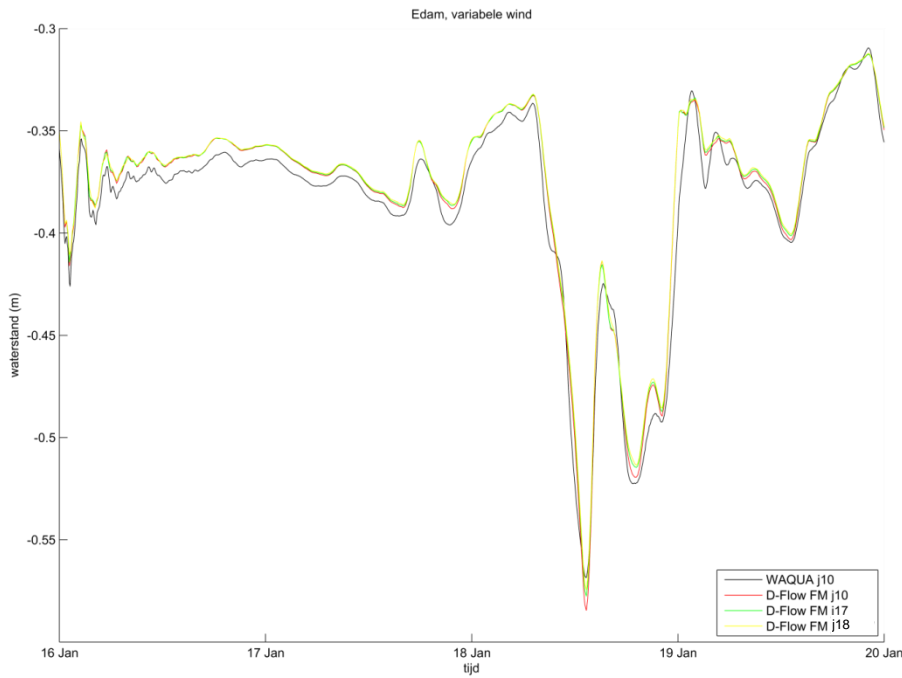
Figuur J.16 Verschil van resultaten bij Hollandse Brug voor stormperiode januari 2007 met ruimtelijk variërende wind voor (WAQUA j10) – (D-Flow FM j10), (D-Flow FM j10) – (D-Flow FM j17) en (D-Flow FM j17) – (D-Flow FM j18).



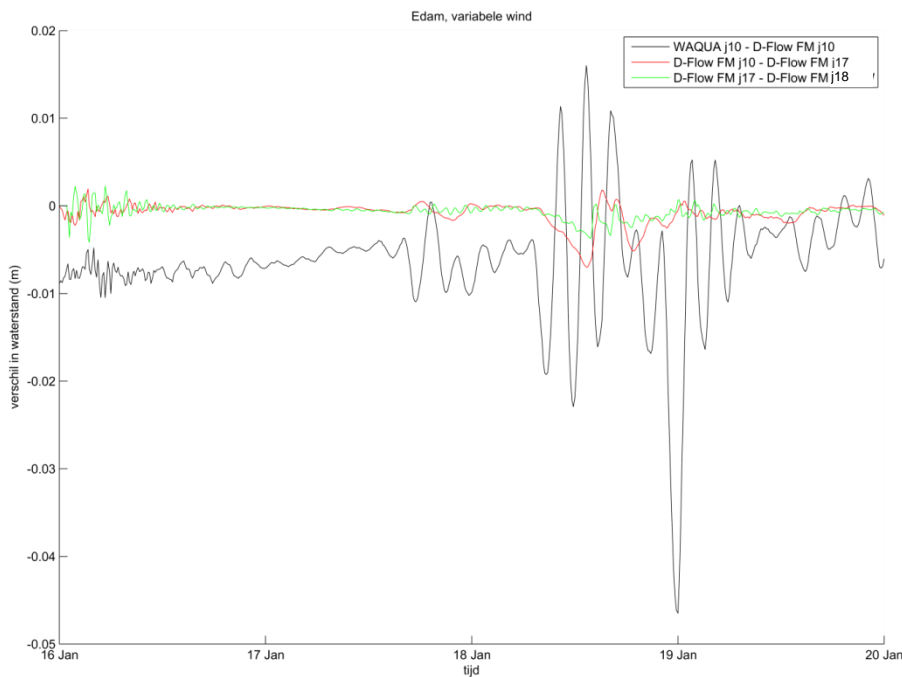
Figuur J.17 Resultaten bij Schellingwoude voor stormperiode januari 2007 met ruimtelijk variërende wind voor WAQUA j10, D-Flow FM j10, D-Flow FM j17 en D-Flow FM j18.



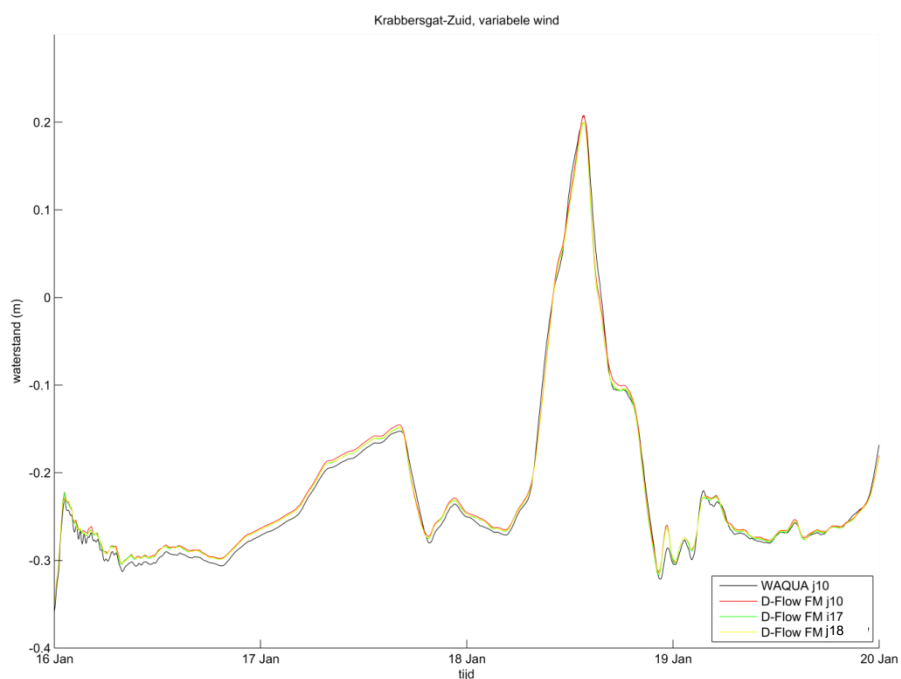
Figuur J.18 Verschil van resultaten bij Schellingwoude voor stormperiode januari 2007 met ruimtelijk variërende wind voor (WAQUA j10) – (D-Flow FM j10), (D-Flow FM j10) – (D-Flow FM j17) en (D-Flow FM j17) – (D-Flow FM j18).



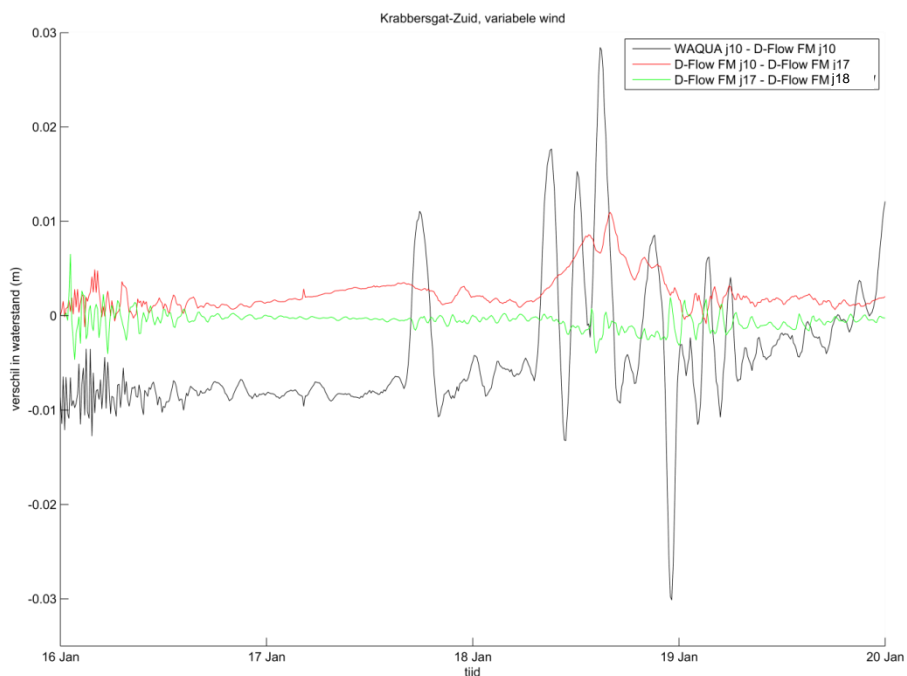
Figuur J.19 Resultaten bij Edam voor stormperiode januari 2007 met ruimtelijk variërende wind voor WAQUA j10, D-Flow FM j10, D-Flow FM j17 en D-Flow FM j18



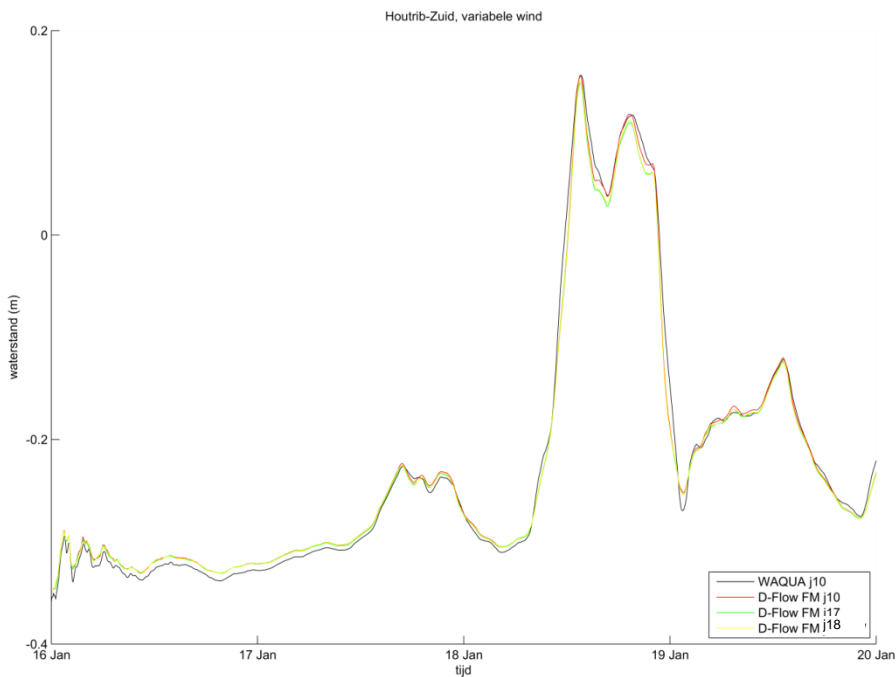
Figuur J.20 Verschil van resultaten bij Edam voor stormperiode januari 2007 met ruimtelijk variërende wind voor (WAQUA j10) – (D-Flow FM j10), (D-Flow FM j10) – (D-Flow FM j17) en (D-Flow FM j17) – (D-Flow FM j18).



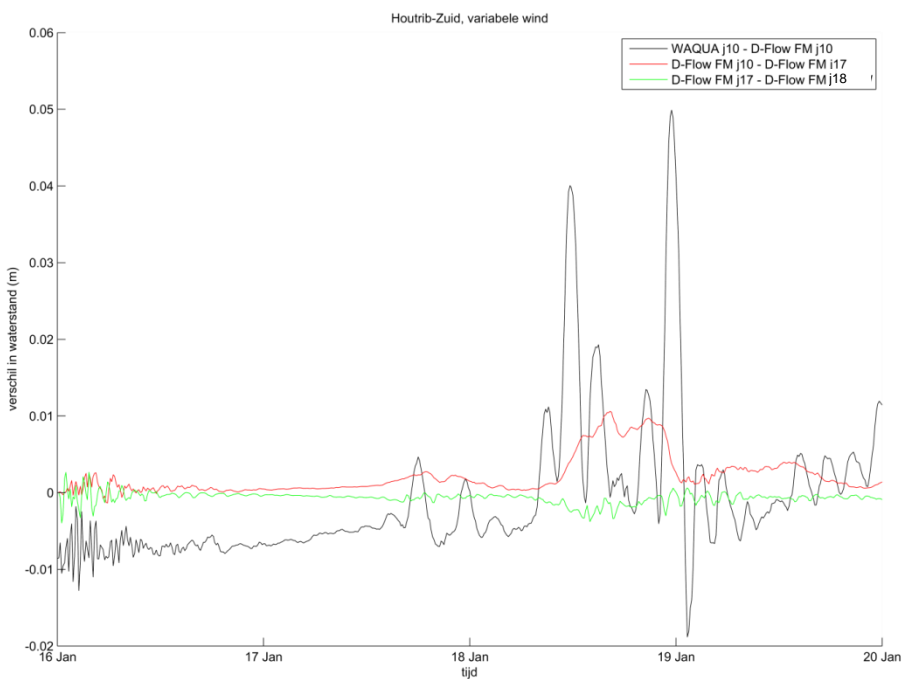
Figuur J.21 Resultaten bij Krabbersgat-Zuid voor stormperiode januari 2007 met ruimtelijk variërende wind voor WAQUA j10, D-Flow FM j10, D-Flow FM j17 en D-Flow FM j18



Figuur J.22 Verschil van resultaten bij Krabbersgat-Zuid voor stormperiode januari 2007 met ruimtelijk variërende wind voor (WAQUA j10) – (D-Flow FM j10), (D-Flow FM j10) – (D-Flow FM j17) en (D-Flow FM j17) – (D-Flow FM j18).



Figuur J.23 Resultaten bij Houtrib-Zuid voor stormperiode januari 2007 met ruimtelijk variërende wind voor WAQUA j10, D-Flow FM j10, D-Flow FM j17 en D-Flow FM j17 en Marker Wadden ("MW").



Figuur J.24 Verschil van resultaten bij Houtrib-Zuid voor stormperiode januari 2007 met ruimtelijk variërende wind voor (WAQUA j10) – (D-Flow FM j10), (D-Flow FM j10) – (D-Flow FM j17) en (D-Flow FM j17) – (D-Flow FM j18).

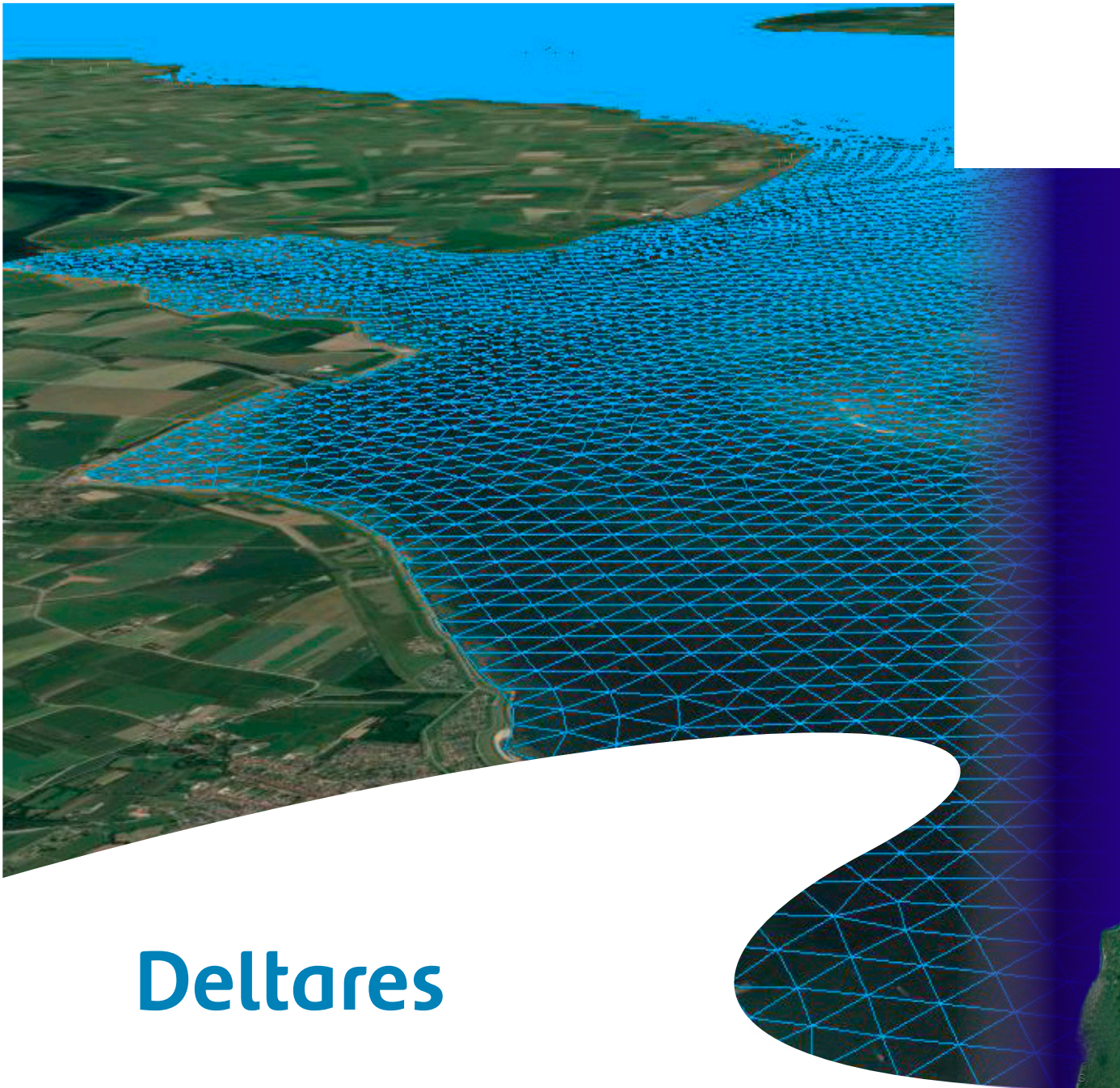
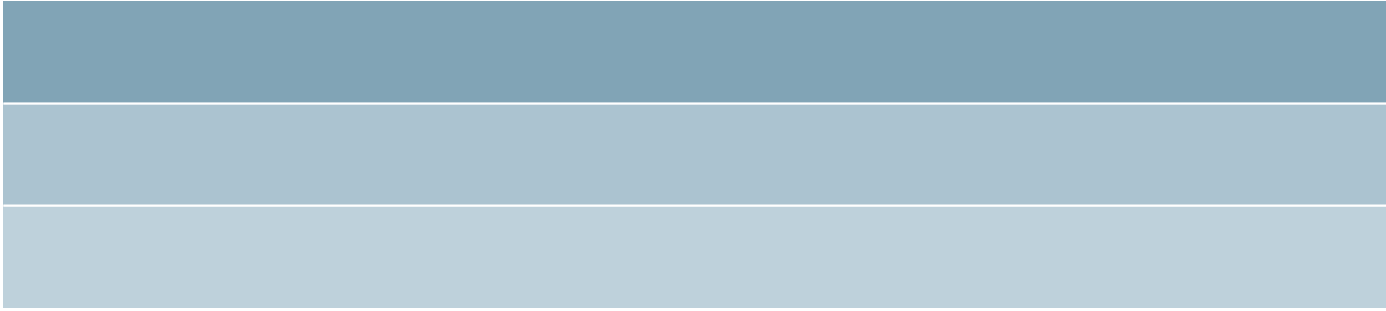
K Maatregellijsten

Tabel K.1 Aanmaken van de Markermeer Baseline schematisaties

Referentie		Maatregelen		Variant
j10_5-v1	+	mm_bath16_a1 mm_bath17_a1	=	j17_5-v1
j10_5-v1	+	mm_bath16_a1 mm_bath17_a1 mm_markwad_a1	=	j18_5-v1
j10_5-v1	+	mm_bath16_a1 mm_bath17_a1 mm_bath18_a1 mm_nwmw18_a1 mm_tgbat18_a1 mm_houtd18_a1 mm_hmbat18_a1 mm_slp2019_a1 mm_houtrd_a1 mm_markwad_a1 mm_wptMW19_a1 mm_ijbrg19_a1 mm_corrhav_a1	=	J19_5-v1

Tabel K.2 Aanmaken van de Veluwerandmeren Baseline schematisaties

Referentie		Maatregelen		Variant
j10_5-v1_ori	+	vrm_bath17_a1 VRM_hrdwk_a1 vrm_rvdiep_a1 vrm_bath18_a1 vrm_edit18_a1	=	j18_5-v1



Deltares