

# Acceptatietesten D-Flow Flexible Mesh

Onderdeel van D-HYDRO Suite 2016

Erik de Goede  
Aukje Spruyt  
Firmijn Zijl

1205718-000



**Titel**

Acceptatietesten D-Flow Flexible Mesh

<b>Opdrachtgever</b>	<b>Project</b>	<b>Kenmerk</b>	<b>Pagina's</b>
Rijkswaterstaat	1205718-000	1205718-000-DSC-0144	46

**Trefwoorden**

Next Generation Hydro Software, D-HYDRO Suite 2016, D-Flow Flexible Mesh, Simona, D-HYDRO GUI

**Samenvatting**

Rijkswaterstaat WVL en Deltares hebben afspraken gemaakt over de migratie van Simona naar D-Flow Flexible Mesh, dat onderdeel is van de D-HYDRO Suite 2016. Hierbij dient voor een aantal praktijkmodellen aangetoond te worden dat de modelresultaten en doorlooptijden van Simona en D-Flow Flexible Mesh voldoende overeenkomen. Hiervoor zijn zeven modelschematisaties gebruikt, namelijk DCsMv6-ZUNOV4, Maas, RijnMaasMonding, Waal, Scalooft, IJssel-Vechtdelta en DCsMv6. Hiervoor zijn Simona modelschematisaties één-op-één geconverteerd naar D-Flow Flexible Mesh (Fase 1). Bovendien is een aantal modelschematisaties geoptimaliseerd door een ongestructureerd rooster toe te passen (Fase 2). Al deze modelschematisaties draaien in het D-HYDRO GUI, zodat op een eenvoudige manier de modelinvoer aangepast kan worden.

De onderlinge vergelijking van waterstanden, snelheden en debieten tussen Simona en D-Flow Flexible Mesh voor de zeven acceptatiemodellen laat zien dat de modelresultaten in het algemeen behoorlijk tot goed overeenkomen. Bij kunstwerken komen wel verschillen van enige omvang voor. Hiervoor is een nadere analyse uitgevoerd om de verschillen te kunnen verklaren.

Qua doorlooptijd is D-Flow Flexible Mesh een factor 1,25 tot 8 trager dan Simona. Dit verschilt per modeltoepassing en hangt ook sterk af van het aantal toegepaste cores (parallel rekenen). Deze factor wordt verklaard door de extreem hoge efficiëntie van de Simona programmatuur in combinatie met optimaal geheugengebruik en het feit dat het numerieke schema van Simona (ADI) optimaal gebruik maakt van het gestructureerde rooster. Dit laatste is met D-Flow Flexible Mesh niet mogelijk. Door gebruik van ongestructureerde roosters, of inzet van snellere hardware en/of het inzetten meer cores kan dit verschil aanzienlijk verkleind worden. Voor sommige applicaties kunnen de doorlooptijden van D-Flow FM en WAQUA zelfs vergelijkbaar worden.

**Referenties**

NGHS-Functionaliteitenoverzicht (versie 46 d.d. 15-9-2015)

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1.0	Sept.. 2015	Erik de Goede, Aukje Spruyt, Firmijn Zijl		Hans van Putten Jaco Stout		Arthur Baart	
<hr/>							
<hr/>							
<hr/>							

**Status**

definitief



## Inhoud

<b>1</b>	<b>Introductie</b>	<b>1</b>
1.1	Inleiding	1
1.2	Vraagstelling en acceptatiecriteria	1
1.3	Onderzochte modelschematisaties	1
1.3.1	<i>Fase 1</i>	2
1.3.2	<i>Fase 2</i>	2
1.4	D-HYDRO GUI	3
1.5	Modelsettings	3
1.6	Leeswijzer	3
1.7	Projectteam	4
<b>2</b>	<b>Vergelijking van Waal model (Fase 1)</b>	<b>5</b>
2.1	Beknopte beschrijving modelschematisatie	5
2.2	Beschrijving scenario(s)	6
2.3	Modelresultaten	6
2.3.1	<i>Scenario 1c</i>	6
2.3.2	<i>Scenario 2</i>	7
2.3.3	<i>Scenario 3</i>	8
2.4	Conclusies	8
<b>3</b>	<b>Vergelijking van RijnMaasMonding model (Fase 1)</b>	<b>9</b>
3.1	Beknopte beschrijving modelschematisatie	9
3.2	Beschrijving scenario(s)	10
3.3	Modelresultaten	11
3.4	Conclusies	11
<b>4</b>	<b>Vergelijking van Maas model (Fase 1)</b>	<b>12</b>
4.1	Beknopte beschrijving modelschematisatie	12
4.2	Beschrijving scenario(s)	13
4.3	Modelresultaten	13
4.3.1	<i>Scenario 1</i>	13
4.3.2	<i>Scenario 2</i>	15
4.4	Conclusies	15
<b>5</b>	<b>Vergelijking van DCSMv6-ZUNOV4 model (Fase 1)</b>	<b>16</b>
5.1	Beknopte beschrijving modelschematisatie	16
5.2	Beschrijving scenario(s)	17
5.3	Modelresultaten	17
5.3.1	<i>Nederlandse kustlocaties</i>	17
5.3.2	<i>Nederlandse estuaria en Waddenzee</i>	18
5.4	Conclusies	18
<b>6</b>	<b>Vergelijking van Scalooost model (Fase 1)</b>	<b>19</b>
6.1	Beknopte beschrijving modelschematisatie	19
6.2	Beschrijving scenario(s)	20
6.3	Modelresultaten	20
6.3.1	<i>Scenario zonder kunstwerken</i>	20

6.3.2	<i>Scenario met kunstwerken</i>	21
6.4	Conclusies	22
<b>7</b>	<b>Vergelijking van IJssel-Vechtdeltamodel (Fase 1)</b>	<b>23</b>
7.1	Beknopte beschrijving modelschematisatie	23
7.2	Beschrijving scenario(s)	24
7.3	Modelresultaten	24
7.4	Conclusies	24
<b>8</b>	<b>Vergelijking van DCSMv6 model (Fase 1)</b>	<b>25</b>
8.1	Beknopte beschrijving modelschematisatie	25
8.1.1	<i>Nederlandse kustlocaties</i>	26
8.1.2	<i>Nederlandse estuaria en Waddenzee</i>	26
8.2	Conclusies	27
<b>9</b>	<b>Vergelijking van geoptimaliseerd Waal model (Fase 2)</b>	<b>28</b>
9.1	Beknopte beschrijving modelschematisatie en scenario	28
9.2	Modelresultaten	29
9.3	Conclusies en aanbeveling	29
<b>10</b>	<b>Vergelijking van geoptimaliseerd Maas model (Fase 2)</b>	<b>30</b>
10.1	Beknopte beschrijving modelschematisatie en scenario	30
10.2	Modelresultaten	30
10.3	Conclusies en aanbevelingen	32
<b>11</b>	<b>Vergelijking van geoptimaliseerd DCSMv6-ZUNOV4 model (Fase 2)</b>	<b>33</b>
11.1	Beknopte beschrijving modelschematisatie en scenario	33
11.2	Modelresultaten	33
11.3	Conclusies	34
<b>12</b>	<b>Vergelijking van geoptimaliseerd DCSMv6model (Fase 2)</b>	<b>35</b>
12.1	Beknopte beschrijving modelschematisatie en scenario	35
12.2	Modelresultaten	35
12.3	Conclusies	35
<b>13</b>	<b>Doorlooptijden voor de modelschematisaties</b>	<b>36</b>
13.1	Doorlooptijden voor fase 1 modelschematisaties	36
13.2	Hoofdconclusies voor rekenperformance in fase 1 (1-op-1 geconverteerde modellen)	38
13.3	Nadere beschouwing rekenperformance van WAQUA, FM en Delft3D-FLOW	39
13.4	Doorlooptijden voor fase 2 modelschematisaties	40
<b>14</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>41</b>
14.1	Conclusies	41
14.1.1	<i>Stand van zaken koppeling van D-Flow FM met D-RTC</i>	41
14.2	Aanbevelingen voor mogelijke versnellingen van de rekenperformance	42
<b>15</b>	<b>Referenties</b>	<b>43</b>
<b>16</b>	<b>Bijlage 1: aanvullend onderzoek naar verschillen bij kunstwerken</b>	<b>44</b>







# 1 Introductie

## 1.1 Inleiding

In het Next Generation Hydro Software (NGHS) project zijn twee nieuwe modelsystemen ontwikkeld op basis van het zogeheten Delta Shell framework, te weten SOBEK 3 en D-HYDRO Suite 2016. SOBEK 3 is al door Rijkswaterstaat geaccepteerd en wordt inmiddels toegepast bij nieuwe SOBEK modelschematisaties. Het voorliggende rapport beschrijft de bevindingen van de acceptatie van de D-HYDO Suite met het nieuwe 2D-3D rekenhart D-Flow Flexible Mesh (hierna te noemen D-Flow FM).

Een onderdeel van de acceptatie is voor een aantal praktijkmodellen aantonen dat de modelresultaten van Simona en D-Flow FM voldoende overeenkomen. Hiervoor zijn zeven modelschematisaties geselecteerd, namelijk DCSMv6-ZUNOV4, Maas, RijnMaasMonding, Waal, IJssel-Vechtdelta, Scaloot en DCSMv6. Dit zijn 2D (diepte-gemiddelde) modelschematisaties, die zijn doorgerekend met de WAQUA rekenmodule van Simona.

## 1.2 Vraagstelling en acceptatiecriteria

De centrale vraagstelling van dit adviesrapport luidt:

Levert D-Flow FM bij hydrodynamische simulaties vergelijkbare prestaties als Simona, zodat Simona te zijner tijd vervangen kan worden door D-Flow FM voor het maken van modelsimulaties van de watersystemen van Rijkswaterstaat?

De criteria voor acceptatie van het 2D en 3D NGHS instrumentarium door RWS zijn in 2013 in samenspraak met RWS opgesteld in het acceptatietestplan [1]. Voor de acceptatiemodellen gelden de volgende acceptatiecriteria:

- De verschillen in de resultaten worden verklaard.
- De verschillen zijn zodanig (klein) dat deze bij de kalibratie acceptabel zullen zijn.
- De doorlooptijd (wall-clock, op vergelijkbare hardware en met vergelijkbare resolutie in plaats (grid) en tijd) van de naar D-Flow FM operationale RWS-modellen moet binnen de hiervoor afgesproken time slots vallen.

Voor de rekenperformance geldt het volgende: "Deltares streeft naar een optimale performance op single-node en een optimale schaalbaarheid op meerdere nodes. Dit houdt in dat, formeel gezien, in het NGHS-project er geen kwantitatieve criteria voor de rekenperformance van D-Flow FM zijn vastgelegd.

## 1.3 Onderzochte modelschematisaties

De vergelijking is uitgevoerd voor zeven referentiemodellen. Per model c.q. scenario is een testrapport opgesteld. Het betreft de volgende modellen:

- Waal (NB. dit is een uitsnede van het Rijntakken model)
- Maas
- Rijn-Maasmonding (RMM)
- DCSMv6-ZUNOV4
- Scaloot
- IJsselVechtdelta

Als extra acceptatiemodel is door Deltares aangeleverd:

- DCSMv6

Voor WAQUA wordt gebruik gemaakt van de Simona 2014 release patch 6 (en dus niet met de versie waarmee de modellen ooit gekalibreerd zijn).

De doorlooptijden zullen voor een verschillend aantal cores gepresenteerd worden, zodat een indruk verkregen kan worden van de parallelle efficiëntie (lees schaalbaarheid). Uiteindelijk gaat het om de rekensnelheid op een 'typische' RWS-configuratie. Dit betekent dat de rekentijd op 12 of 16 cores maatgevend zal zijn.

### 1.3.1 Fase 1

In fase 1 zijn de WAQUA modellen 1-op-1 omgezet naar D-FLOW FM (met behulp van conversie-scripts). Hierdoor worden alleen de effecten van de overstap op andere software in beeld gebracht. Hierbij wordt een kromlijng rooster toegepast. Er wordt geen roosteroptimalisatie of kalibratie van de D-FLOW FM modellen toegepast.

### 1.3.2 Fase 2

In fase 2 is voor de Waal, de Maas, het DCSMv6-ZUNOV4 en het DCSMv6-model het rooster geoptimaliseerd. Per model is er één scenario doorgerekend. De volgende stappen worden uitgevoerd:

- 1) Roostergeneratie: er wordt een ongestructureerd D-Flow FM rooster gegenereerd met RGFRID.
- 2) Modelgeneratie: Met Baseline wordt de geografische modelinvoer (bathymetrie, vegetatie, overlaten, schotjes,..) gegenereerd. Overige invoer, zoals tijdsafhankelijke modelinvoer voor open randen en lozingen, is al beschikbaar uit het één-op- één geconverteerde D-FLOW FM model.
- 3) Modelsimulatie; vervolgens wordt er een D-Flow FM simulatie uitgevoerd en worden de resultaten vergeleken met de Fase 1 modelresultaten.

Stappen 2) en 3) worden ook uitgevoerd met het originele kromlijng rooster dat in Fase 1 is toegepast. Dit betekent dat simulaties voor drie modelschematisaties met elkaar vergeleken worden:

- a) Model met kromlijng rooster (Fase 1; 1-op-1 geconverteerd vanuit het Simona model)
- b) Model met kromlijng rooster met modelinvoer gegenereerd door Baseline;
- c) Model met geoptimaliseerd ongestructureerd rooster met gegenereerd door Baseline.

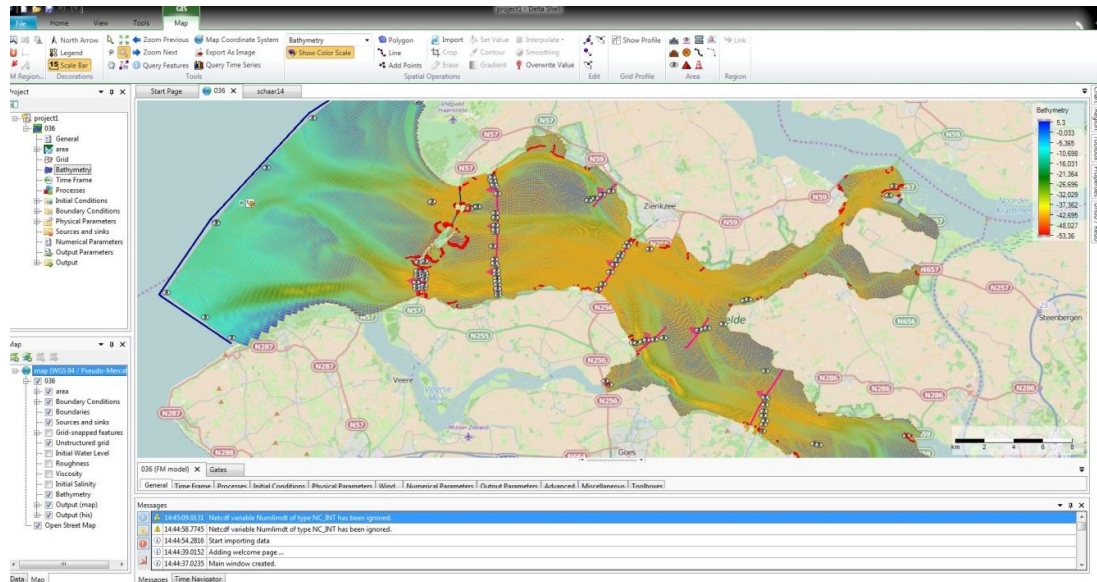
De volgende aanpak is toegepast voor roosteroptimalisatie:

- Het rooster wordt zodanig aangepast dat de roosterlijnen in het zomerbed curvilineair zijn en zoveel mogelijk de normaallijnen volgen. De resolutie die hierbij wordt toegepast is analoog aan die van de huidige roosters (ongeveer 40x20 m). In het winterbed wordt een resolutie van ongeveer 40x40 m aangehouden, waarbij een rechthoekig rooster wordt toegepast. Het tussenliggende gebied wordt met driehoeken opgevuld.

Het is niet het doel om een 'optimaal' rooster te genereren (bijv. qua ligging dijken, kades of andere constructies), maar een versie die voldoet aan bovenstaande eisen. De resultaten qua waterbeweging moeten ongeveer vergelijkbaar zijn aan die op het oorspronkelijke rooster. Het belangrijkste doel is inzicht te verkrijgen met welke factor de doorlooptijd verkleind kan worden bij roosteroptimalisatie.

## 1.4 D-HYDRO GUI

Alle modelschematies zijn in te inspecteren in de D-HYDRO GUI; zie Figuur 1.1. Via de D-HYDRO GUI zijn modelschematisaties veel eenvoudiger te wijzigen en te inspecteren dan in de huidige Simona en Delft3D grafische user interfaces.



Figuur 1.1 Illustratie van D-HYDRO GUI

## 1.5 Modelsettings

In D-FLOW FM zijn een groot aantal mogelijkheden voor het specificeren van de modelparameters. Zo kan de bodem op een verschillende manieren worden ingevoerd. Om een zo groot mogelijke overeenkomst met de Simona invoer te bewerkstelligen, moeten de volgende parameterkeuzes gemaakt worden in D-FLOW FM:

BedlevType = 3  
 Conveyance2D = -1  
 UnifFrictType = 3

AdvecType = 33

FixedWeirScheme = 6

Aan het einde van het NGHS project is ook een Tabellenboek-aanpak voor overlaten en kribben geïmplementeerd. Bij de rivieracceptatiemodellen (Waal, Maas) is een extra simulatie doorgerekend waarbij deze optie (FixedWeirScheme=8) is toegepast.

## 1.6 Leeswijzer

In Hoofdstukken 2 t/m 8 worden de resultaten beschreven voor de 1-op-1 van Simona naar DHFM geconverteerde modelschematisaties. Hierbij worden de kromlijnige roosters van de Simona modelschematisaties toegepast.

In Hoofdstukken 9 t/m 12 worden resultaten beschreven voor modelschematisaties van de Waal, de Maas, het DCSMv6-ZUNOV4 en het DCSMv6-model –met geoptimaliseerd (flexible mesh) rooster.

Hoofdstuk 13 gaat in op de doorlooptijden.

Hoofdstuk 14 bevat de conclusies en aanbevelingen.

## **1.7 Projectteam**

Bij Deltares zijn de acceptatietesten uitgevoerd door Erik de Goede, Firmijn Zijl, Aukje Spruyt, Meinard Tiesen, Dick Verploegh, Theo van der Kaaij, Remco Plieger, Sanjay Giri, Jurjen de Jong, Mohamed Yossef en Klaudia Horváth. De review is uitgevoerd door Jaco Stout en Hans van Putten.

## 2 Vergelijking van Waal model (Fase 1)

### 2.1 Beknopte beschrijving modelschematisatie

Er is een uitsnede van het Rijntakkenmodel (WAQUA-rijn-j95-v1) genomen, van Werkendam tot aan de Pannerdenschen Kop. In Figuur 2.1 is het totale Rijntakkenmodel in D-Flow FM weergegeven. Figuur 2.2 toont een uitsnede bij Nijmegen.



Figuur 2.1 Overall modelschematisatie Rijntakkenmodel



Figuur 2.2 Uitsnede Waal modelschematisatie; bij Nijmegen



## 2.2 Beschrijving scenario(s)

De volgende scenario's zijn doorgerekend::

- **Scenario 1:** steady state simulaties met een debiet van 10165 m<sup>3</sup>/s bovenstrooms op de Waal (overeenkomstig 16.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith);  
Hiervoor zijn de volgende deelscenario's doorgerekend:
  - 1a) geen overlagen, geen vegetatie;
  - 1b) geen overlagen en wel vegetatie;
  - 1c) wel overlagen en vegetatie.
- **Scenario 2:** steady state simulatie met een debiet van 7780 m<sup>3</sup>/s bovenstrooms op de Waal (overeenkomstig 12.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith)
- **Scenario 3:** drie maandsimulatie voor hoogwater 1995 (1-12-94 t/m 28-2-95).

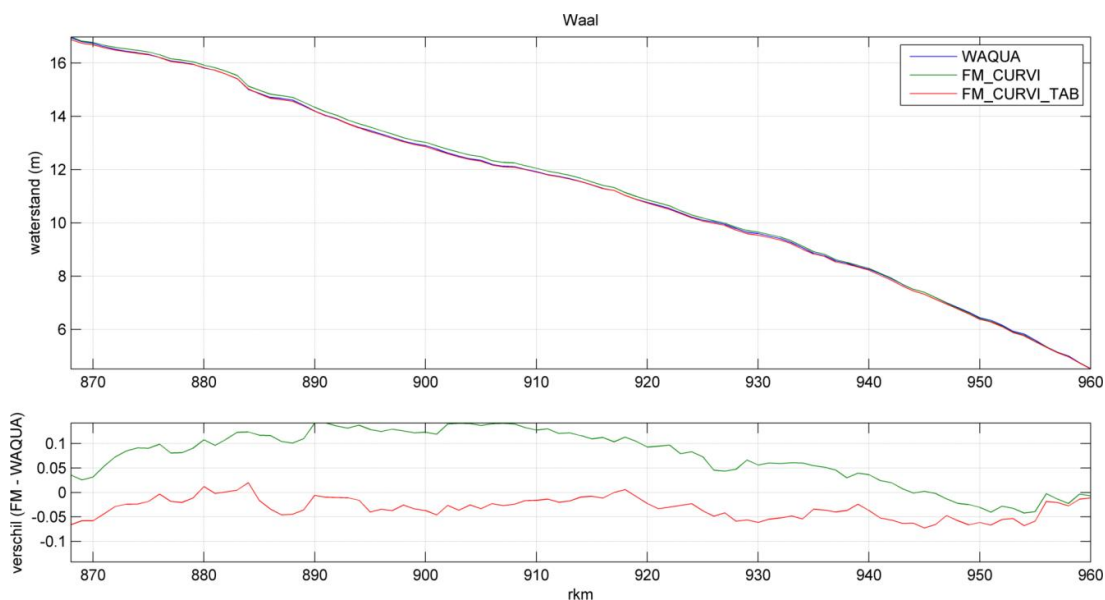
Modelvereenvoudigingen:

- geen

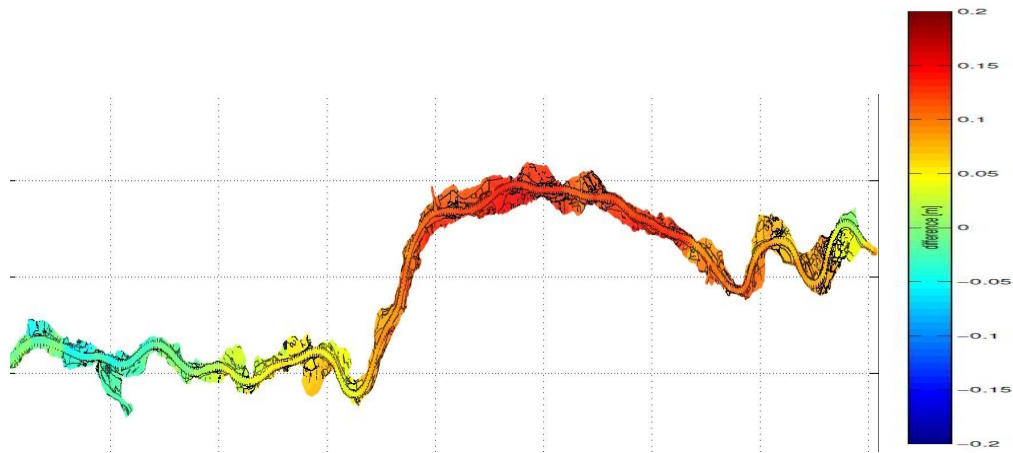
## 2.3 Modelresultaten

### 2.3.1 Scenario 1c

Deze simulatie betreft een steady state simulatie met een debiet van 10165 m<sup>3</sup>/s bovenstrooms op de Waal.



Figuur 2.3 Boven: Waterstandsverhang op de rivieras op de Waal voor WAQUA (in blauw), voor D-Flow FM met standaardaanpak (in groen) en voor D-Flow FM met Tabellenboek (in rood).  
Onder: Waterstandsverschil met WAQUA op de riviera; voor D-Flow FM met standaardaanpak (in groen) en voor D-Flow FM met Tabellenboek (in rood).

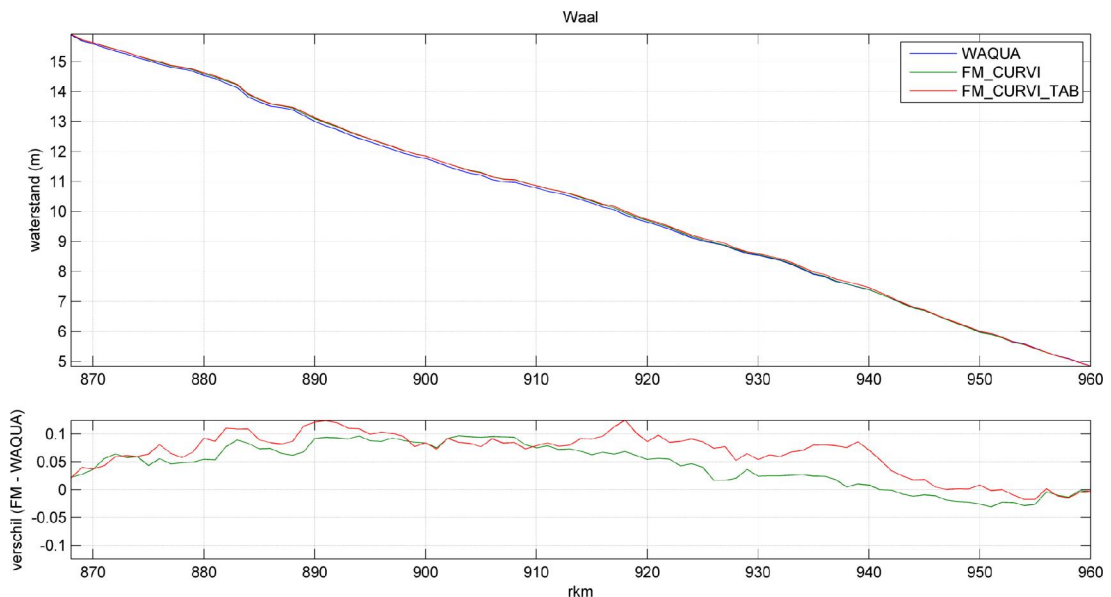


Figuur 2.4 Waterstandsverschil mapplot van de stationaire modeloplossing; verschil tussen D-Flow FM en WAQUA

Voor scenario's 1a en 1b worden geen resultaten getoond. Dit zijn scenario's zonder overlaten. Voor deze scenario's zijn de modelresultaten voor D-Flow FM en WAQUA zo goed als identiek. Hieruit kan geconcludeerd worden dat verschillen die optreden veroorzaakt worden door een andere afhandeling van overlaten.

### 2.3.2 Scenario 2

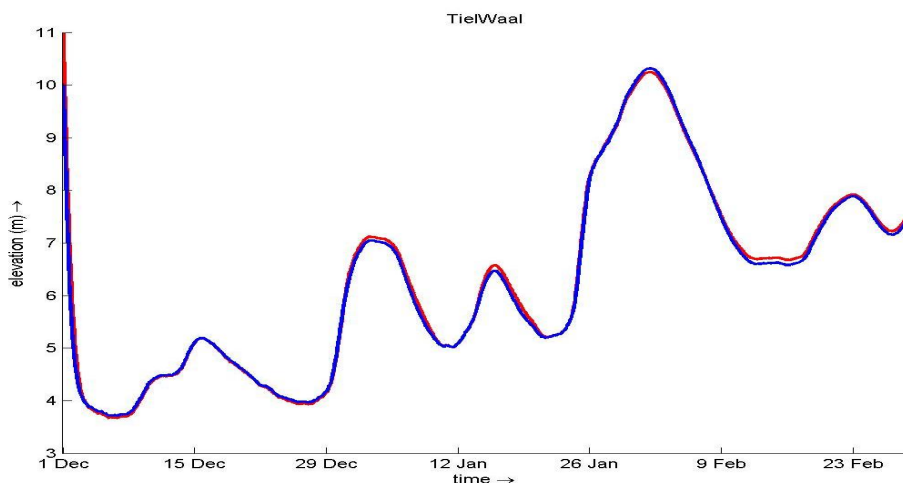
In dit scenario wordt in vergelijking met scenario 1 een lager debiet toegepast op de bovenstroomse rand. De resultaten zijn echter vergelijkbaar; zie Paragraaf 2.4 met de conclusies.



Figuur 2.5 Boven: Waterstandsverhang op de rivieras op de Waal voor WAQUA (in blauw), voor D-Flow FM met standaardaanpak (in groen) en voor D-Flow FM met Tabellenboek (in rood).  
Onder: Waterstandsverschil met WAQUA op de rivieras; voor D-Flow FM met standaardaanpak (in groen) en voor D-Flow FM met Tabellenboek (in rood).

### 2.3.3 Scenario 3

Deze simulatie betreft een drie maandsimulatie voor hoogwater 1995 van 1 december 94 tot 28 februari 1995.



Figuur 2.6 Waterstand bij Tiel voor WAQUA (in rood), voor D-Flow FM met standaardaanpak (in blauw)

Uit Figuur 2.6 blijkt dat D-Flow FM en WAQUA een vergelijkbaar verloop van het hoogwater laten zien. Bij de toppen en dalen zijn de verschillen maximaal zo'n 10 cm.

## 2.4 Conclusies

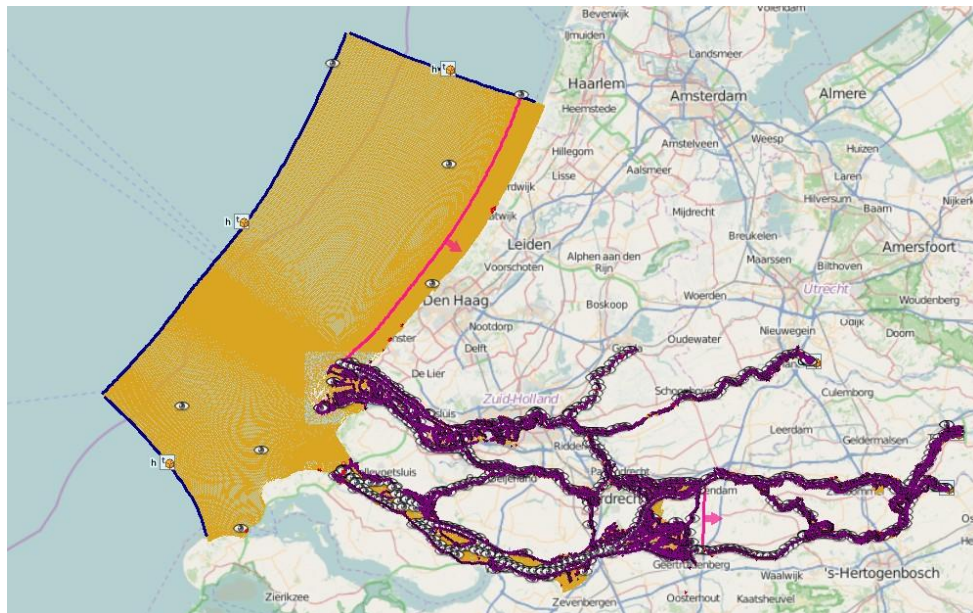
- Bij dit Waal-acceptatiemodel komen de met D-Flow FM en WAQUA berekende waterstanden in het algemeen goed overeen. Zowel bij een extreem stationair hoogwater als bij een dynamische afvoerverdeling zijn de verschillen maximaal zo'n 10 cm.
- Dit is van toepassing voor de optie FixedWeirScheme=6 van D-Flow FM, waarbij het energieverlies door overlaten via de advectietermen berekend wordt.
- D-Flow FM bevat ook de Tabellenboek-optie (FixedWeirScheme=8) voor overlaten. Dan zijn de verschillen kleiner dan 10 cm.



### 3 Vergelijking van RijnMaasMonding model (Fase 1)

#### 3.1 Beknopte beschrijving modelschematisatie

Het WAQUA-rmm-j98-v1 model is geconverteerd naar D-Flow FM. Het gehele modelgebied is weergegeven in Figuur 3.1, terwijl Figuur 3.2 de schematisatie voor de Maasvlakte illustreert.



Figuur 3.1 Overall modelschematisatie;



Figuur 3.2 Uitsnede modelschematisatie; bij Maasvlakte-2

Modelvereenvoudigingen:

- Kunstwerken zijn alleen met een drempel (SILL) gemodelleerd. De schuif (GATE) zit wel in het model, maar hangt in de lucht en heeft dus geen invloed op de modelresultaten.

### 3.2 Beschrijving scenario(s)

Er is één scenario uitgevoerd met het WAQUA-rmm-j98-v1 model, namelijk een zogeheten kalibratierun. De berekeningen zijn uitgevoerd voor de periode van 1 augustus tot 15 november 1998, waarvan de eerste vijf dagen gebruikt worden voor inspelen. De resultaten, vergeleken met waterstandsmetingen, worden getoond voor de periode tot 13 september, omdat in deze periode de Haringvlietsluizen dicht waren. In beide berekeningen zijn de Haringvlietsluizen gedurende de gehele berekening in de gesloten toestand.

	bias		std <sub>opzet</sub>		RMSE <sub>opzet</sub>		RMSE <sub>getij</sub>		RMSE <sub>totaal</sub>	
HARVT10	-1.1	-1.5	3.5	3.4	3.6	3.7	1.9	2.1	4.5	4.6
SCHEVNGN	-2.5	-3.3	2.3	2.4	3.4	4.1	2.4	2.4	4.3	4.7
BROUWHVS.	-2.8	-2.7	2.8	2.9	3.9	3.9	1.3	1.4	4.1	4.1
LICHTELGRE	-3.8	-4.1	2.1	2.2	4.3	4.7	2.2	2.2	4.9	5.2
HOEKVHLD	-3.1	-9.8	2.4	2.7	3.9	10.2	2.1	3.7	4.3	10.7
MAASSS	0.5	-12.1	2.7	3.1	2.7	12.5	3.0	3.2	3.9	12.7
VLAARDGN	1.9	-14.4	2.9	3.4	3.5	14.8	3.1	3.9	4.3	15.0
ROTTDM	0.2	-18.5	3.4	3.4	3.4	18.8	3.1	3.5	4.2	19.0
KRIMPADIJSL	2.2	-16.6	3.8	3.7	4.4	17.1	3.2	4.3	4.3	17.2
KRIMPADLK	3.7	-15.4	3.9	3.9	5.4	15.9	2.1	2.3	5.2	15.8
DORDT	4.2	-15.1	5.5	5.6	6.9	16.1	4.9	4.8	5.4	15.5
SPIJKNSE	1.2	-15.2	3.0	3.5	3.2	15.6	2.7	3.2	4.2	15.7
GOIDSOD	3.3	-15.4	3.8	4.2	5.0	15.9	2.2	2.9	5.0	15.8
MOERDK	2.9	-16.4	6.4	6.3	7.1	17.6	4.5	4.4	5.0	16.9
RAKND	3.1	-16.1	6.1	5.9	6.9	17.2	4.3	4.2	5.1	16.7
HELLVSS	0.0	-19.0	5.4	5.1	5.4	19.7	4.0	4.1	4.3	19.5
SCHOONHVN	5.3	-12.8	5.1	4.7	7.3	13.6	1.2	1.9	7.4	13.7
HAGSBNDN	8.7	-9.8	8.9	7.6	12.4	12.4	2.2	3.0	12.6	12.8
WERKDBTN	4.4	-14.4	4.8	4.5	6.5	15.0	2.1	2.1	6.2	14.9
VURN	6.7	-11.0	5.0	4.4	8.4	11.9	1.8	1.6	8.4	11.9
ZALTBML	21.8	10.2	6.0	4.6	22.6	11.2	1.0	1.8	22.6	11.3
TIELWL	12.0	14.2	5.2	4.2	13.1	14.8	0.8	1.5	13.1	14.8
KEIZVR	5.4	-14.0	6.6	6.4	8.5	15.4	3.9	4.0	7.4	14.9
HEESBN	8.1	-12.2	7.4	6.6	11.0	13.9	2.0	1.4	10.9	13.8
LITHDP	12.8	-6.7	10.6	8.4	16.6	10.7	2.5	2.6	16.7	11.0
gemiddeld	3.8	-10.1	4.8	4.5	7.2	13.1	2.6	2.9	7.1	13.1
RMS	6.8	13.0	5.2	4.8	8.6	13.8	2.8	3.1	8.5	13.8

Tabel 3.1 Kwaliteit van de waterstandrepresentatie van de berekening met WAQUA (A06) en D-Flow FM (A32) voor de periode 6 augustus tot 13 september 1998 (in termen van bias, standaardafwijking en RMSE, in cm, inclusief het gemiddelde en de RMS van deze waarden over de getoonde stations).

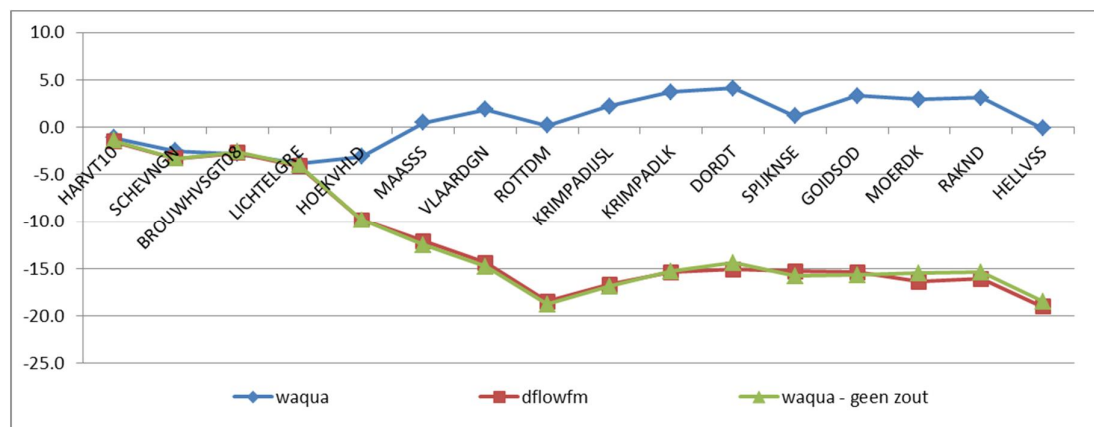
### 3.3 Modelresultaten

Om beter inzicht te krijgen in de verschillen in waterstandrepresentatie is een opsplitsing gemaakt in getij en opzet. De fout in de opzet is verder opgesplitst in een systematische fout (bias) en de variabiliteit van de fout in de opzet ( $\text{std}_{\text{opzet}}$ ).

### 3.4 Conclusies

Uit Tabel 3.1 kan het volgende worden geconcludeerd:

- De kwaliteit van de getijrepresentatie neemt gemiddeld genomen iets af (van 3,1 cm naar 2,8 cm). Dit ligt binnen het bereik van wat te verwachten is bij het gebruik van andere simulatiesoftware en is vermoedelijk met een beperkte kalibratie weer op het oorspronkelijke niveau te krijgen.
- De kwaliteit van de opzetrepresentatie verslechtert over het algemeen bij het gebruik van D-Flow FM. Dit wordt veroorzaakt door een toenemende systematische fout (gemiddeld van 6,8 cm naar 13,0 cm).
- Nadere analyse van de systematische fout in het verhang (opzet) leert dat dit veroorzaakt wordt door het niet meenemen in deze simulatie van het effect de barocliene drukgradiënt. Dit wordt bevestigd door de resultaten van een additionele WAQUA berekening (A07) waar zout (en dus de barocliene drukgradiënt) niet wordt meegenomen (zie Figuur 3.3).
- In een update van dit rapport zullen resultaten getoond worden voor een D-Flow FM simulatie waarin de barocliene drukgradiënt wel is meegenomen.
- Op hoofdlijnen komen de modelresultaten van D-Flow FM en WAQUA behoorlijk overeen. Het is logisch dat de WAQUA modelresultaten nauwkeuriger zijn, omdat de modelinvoer gekalibreerd is voor WAQUA en niet voor D-Flow FM. Voor D-Flow FM is de modelinvoer dus niet optimaal en is dit via kalibratie te verbeteren.

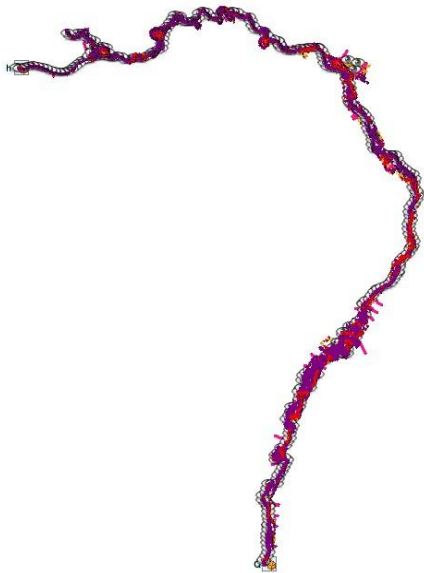


Figuur 3.3 De systematische fout in de opzet voor een selectie van meetlocaties, berekend met WAQUA (A06), D-Flow FM (A32) en WAQUA zonder zout (A07).

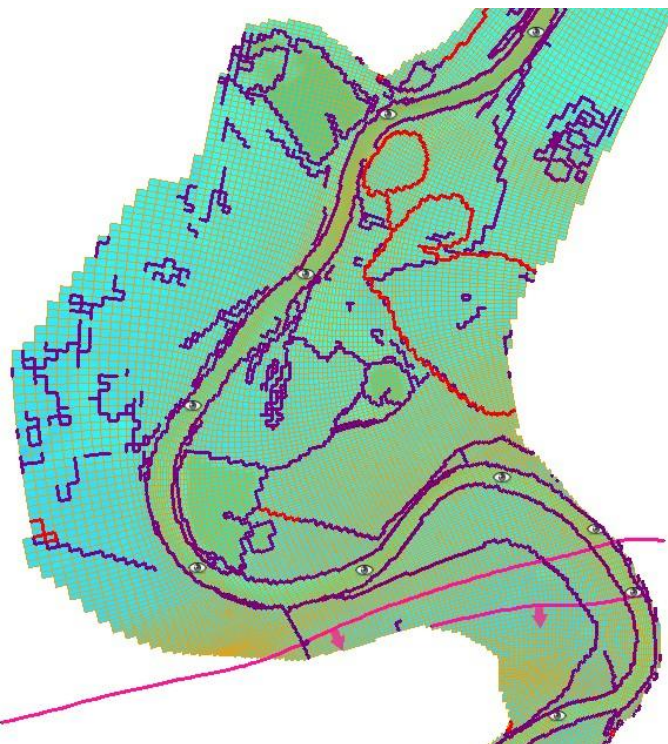
## 4 Vergelijking van Maas model (Fase 1)

### 4.1 Beknopte beschrijving modelschematisatie

Het WAQUA-maas-j95-v1 model. Is geconverteerd naar D-Flow FM, zie Figuur 4.1 en 4.2.



Figuur 4.1 Overall modelschematisatie



Figuur 4.2 Uitsnede modelschematisatie



Modelvereenvoudigingen:

- Kunstwerken alleen met een drempel (SILL) gemodelleerd. De schuif (GATE) zit wel in het model, maar hangt in de lucht.

#### 4.2 Beschrijving scenario(s)

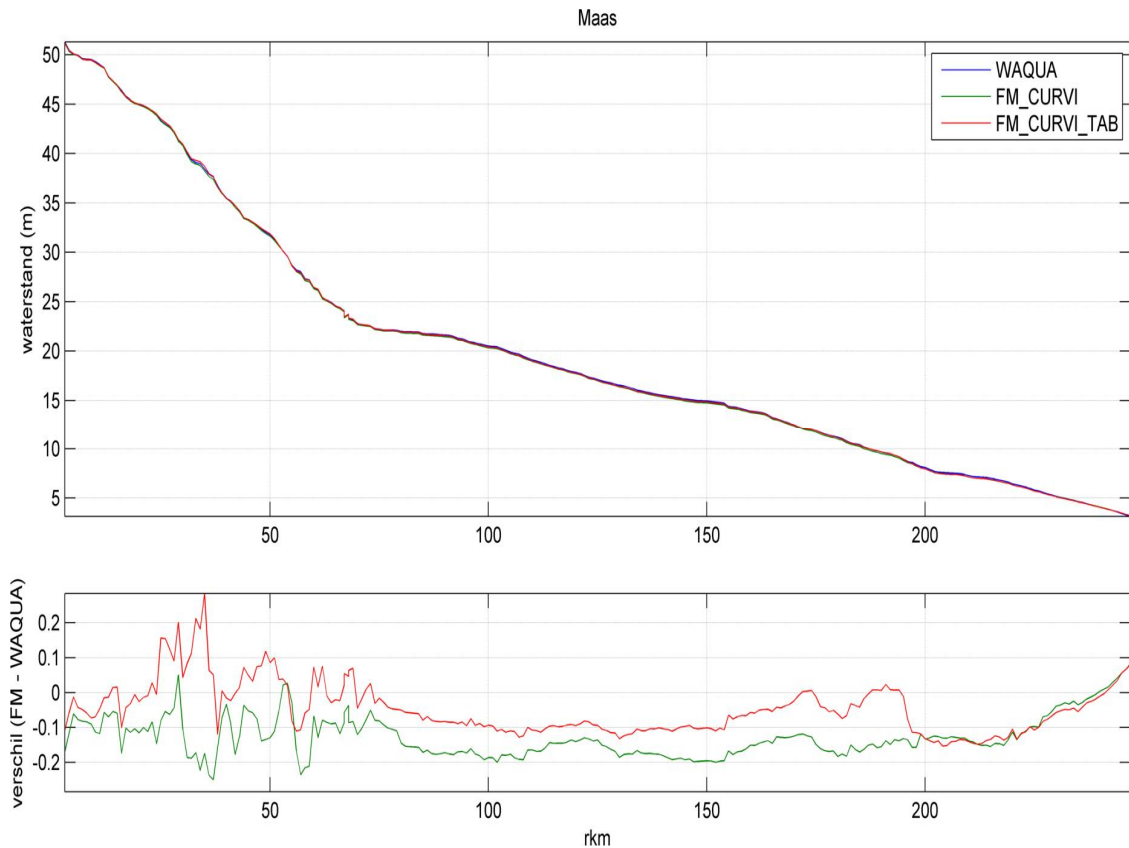
De volgende scenario's zijn doorgerekend met zowel het Simona als het één-op-één-geconverteerde D-Flow FM model:

- Scenario 1: steady state simulatie  $Q=4000 \text{ m}^3/\text{s}$  bovenstrooms bij Eijsden.
- Scenario 2 (kalibratierun): validatieperiode 3 maanden hoogwater 1995 (1 december '94 – 28 februari '95).

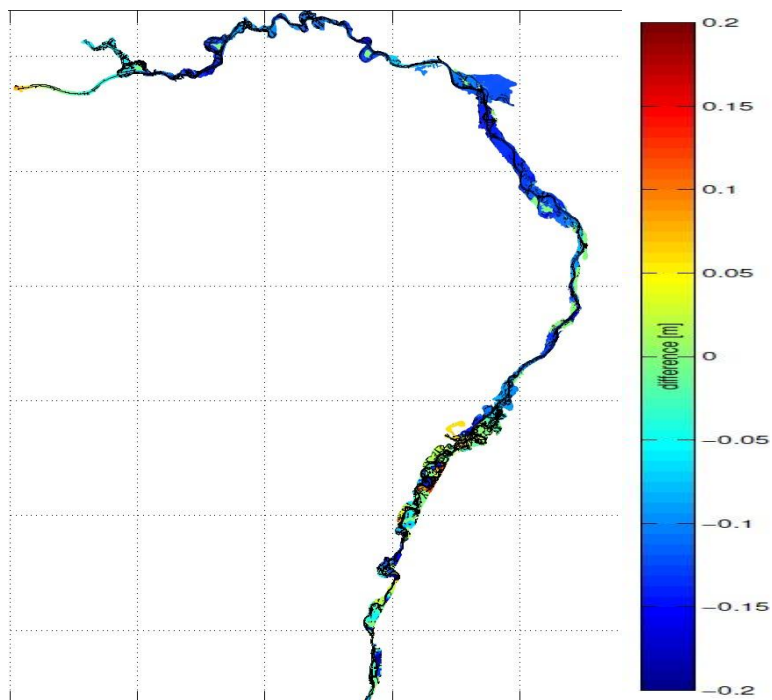
#### 4.3 Modelresultaten

##### 4.3.1 Scenario 1

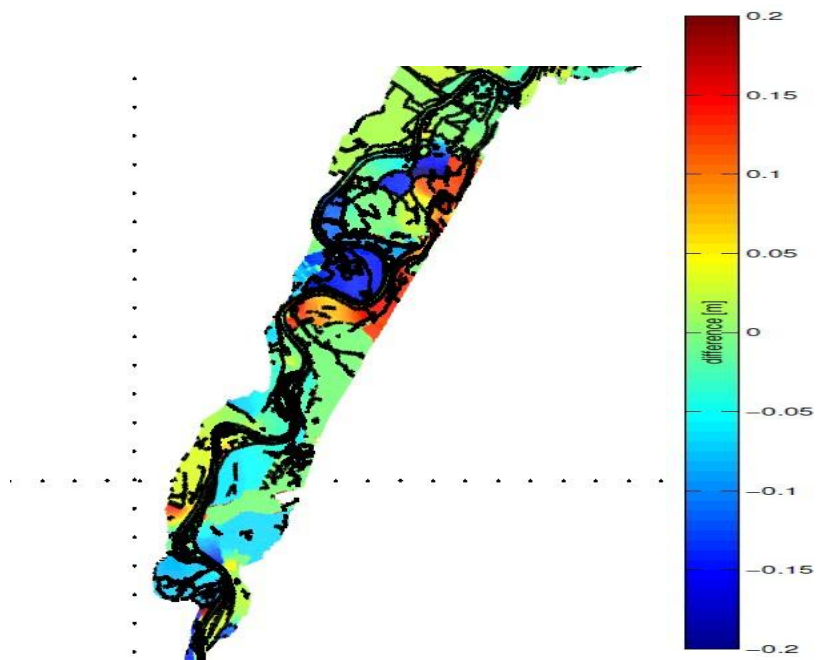
Figuur 4.3 toont de waterstanden langs de rivieras in de Maas voor WAQUA, D-Flow FM met de standaardaanpak voor overlagen ("FM\_CURVI) en voor D-Flow FM waarbij het Tabellenboek is toegepast (FM\_CURVI\_TAB"). Figuren 4.4 en 4.5 bevatten een contourplot met de waterstandsverschillen.



Figuur 4.3 Boven: Waterstandsverhang op de rivieras van de Maas voor WAQUA (in blauw), voor D-Flow FM met standaardaanpak (in groen) en voor D-Flow FM met Tabellenboek (in rood).  
Onder: Waterstandsverschil met WAQUA op de riviera; voor D-Flow FM met standaardaanpak (in groen) en voor D-Flow FM met Tabellenboek (in rood).



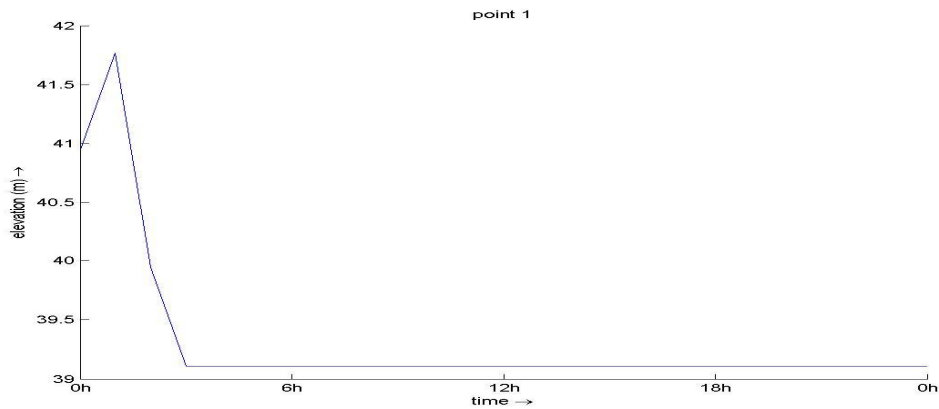
Figuur 4.4 Waterstandsverschil mapplot van de stationaire modeloplossing; verschil tussen D-Flow FM en WAQUA



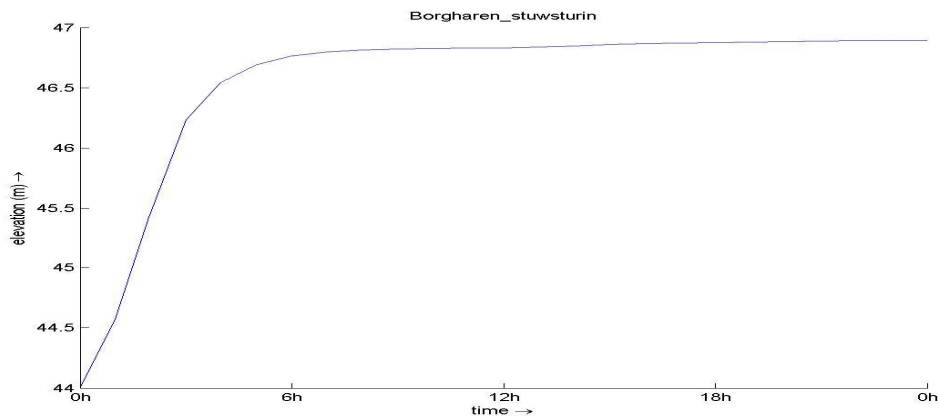
Figuur 4.5 Waterstandsverschil mapplot van de stationaire modeloplossing; verschil tussen D-Flow FM en WAQUA; ingezoomd

#### 4.3.2 Scenario 2

In dit scenario wordt een gekoppelde simulatie met D-Flow FM en D-RTC uitgevoerd. In de onderstaande figuren 4.6 en 4.7 worden de eerste modelresultaten getoond. Hieruit blijkt dat de stuw bij Borgharen aangestuurd wordt via D-RTC.



Figuur 4.6 Hoogte van stuw Borgharen bij gekoppelde simulatie van D-Flow FM met D-RTC voor de Maas



Figuur 4.7 Waterstanden bij stuw Borgharen bij gekoppelde simulatie van D-Flow FM met D-RTC voor de Maas

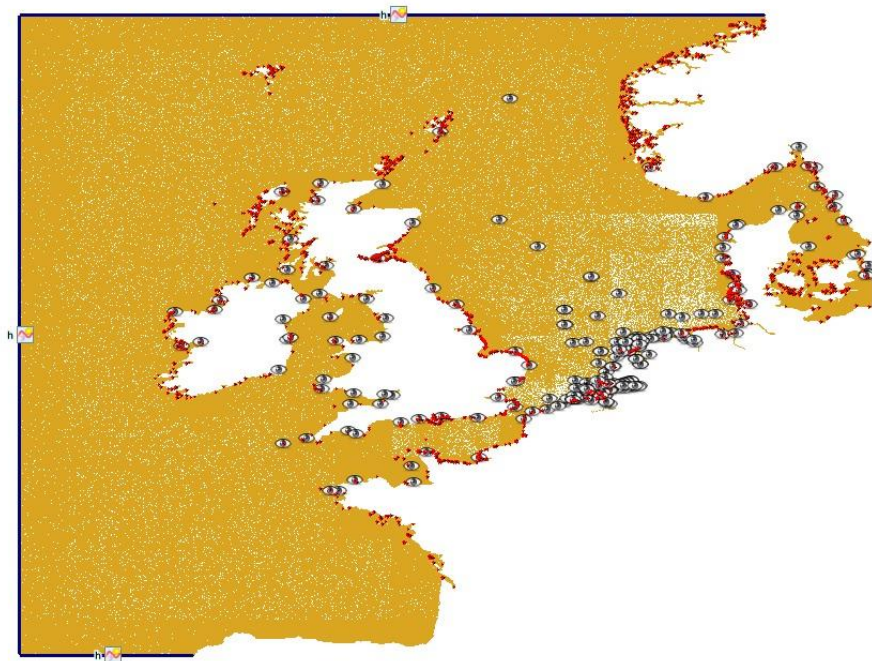
#### 4.4 Conclusies

- Voor de stationaire hoogwatersimulatie zijn de waterstandsverschillen in de orde van maximaal 20 cm.
- Dit komt waarschijnlijk omdat er in het winterbed opvallende verschillen optreden; zie Figuur 4.5. In het ene deel staat er meer water in het D-Flow FM model. In andere delen is het precies andersom. Het is opvallend dat bij de Waal vergelijkbare verschillen zijn in het zomerbed en in het winterbed (zie Figuur 2.4) en voor de Maas niet. Hiervoor is geen verklaring gevonden.
- Het is opvallend dat de met D-Flow FM berekende waterstanden onder die van WAQUA liggen. Dit heeft zeer waarschijnlijk met het bovenstaande bullit te maken
- In een update van dit rapport zullen resultaten getoond worden voor een langere D-Flow FM simulatie voor scenario 2 (met kunstwerken).

## 5 Vergelijking van DCSMv6-ZUNOV4 model (Fase 1)

### 5.1 Beknopte beschrijving modelschematisatie

Het WAQUA-dcsmv6\_zunov4-j13\_5-v1 model is geconverteerd naar D-Flow FM.



Figuur 5.1 Overall modelschematisatie



Figuur 5.2 Uitsnede modelschematisatie; bij koppelrand



Modelvereenvoudigingen:

- Kunstwerken alleen met een drempel (SILL) gemodelleerd. De schuif (GATE) zit wel in het model, maar hangt in de lucht.

## 5.2 Beschrijving scenario(s)

Er is één scenario doorgerekend, te weten een zogeheten kalibratierun van: 25-12-2006 tot 15-1-2007.

## 5.3 Modelresultaten

### 5.3.1 Nederlandse kustlocaties

Station	RMSE tide (cm)			RMSE surge (cm)			RMSE water level (cm)		
	WAQUA	D-Flow FM	(%)	WAQUA	D-Flow FM	(%)	WAQUA	D-Flow FM	(%)
CADZD	4.4	5.8	-32	5.6	5.8	-4	7.1	8.2	-15
WESTKPLE	4.0	6.0	-50	5.3	5.5	-4	6.6	8.1	-23
ROOMPBTN	3.9	9.1	-133	5.3	5.9	-11	6.6	10.8	-64
BROUWHVSGT08	4.0	6.0	-50	5.9	6.0	-2	7.1	8.4	-18
HARVT10	3.9	5.4	-38	5.9	6.0	-2	7.0	8.1	-16
HOEKVHLD	3.8	5.6	-47	5.5	5.7	-4	6.7	8.0	-19
SCHEVNGN	3.6	5.1	-42	6.0	6.0	0	7.1	7.9	-11
IJMDBTHVN	4.3	4.9	-14	6.3	6.2	2	7.6	7.9	-4
PETTZD	4.2	4.2	0	6.2	6.2	0	7.5	7.5	0
K13APFM	3.0	3.4	-13	4.4	4.6	-5	5.3	5.7	-8
TERSLNZE	4.0	3.9	3	6.1	6.4	-5	7.3	7.5	-3
WIERMGDN	4.0	4.7	-18	5.9	6.3	-7	7.1	7.9	-11
HUIBGT	4.3	6.5	-51	6.4	6.7	-5	7.7	9.4	-22
average	4.0	5.4	-35	5.7	5.9	-4	7.0	8.1	-16
<b>RMS</b>	4.0	5.6	-40	5.8	6.0	-3	7.0	8.2	-17

Tabel 5.1 Vergelijking van de kwaliteit van de waterstandrepresentatie (RMSE, bepaald voor het gehele jaar 2007) tussen de berekening met WAQUA en D-Flow FM, op 13 locaties langs de Nederlandse kust (opgesplitst in getij, opzet en totale waterstand).

## 5.3.2 Nederlandse estuaria en Waddenzee

Station	RMSE tide (cm)			RMSE surge (cm)			RMSE water level (cm)		
	WAQUA	D-Flow FM	(%)	WAQUA	D-Flow FM	(%)	WAQUA	D-Flow FM	(%)
Vlissingen	4.7	6.9	-47	5.7	5.9	-4	7.3	9.1	-25
Terneuzen	4.9	7.4	-51	6.0	6.4	-7	7.8	9.8	-26
Roompot Binnen	3.9	36.4	-833	4.9	6.1	-24	6.1	36.8	-503
Stavenisse	3.6	42.4	-1078	5.2	6.9	-33	6.1	42.9	-603
Bergse Diepsluis W.	4.0	46.5	-1063	5.7	8.1	-42	6.8	47.1	-593
Den Helder	3.5	4.0	-14	5.2	5.2	0	6.2	6.5	-5
Oudeschild	3.5	3.2	9	5.2	5.3	-2	6.3	6.2	2
Den Oever Buiten	4.2	27.4	-552	6.4	13.8	-116	7.7	30.7	-299
Vlieland Haven	3.7	3.6	3	5.2	5.2	0	6.4	6.4	0
West Terschelling	3.9	3.3	15	5.3	5.3	0	6.6	6.2	6
Kornwerderzand B.	3.1	4.2	-35	6.1	6.3	-3	6.8	7.6	-12
Harlingen	4.4	3.8	14	6.1	6.4	-5	7.6	7.4	3
Nes	5.4	5.4	0	6.4	6.4	0	8.4	8.4	0
Lauwersoog	5.4	9.4	-74	7.4	7.8	-5	9.2	12.2	-33
Schiermonnikoog	6.2	6.7	-8	7.0	7.2	-3	9.3	9.9	-6
Delfzijl	5.5	8.9	-62	7.8	8.2	-5	9.6	12.1	-26
average	4.4	13.7	-211	6.0	6.9	-15	7.4	16.2	-119
<b>RMS</b>	4.5	20.1	-347	6.0	7.2	-20	7.5	21.3	-184

Tabel 5.2 Vergelijking van de kwaliteit van de waterstandrepresentatie (RMSE, bepaald voor het gehele jaar 2007) tussen de berekening met WAQUA en D-Flow FM, op 16 locaties in de Nederlandse estuaria en Wadden Zee (opgesplitst in getij, opzet en totale waterstand).

## 5.4 Conclusies

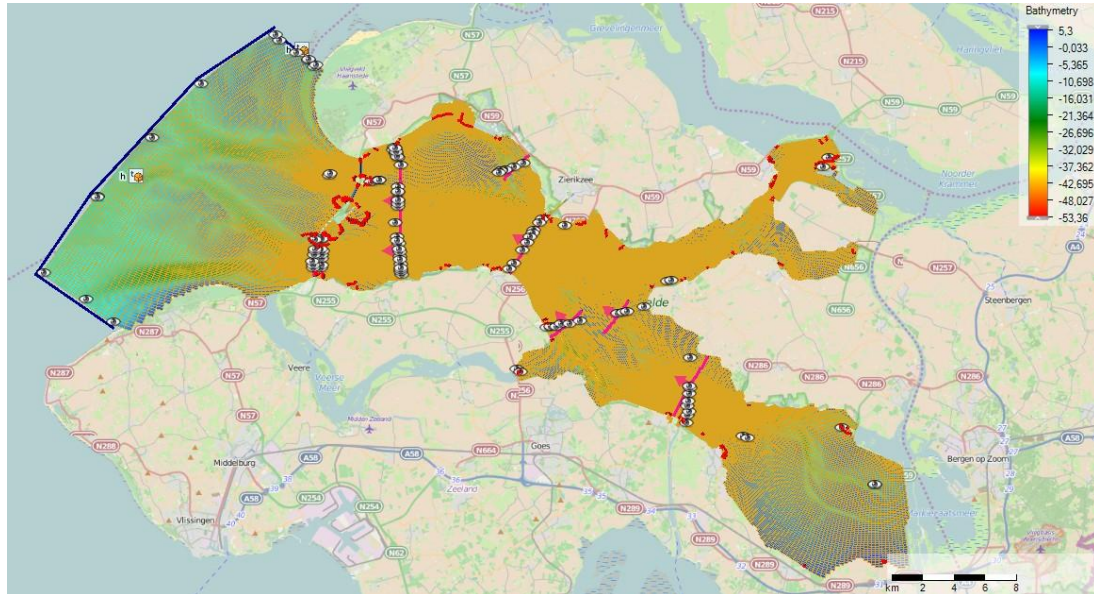
Uit Tabel 5.1 en Tabel 5.2 kan het volgende worden geconcludeerd:

- De kwaliteit van de getijrepresentatie langs de Nederlandse kust neemt gemiddeld genomen af met 40% van 4,0 cm naar 5,6 cm. Dit ligt binnen het bereik van wat te verwachten is bij het gebruik van andere simulatiesoftware en is vermoedelijk met een beperkte kalibratie weer op het oorspronkelijke niveau te krijgen.
- De kwaliteit van de opzetrepresentatie langs de Nederlandse kust blijft vrijwel ongewijzigd (van 5,8 cm naar 6,0 cm).
- De kwaliteit van de getijrepresentatie in de Nederlandse estuaria en Waddenzee laat in een aantal stations een zeer grote verslechtering zien. Dit heeft vermoedelijk te maken met de verschillen in bodeminterpolatieopties. Deze instellingen hebben een grote invloed op de getijvoortplanting in gebieden waar de variabiliteit van de geometrie en bodem groot is ten opzichte van de resolutie van het rooster.
- De kwaliteit van de opzetrepresentatie in de Nederlandse estuaria en Waddenzee neemt gemiddeld genomen af (van 6,0 cm naar 7,2 cm). Een van de oorzaken hiervan is de sterk verslechterde getijrepresentatie in een aantal stations. Hierdoor vermindert ook de kwaliteit waarmee de niet-lineaire getij-opzet interactie gerepresenteerd wordt. Deze niet-lineaire interactie vormt onderdeel van het hier beschouwde opzet signaal.
- Op hoofdlijnen komen de modelresultaten van D-Flow FM en WAQUA behoorlijk overeen. Het is logisch dat de WAQUA modelresultaten nauwkeuriger zijn, omdat de modelinvoer gekalibreerd is voor WAQUA en niet voor D-Flow FM. Voor D-Flow FM is de modelinvoer dus niet optimaal en is dit via kalibratie te verbeteren.

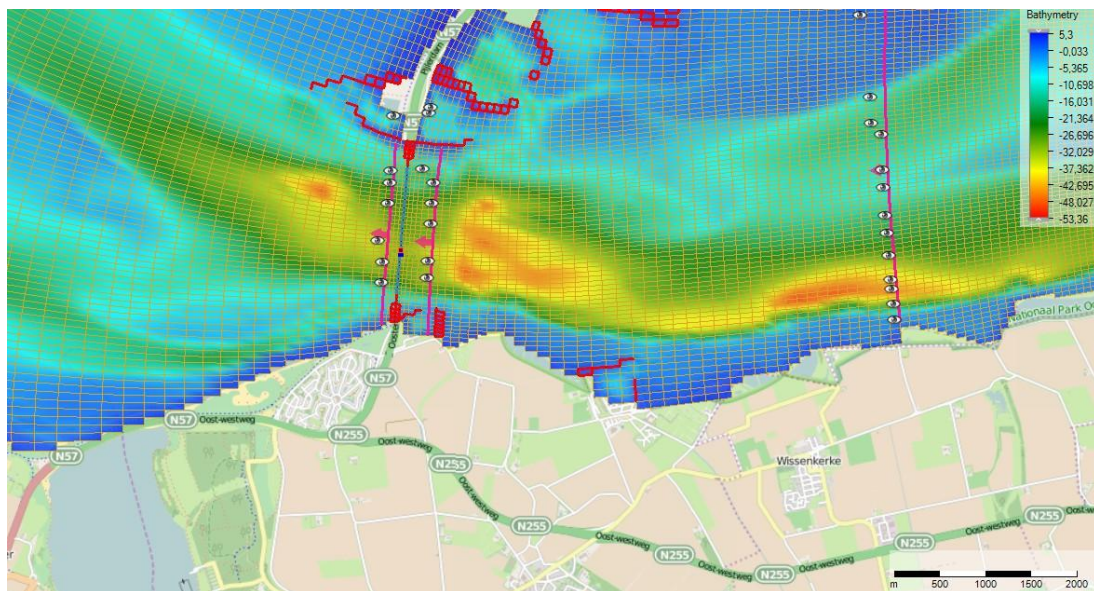
## 6 Vergelijking van Scalooost model (Fase 1)

### 6.1 Beknopte beschrijving modelschematisatie

Het simona-scalooostfijn-exvd-v1 model is als basis genomen. Dit is geconverteerd naar D-Flow FM.



Figuur 6.1 Overall modelschematisatie



Figuur 6.2 Uitsnede modelschematisatie bij Roombot

*Modelvereenvoudigingen:*

- Geen; Hierdoor is de modelinvoer strikt genomen niet exact hetzelfde. In het D-Flow FM-model staan de barriercontractiecoëfficiënten op 1.0, terwijl in het WAQUA model contractiecoëfficiënten tussen 0.93 en 1.03 gebruikt worden. Dit heeft overigens een zeer beperkt effect op de modelresultaten.

## 6.2 Beschrijving scenario(s)

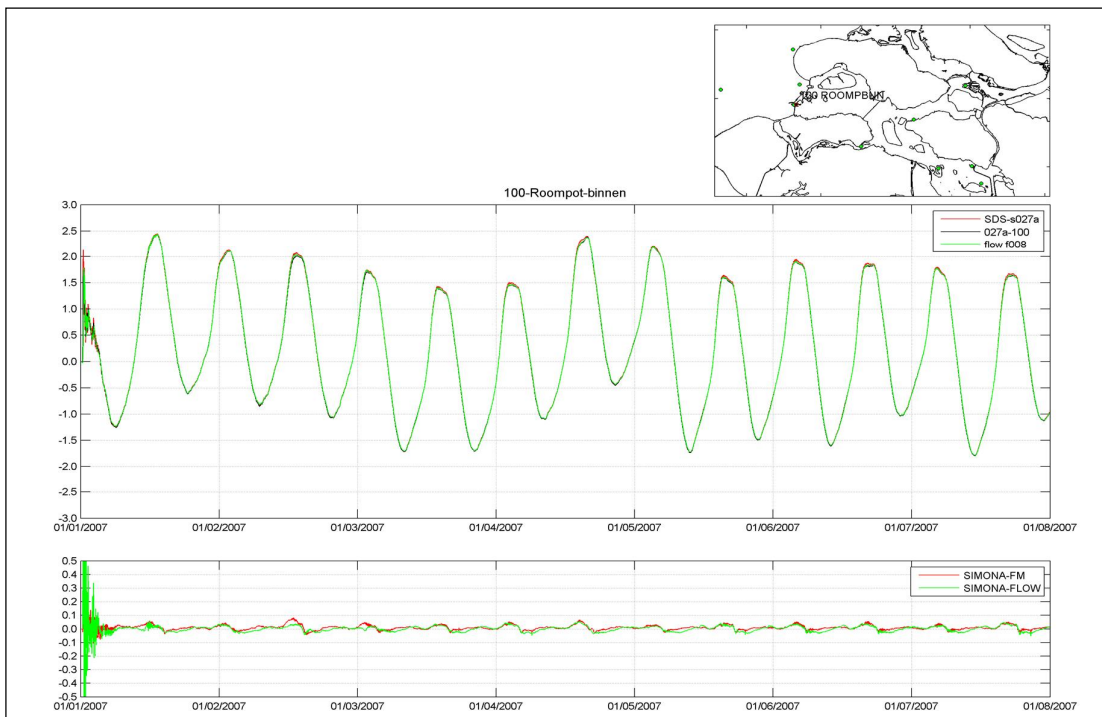
Er is één scenario doorgerekend, te weten voor de simulatieperiode van 1-1-2007 tot 31-12-2007. In dit scenario worden 61 kunstwerken (31 voor Roompot, 16 voor Schaar en 15 voor Hammen) aangestuurd met een tijdreeks. Dit betekent dat voor dit scenario geen koppeling met D-RTC nodig is.

## 6.3 Modelresultaten

Er zijn twee simulaties uitgevoerd. Allereerst is er een vergelijking gemaakt voor een scenario zonder kunstwerken. Vervolgens is er een scenario met kunstwerken doorgerekend.

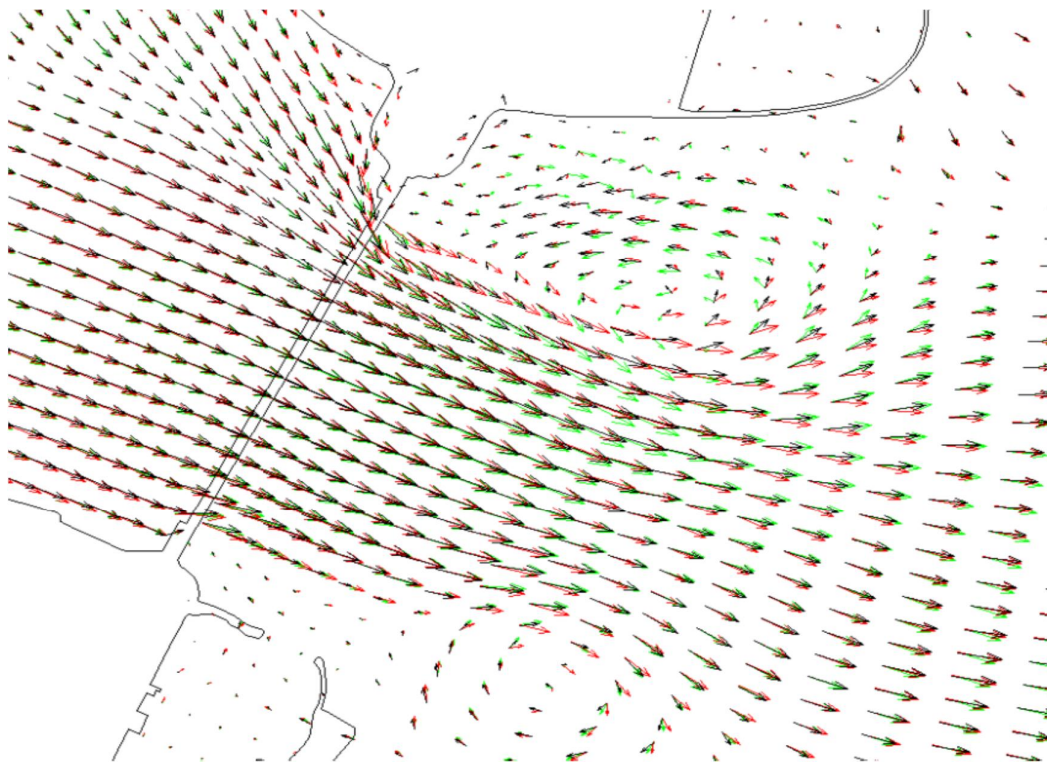
### 6.3.1 Scenario zonder kunstwerken

Figuren 6.3 en 6.4 illustreren de modelresultaten voor een scenario zonder kunstwerken. Niet alleen waterstanden, maar ook debieten en snelheden komen dan goed overeen. Figuur 6.4 bevat zelfs modelresultaten voor drie softwaresystemen; ook het Delft3D-FLOW vectorveld wordt getoond. Uit dit figuur blijkt dat voor alle drie softwaresystemen zelfs vergelijkbare snelheidsvelden berekend worden.



Figuur 6.3 Vergelijking waterstand, station Roompot-binnen, Simona versus D-Flow FM

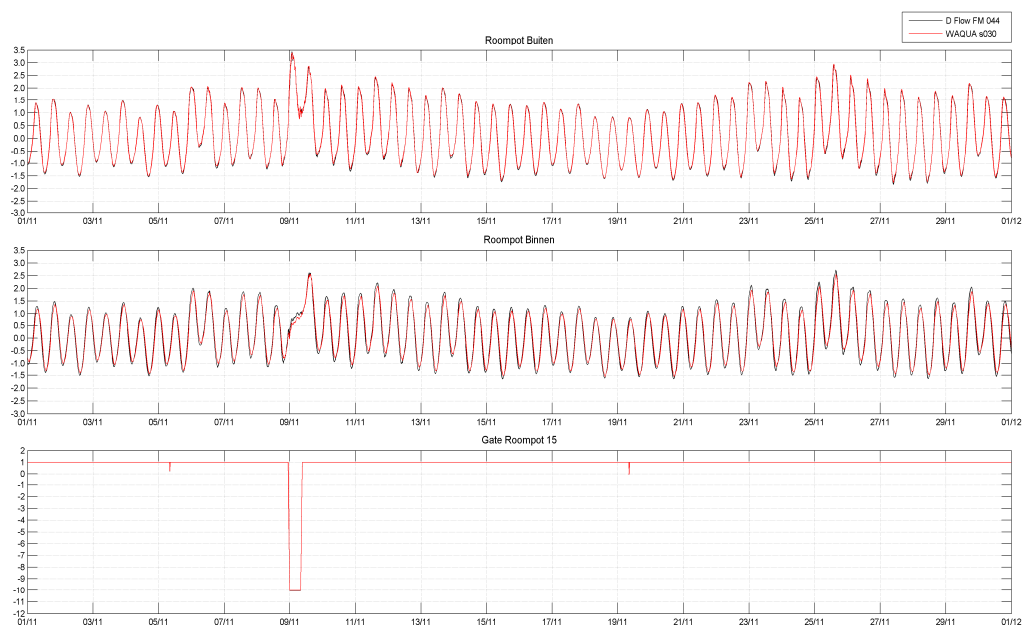




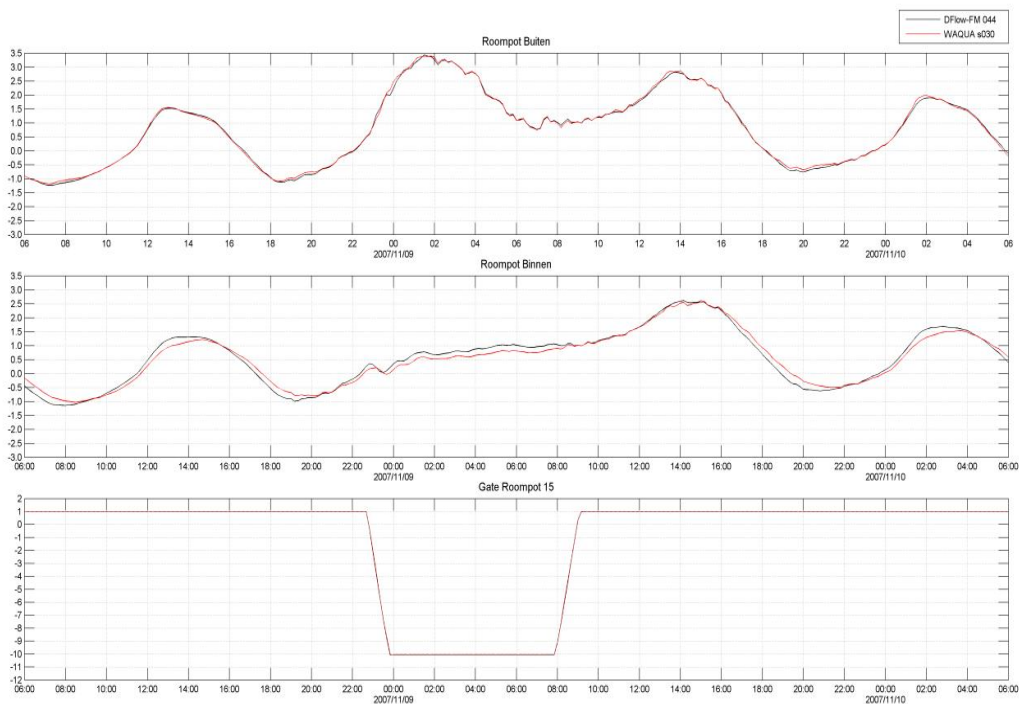
Figuur 6.4 Illustratie van snelheidveld bij Schaar op 4 januari 2007 10:00 uur (Rood = Simona, zwart = D-Flow FM, groen=Delft3D-FLOW)

6.3.2 Scenario met kunstwerken

Figuren 6.5 en 6.6 bevatten, ter illustratie, waterstanden aan weerszijden van het Roompot.



Figuur 6.5 Vergelijking van waterstanden bij station Roompot-buiten; Simona versus D-Flow FM



Figuur 6.6 Vergelijking van waterstanden bij station Roompot-buiten; Simona vs. D-Flow FM (ingezoomd)

## 6.4 Conclusies

- In het scenario zonder kunstwerken komen de modelresultaten goed overeen tussen D-Flow FM en WAQUA. Zelfs de overeenkomst in de locatie van neren is goed in zowel plaats als tijd.
- In het scenario met kunstwerken treden er wel verschillen op. Dit komt omdat het debiet door kunstwerken enigszins verschillend is. Zie Bijlage 1 voor een nadere detaillering hiervan. Dit zou verkleind kunnen worden door de contractiecoëfficiënt van de kunstwerken in D-Flow FM aan te passen. Een dergelijke kallibratie-activiteit is echter geen onderdeel van het voorliggende project.

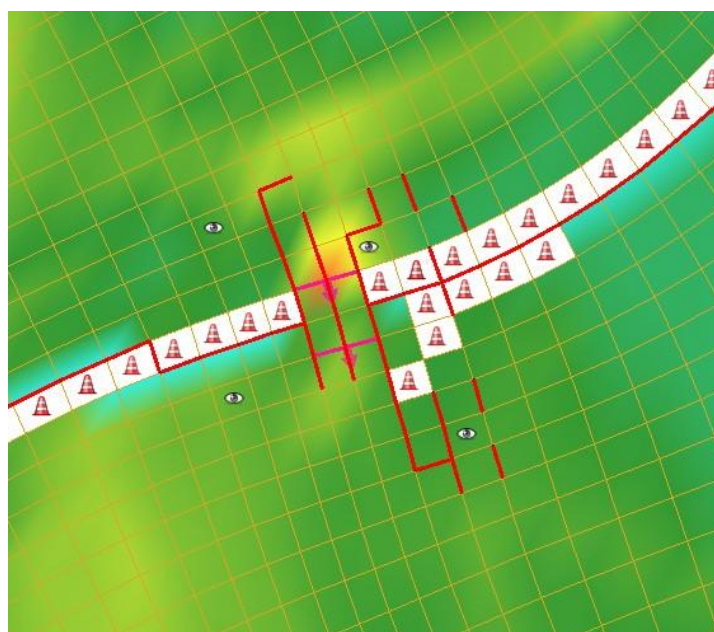
## 7 Vergelijking van IJssel-Vechtdeltamodel (Fase 1)

### 7.1 Beknopte beschrijving modelschematisatie

Het simona-ijvd-2006\_4\_rwsos-v1 model is geconverteerd naar D-Flow FM.



Figuur 7.1 Overall modelschematisatie



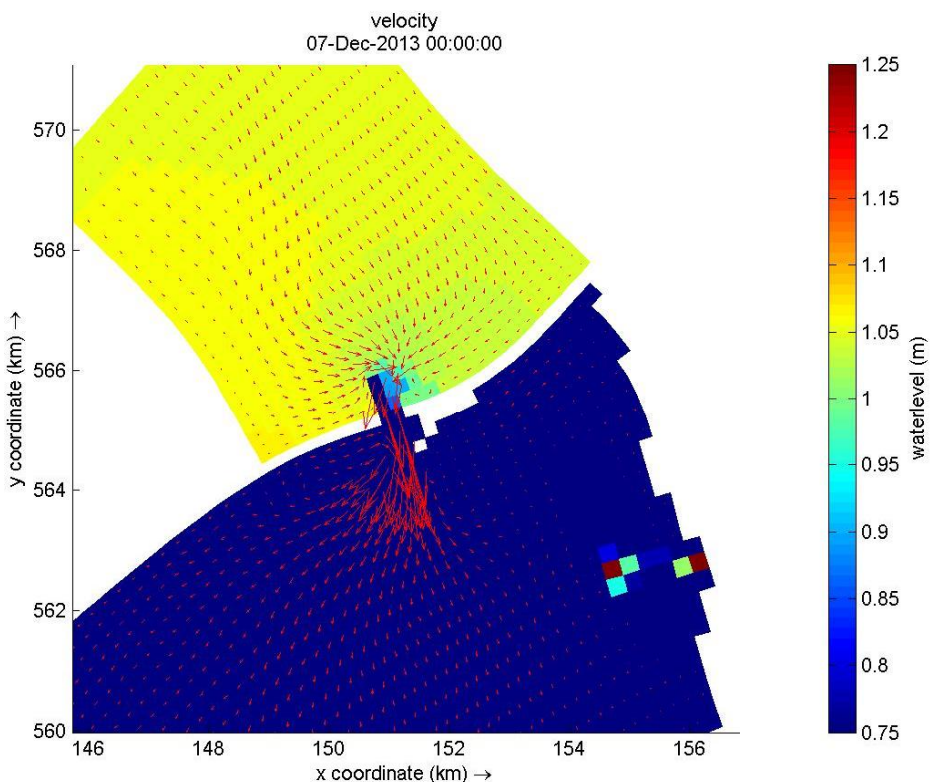
Figuur 7.2 Uitsnede modelschematisatie bij de Kornwerderzand-sluizen

## 7.2 Beschrijving scenario(s)

Er wordt één scenario doorgerekend voor een periode van twee dagen.en

## 7.3 Modelresultaten

Omdat de kunstwerken in dit WAQUA-model dynamisch gestuurd worden en deze functionaliteit in D-Flow FM pas recent beschikbaar is gekomen onder Linux, is vooralsnog een D-Flow FM simulatie uitgevoerd met volledig open kunstwerken. Hierdoor is een directe vergelijking van waterstanden niet zinvol. Voor een vergelijking van de reketijden wordt verwezen naar Paragraaf 13.1. Figuur 7.3 bevat een illustratie van de met D-Flow FM berekende modelresultaten



Figuur 7.3 Waterstanden en snelheden voor het D-Flow FM model op 7 december 2013.

## 7.4 Conclusies

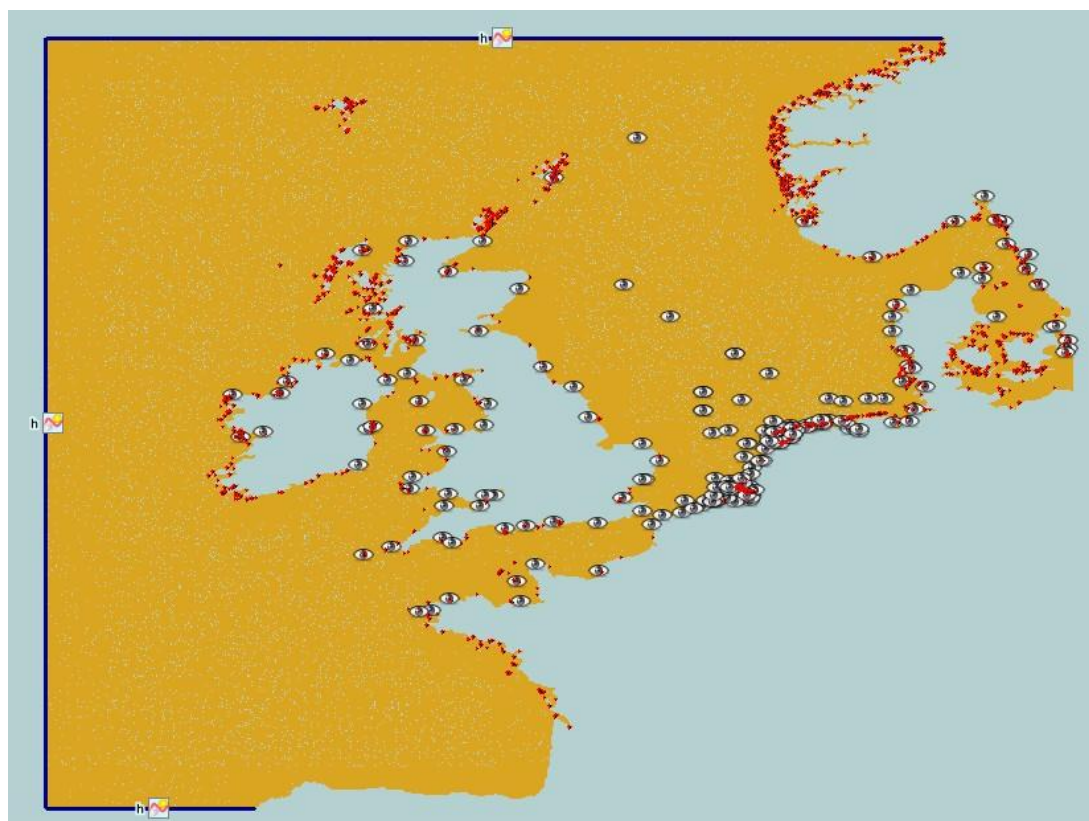
- Voor de modelresultaten zijn nog geen conclusies te trekken.
- De reketijden zijn in dezelfde orde van grootte; zie Tabel 13.1.



## 8 Vergelijking van DCSMv6 model (Fase 1)

### 8.1 Beknopte beschrijving modelschematisatie

Het waqua-dcsmv6-j13-v1 model is geconverteerd naar D-Flow FM.



Figuur 8.1 Overall modelschematisatie DCSMv6 model

## 8.1.1 Nederlandse kustlocaties

Station	RMSE tide (cm)			RMSE surge (cm)			RMSE water level (cm)		
	WAQUA	D-Flow FM	(%)	WAQUA	D-Flow FM	(%)	WAQUA	D-Flow FM	(%)
CADZD	4.3	5.5	-28	5.8	5.9	-2	7.2	8.0	-11
WESTKPLE	4.2	4.4	-5	5.4	5.5	-2	6.9	7.1	-3
ROOMPBTN	3.8	4.4	-16	5.5	5.6	-2	6.7	7.1	-6
BROUWHVSGT08	4.1	4.7	-15	5.9	6.0	-2	7.2	7.6	-6
HARVT10	3.9	4.7	-21	6.0	6.1	-2	7.1	7.7	-8
HOEKVHLD	3.8	4.6	-21	5.9	5.9	0	7.0	7.5	-7
SCHEVNGN	3.7	4.5	-22	6.1	6.1	0	7.1	7.6	-7
IJMDBTHVN	4.1	5.0	-22	6.4	6.4	0	7.6	8.1	-7
PETTZD	4.4	5.0	-14	6.2	6.3	-2	7.6	8.0	-5
K13APFM	3.1	4.0	-29	4.5	4.6	-2	5.5	6.1	-11
TERSLNZE	4.2	3.9	7	6.2	6.4	-3	7.5	7.5	0
WIERMGDN	4.8	5.7	-19	6.0	6.4	-7	7.6	8.5	-12
HUIBGT	5.0	6.8	-36	6.4	6.8	-6	8.1	9.6	-19
average	4.1	4.8	-17	5.9	6.0	-2	7.2	7.7	-7
<b>RMS</b>	4.1	4.9	-20	5.9	6.0	-2	7.2	7.8	-8

Tabel 8.1 Vergelijking van de kwaliteit van de waterstandrepresentatie (RMSE, bepaald voor het gehele jaar2007) tussen de berekening met WAQUA en D-Flow FM, op 13 locaties langs de Nederlandse kust (opgesplitst in getij, opzet en totale waterstand).

## 8.1.2 Nederlandse estuaria en Waddenzee

Station	RMSE tide (cm)			RMSE surge (cm)			RMSE water level (cm)		
	WAQUA	D-Flow FM	(%)	WAQUA	D-Flow FM	(%)	WAQUA	D-Flow FM	(%)
Vlissingen	5.4	7.5	-39	6.0	6.2	-3	8.1	9.7	-20
Terneuzen	8.3	12.4	-49	6.7	7.0	-4	10.6	14.2	-34
Roompot Binnen	6.6	6.3	5	5.2	5.3	-2	8.2	8.0	2
Stavenisse	6.2	5.1	18	5.5	5.6	-2	8.1	7.3	10
Bergse Diepsluis W.	6.1	7.8	-28	6.2	6.3	-2	8.5	9.8	-15
Den Helder	4.2	4.9	-17	5.3	5.3	0	6.8	7.3	-7
Oudeschild	3.8	7.1	-87	5.4	5.4	0	6.6	8.9	-35
Den Oever Buiten	5.0	9.1	-82	7.1	7.1	0	8.7	11.5	-32
Vlieland Haven	4.6	8.4	-83	5.2	5.4	-4	6.9	10.0	-45
West Terschelling	4.0	9.8	-145	5.9	5.9	0	7.1	11.4	-61
Kornwerderzand B.	4.3	11.0	-156	6.9	6.8	1	8.1	12.9	-59
Harlingen	7.4	14.6	-97	7.9	7.9	0	10.8	16.6	-54
Nes	7.7	12.7	-65	7.6	7.9	-4	10.8	14.9	-38
Lauwersoog	9.4	9.2	2	8.2	8.3	-1	12.5	12.4	1
Schiermonnikoog	10.0	9.8	2	8.1	7.9	2	12.9	12.6	2
Delfzijl	13.3	15.6	-17	11.2	12.1	-8	17.4	19.8	-14
average	6.6	9.5	-44	6.8	6.9	-1	9.5	11.7	-23
<b>RMS</b>	7.1	9.9	-39	7.0	7.1	-1	9.9	12.2	-23

Tabel 8.2 Vergelijking van de kwaliteit van de waterstandrepresentatie (RMSE, bepaald voor het gehele jaar2007) tussen de berekening met WAQUA en D-Flow FM, op 16 locaties in de Nederlandse estuaria en Wadden Zee (opgesplitst in getij, opzet en totale waterstand).

## 8.2 Conclusies

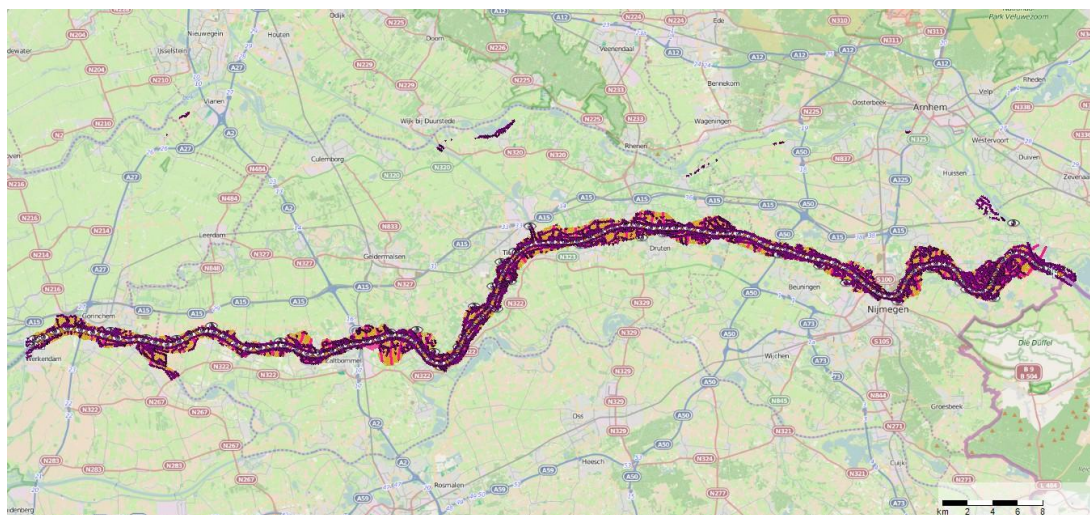
Uit Tabel 8.1 en Tabel 8.2 kan het volgende geconcludeerd worden:

- De kwaliteit van de getijrepresentatie langs de Nederlandse kust verslechtert gemiddeld genomen met 20% (van 4,1 cm naar 4,9 cm). Dit licht binnen het bereik van wat te verwachten is bij het gebruik van andere simulatiesoftware en is vermoedelijk met een beperkte kalibratie weer op het oorspronkelijke niveau te krijgen.
- De kwaliteit van de opzetrepresentatie langs de Nederlandse kust blijft vrijwel ongewijzigd (van 5,9 cm naar 6,0 cm).
- De kwaliteit van de getijrepresentatie in de Nederlandse estuaria en Waddenzee laat een gemiddelde verslechtering zien van bijna 40%. Er zijn echter stations waar de fout in het getij meer dan verdubbelt. Dit heeft vermoedelijk te maken met de verschillen in bodeminterpolatieopties. Deze instellingen hebben een grote invloed op de getijvoortplanting in gebieden waar de variabiliteit van de geometrie en bodem groot is ten opzichte van de resolutie van het rooster.
- De kwaliteit van de opzetrepresentatie in de Nederlandse estuaria en Waddenzee blijft vrijwel ongewijzigd (van 7,0 cm naar 7,1 cm).
- Op hoofdlijnen komen de modelresultaten van D-Flow FM en WAQUA behoorlijk overeen. Het is logisch dat de WAQUA modelresultaten nauwkeuriger zijn, omdat de modelinvoer gekalibreerd is voor WAQUA en niet voor D-Flow FM. Voor D-Flow FM is de modelinvoer dus niet optimaal en is dit via kalibratie te verbeteren.

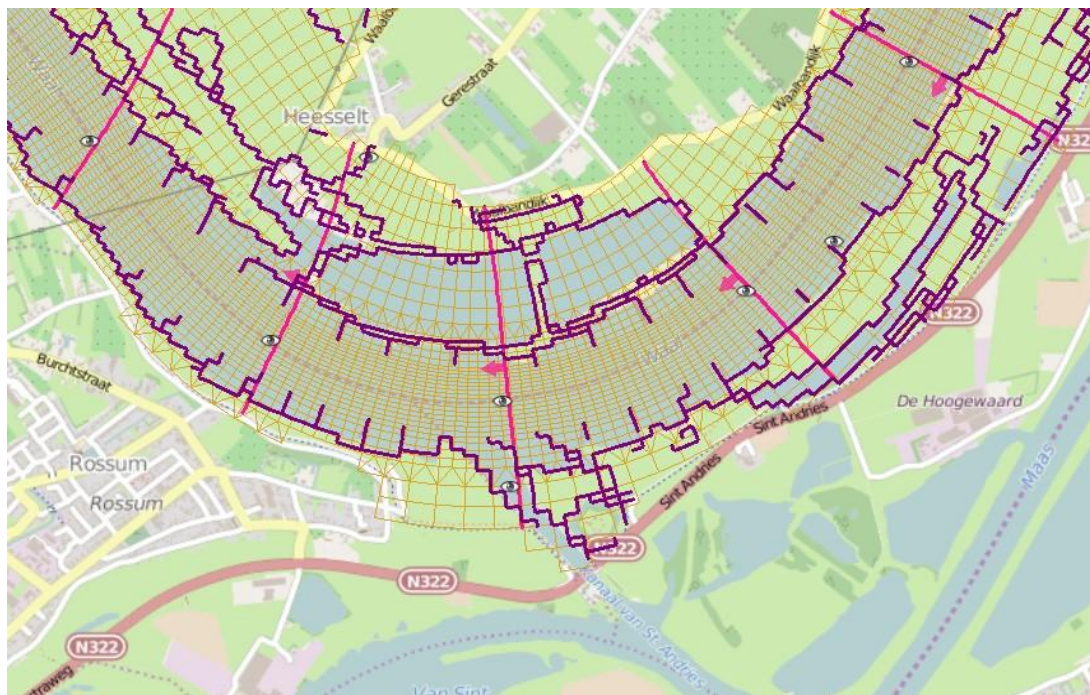
## 9 Vergelijking van geoptimaliseerd Waal model (Fase 2)

### 9.1 Beknopte beschrijving modelschematisatie en scenario

Dezelfde simulatieperiode is doorgerekend als in Fase 1; zie Hoofdstuk 2. Figuur 9.1 toont de overall modelschematisatie. Figuur 9.2 bevat het geoptimaliseerde rooster. Hieruit blijkt dat het zomerbed netjes uitgelijnd is met de oevers en kribben. Het winterbed is vergrofd ten opzichte van het rooster uit fase 1. Het gebied tussen het zomerbed en winterbed is opgevuld met driehoeken.



Figuur 9.1 Overall modelschematisatie

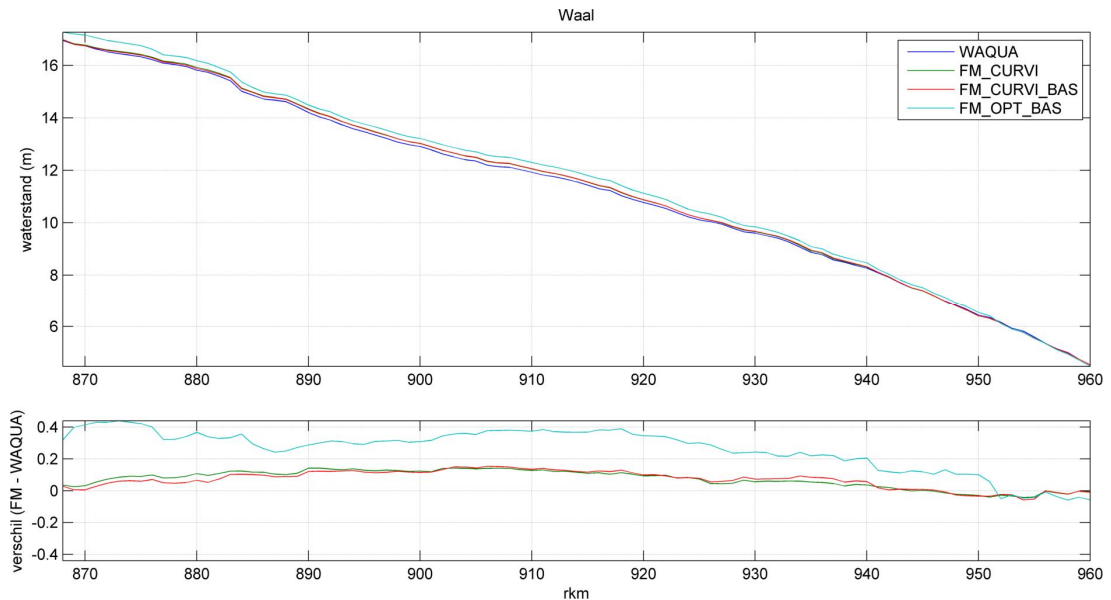


Figuur 9.2 Uitsnede modelschematisatie voor een Waalbocht

Modelvereenvoudigingen:

- Geen

## 9.2 Modelresultaten



Figuur 9.3 Boven: Waterstandsverhang op de rivieras van de Maas voor WAQUA (in blauw), voor D-Flow FM op een kromlijng rooster (in groen), voor D-Flow FM op een kromlijng rooster gegenereerd met Baseline invoer (in rood), voor D-Flow FM op ongestructureerd rooster gegenereerd met Baseline invoer (in lichtblauw).  
Onder: Waterstandsverschil op de rivieras

## 9.3 Conclusies en aanbeveling

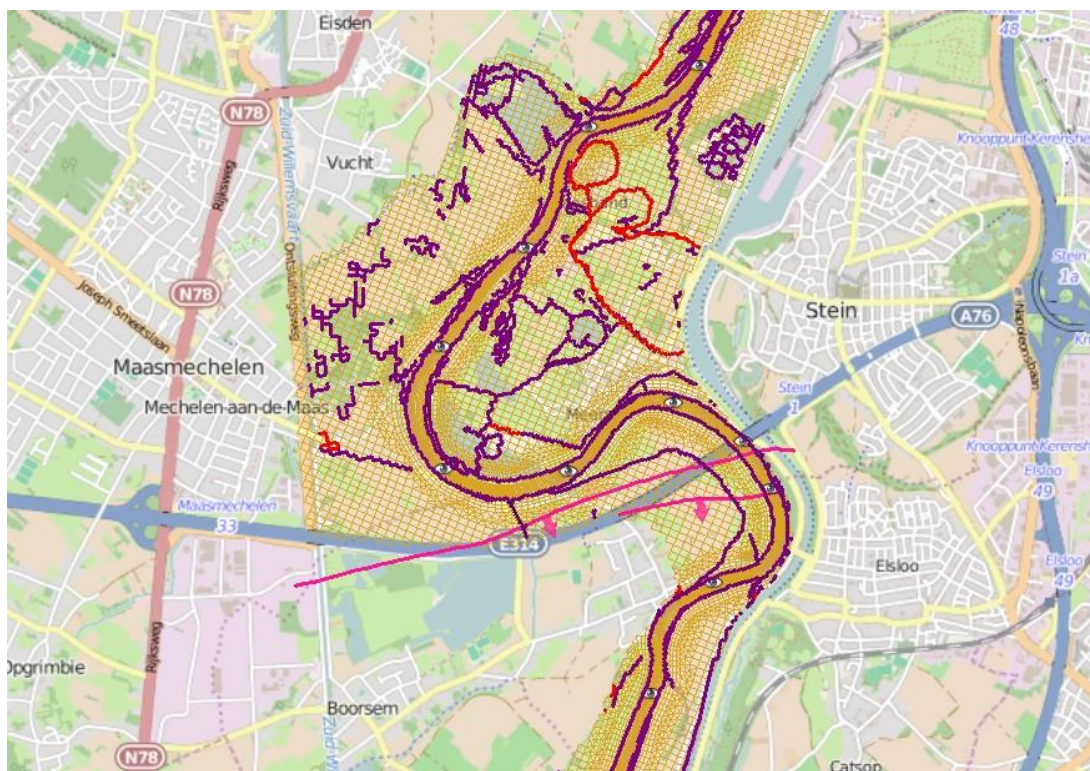
- Het geoptimaliseerde rooster geeft een behoorlijke afwijking in waterstanden. Bij de Pannerdenschse Kop is het verschil in waterstand opgelopen tot 40 cm.
- In de simulatie met het geoptimaliseerde rooster is de oorspronkelijke vanuit de WAQUA-invoer gegenereerde overlatenfile (van fase 1) gebruikt. Het verdient de aanbeveling om een simulatie te doen met de door Baseline gegenereerde overlaten.
- De winst in doorlooptijd door het rooster te optimaliseren is evenredig met de afname van het aantal roosterpunten. Hierdoor halveert de doorlooptijd; zie Paragraaf 13.4 voor de details.



## 10 Vergelijking van geoptimaliseerd Maas model (Fase 2)

### 10.1 Beknopte beschrijving modelschematisatie en scenario

Dezelfde simulatieperiode is doorgerekend als in Fase 1; zie Hoofdstuk 4. In Figuren 10.1 en 10.2 wordt het geoptimaliseerde rooster getoond.



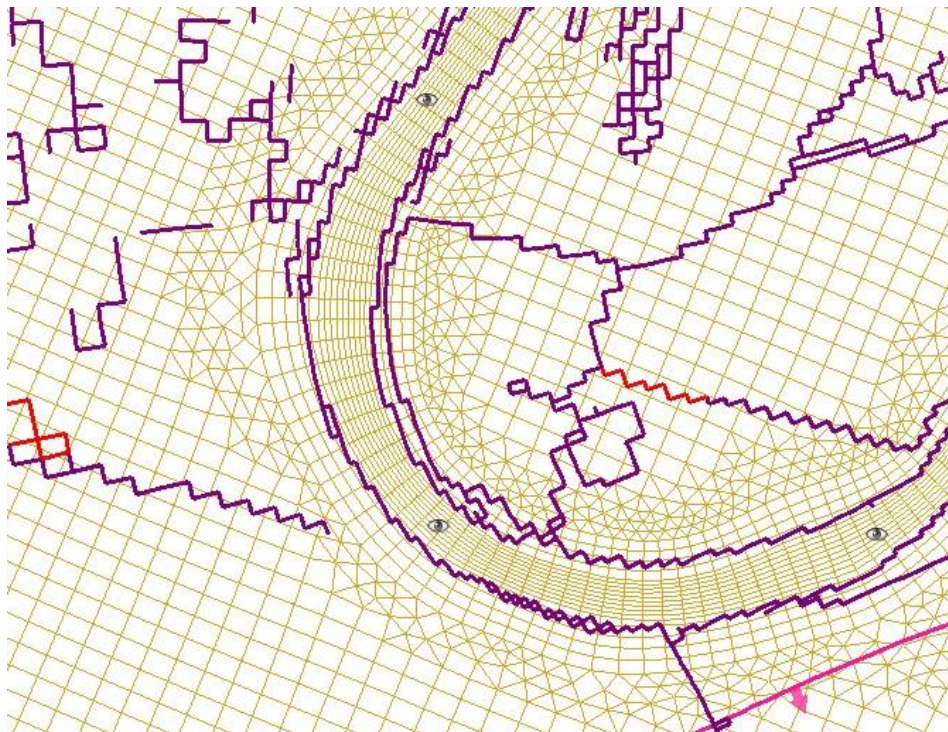
Figuur 10.1 Illustratie van geoptimaliseerde rooster voor de Maas

Modelvereenvoudigingen:

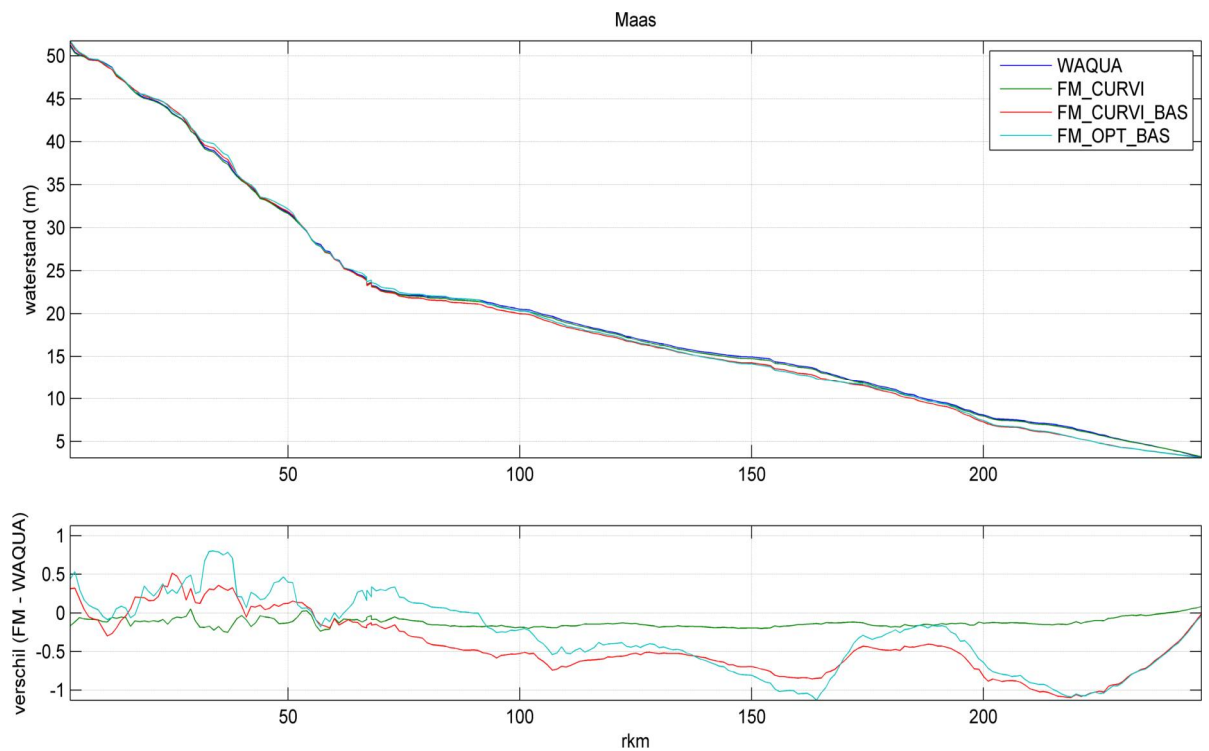
- Geen kunstwerken in dit model

### 10.2 Modelresultaten

In Figuur 10.3 zijn de waterstanden en de onderlinge verschillen weergegeven voor een viertal simulaties.



Figuur 10.2 Illustratie van ongestructureerd rooster voor de Maas



Figuur 10.3 Boven: Waterstandsverhang op de rivieras van de Maas voor WAQUA (in blauw), voor D-Flow FM op curvilineair rooster (in groen), voor D-Flow FM op curvilineair rooster gegenereerd met Baseline invoer (in rood), voor D-Flow FM op ongestructureerd rooster gegenereerd met Baseline invoer (in lichtblauw). Onder: Waterstandsverschil op de rivieras

### 10.3 Conclusies en aanbevelingen

- De in Fase 2 gegenereerde modellen geven een vergelijkbaar resultaat; zie de rode en lichtblauwe lijn in Figuur 10.3. Dit wijkt af van de resultaten voor de Waal (zie Figuur 9.3), waarin twee vergelijkbare simulaties wel een behoorlijk verschil te zien gaven.
- De afwijkende resultaten voor de Maassimulaties suggereren dat de roosterkeuze een behoorlijke invloed heeft op de waterstanden. Dit blijkt uit de sterke variaties in het onderste panel van Figuur 10.3 met onderlinge waterstandsverschillen. Het verdient de aanbeveling dit in kleine testmodellen nader uit te zoeken.
- De winst in doorlooptijd door het rooster te optimaliseren is evenredig met de afname van het aantal roosterpunten. Hierdoor neemt de doorlooptijd af met 30%; zie Paragraaf 13.4 voor de details.



## 11 Vergelijking van geoptimaliseerd DCsMv6-ZUNOv4 model (Fase 2)

### 11.1 Beknopte beschrijving modelschematisatie en scenario

In Figuur 11.1 wordt geïllustreerd waar het rooster vergrofd is, namelijk in het zuidwestelijke deel van het model.

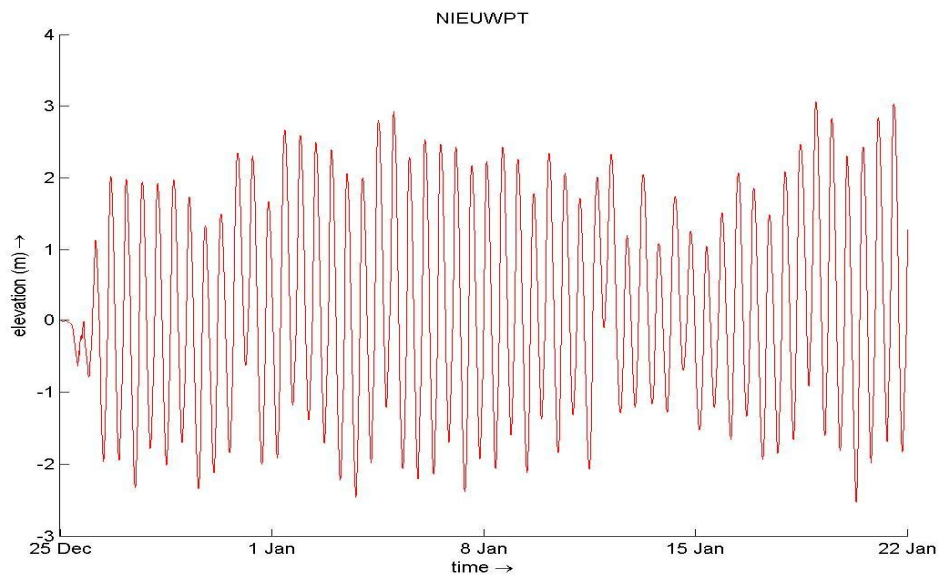
Dezelfde simulatieperiode is doorgerekend als in Fase 1; zie Hoofdstuk 5.



Figuur 11.1 Uitsnede geoptimaliseerd DCsMv6-ZUNOv4 model

### 11.2 Modelresultaten

Figuur 11.2 bevat een illustratie van de modelresultaten. In dit figuur worden de waterstanden in Aberdeen getoond. Omdat in grote delen van het model het rooster niet gewijzigd is, zijn de modelresultaten nagenoeg gelijk.



Figuur 11.2 Illustratie van waterstanden in het DCSMv6-ZUNOv4 model bij Aberdeen

### 11.3 Conclusies

- Door het rooster te optimaliseren, is de rekestijd met bijna een factor twee gereduceerd (zie Tabel 13.3), terwijl de modelresultaten nauwelijks verschillen.

## 12 Vergelijking van geoptimaliseerd DCSMv6model (Fase 2)

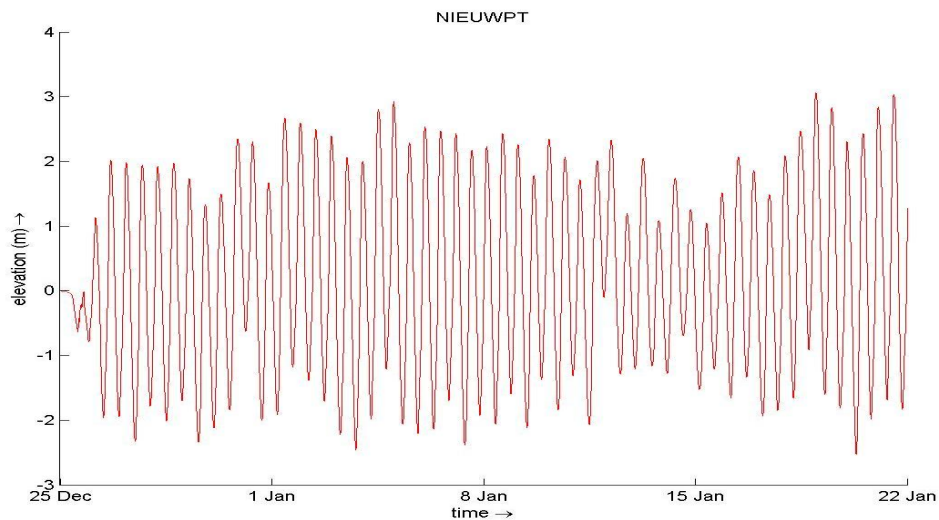
### 12.1 Beknopte beschrijving modelschematisatie en scenario

Voor het DCSMv6 model is dezelfde roosteroptimalisatie toegepast als voor het DCSMv6 model (zie Figuur 11.1). Alleen in het diepte (rechtsonder) gedeelte van het model is het rooster vergrofd. Het enige verschil met het DCSMv6-ZUNOV4 model is het roosterverfijnde (ZUNOV4) model, dat geen onderdeel uitmaakt van het DCSMv6 model.

Dezelfde simulatieperiode is doorgerekend als in Fase 1; zie Hoofdstuk 8.

### 12.2 Modelresultaten

Figuur 12.1 bevat een illustratie van de modelresultaten. In dit figuur worden de waterstanden in Aberdeen getoond. Omdat in grote delen van het model het rooster niet gewijzigd is, zijn de modelresultaten nagenoeg gelijk.



Figuur 12.1 Illustratie van waterstanden in het DCSMv6 model bij Nieuwpoort

### 12.3 Conclusies

- Door het rooster te optimaliseren, is de rekestijd met bijna een factor tweeëneenhalf gereduceerd (zie Tabel 13.3), terwijl de modelresultaten nauwelijks verschillen.

## 13 Doorlooptijden voor de modelschematisaties

Dit hoofdstuk bevat doorlooptijden voor de acceptatiemodellen. Hierbij is een onderscheid gemaakt tussen de één-op- één geconverteerde Simona modelschematisaties (Fase 1) en de modelschematisaties met een geoptimaliseerd ongestructureerd rooster (Fase 2).

### 13.1 Doorlooptijden voor fase 1 modelschematisaties

			Doorlooptijden (in minuten) op H5 rekencluster Deltares (tussen haakjes het aantal cores)					
model	simulatie- periode	RWSoS doorlooptijd (in min.) op HMC-cluster	WAQUA (Simona 2014 release)		NGHS FM (op WAQUA rooster)		NGHS FM (geoptimaliseerd rooster)	
			single core	multi core	single core	multi core	single core	multi core
		op 8 cores						
Waal	24 uur		19.3 (1c)	5.6 (4c)	47 (1c)	22 (4c)	22 (1c)	
RMM	24 uur		131 (1c)	45 (4c) 28 (8c)				
Maas	24 uur		48 (1c)	20 (4c)	220 (1c)	107 (4c)	172 (1c)	
Scaloost	24 uur		8.5 (1c)	3.5 (4c)	9.1 (1c)			
IJVD	24 uur		17 (1c)	6.4 (4c)	19 (1c)	)		
DCSMv6- ZUNOV4	48 uur	60	115 (1c)	55 (3c) 29 (6c) 19 (12c) 10 (24c)	113 (1c)	74 (4c)  36 (12c) 26 (24c)  77 (3c)	68 (1c)	41.5 (3c)
DCSMV6	48 uur	20	38 (1c)	16 (4c) 8 (8c) 2 (40c)	58 (1c)	34 (4c) 24 (8c) 16 (40c)  73 (1c) 38 (4c)	12.4 (1c)	6.6 (4c) 4.8 (20c)

Tabel 13.1: Doorlooptijden acceptatiemodellen op H5 rekencluster van Deltares

Tabel 13.1 bevat doorlooptijden die horen bij een bepaalde simulatieperiode. Voor de twee Noordzeemodellen is hiervoor 48 uur gehanteerd, omdat in de operationele toepassing simulaties voor een dergelijke periode worden uitgevoerd. Voor de andere modelschematisaties is dat enigszins onduidelijk. Daarom zijn voor de andere acceptatiemodellen doorlooptijden per dag opgenomen in Tabel 13.1. De eisen qua doorlooptijd aan de operationele modelschematisaties zijn gehaald uit (Ververs, 2014). Detailinformatie over de operationele modellen is ook beschikbaar op <https://publicwiki.deltares.nl/display/FEWSWTD/NZ++WAQUA+modellen>. De getallen in rood in Tabel 13.1 zijn afkomstig van een ander project. Deze doorlooptijden zijn overigens consistent met de andere doorlooptijden in deze tabel.

Uit Tabel 13.1 blijkt dat de doorlooptijden voor WAQUA in het algemeen korter zijn dan die van D-Flow FM. D-Flow FM is echter op 1 core voor DCSMv6-ZUNOV4 model sneller dan WAQUA, omdat WAQUA een domeindecompositiemodel is en daarom extra iteraties/berekeningen vereist.

			Doorlooptijden (in minuten) op nieuwe hardware			
model	simulatieperiode	RWSoS doorlooptijd (in min.) op HMC-cluster	WAQUA (Simona 2014 release)		NGHS FM (op WAQUA rooster)	
		op 8 cores	single core	multi core	single core	multi core
Waal-2D	24 uur		46 (1c)	11 (4c)	104 (1c)	25 (4c)
RMM-2D	24 uur					
Maas-2D	24 uur		110 (1c)	32 (4c)	464 (1c)	126 (4c)
Scaloost	24 uur				71 (8c)	43 (16c)
IJVD	24 uur					
DCSMv6-ZUNOV4	48 uur	60		97 (3c)	297 (1c)	162 (2c) 86 (4c) 57 (8c) 42 (12c) 37 (16c) 29 (4c)

Tabel 13.2 Doorlooptijden acceptatiemodellen op RWS' hardware

Tabel 13.2 bevat doorlooptijden op een hardware cluster dat vergelijkbaar is met de toekomstige RWS' hardware voor de operationele modellen [2] namelijk een BL460 Gen8 Xeon E5-2697-v2, 2CPU/24 cores, 64 GB geheugen.

### 13.2 Hoofdconclusies voor rekenperformance in fase 1 (1-op-1 geconverteerde modellen)

In het voorliggende project is een aanzienlijke hoeveelheid tijd besteed aan de rekenperformance. Deze inspanning benadert de maximaal mogelijke inspanning binnen het NGHS project in relatie tot de andere doelstellingen, zoals het ontwikkelen van veel functionaliteit voor D-Flow FM. De hoofdconclusies zijn:

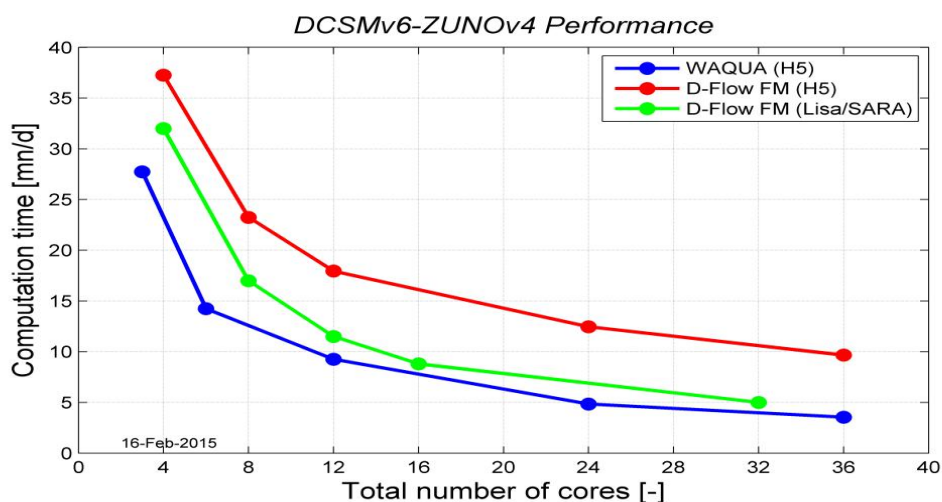
- D-Flow FM heeft een rekenperformance die vergelijkbaar is met Delft3D-FLOW.
- D-Flow FM is een factor 1.25 tot 8 trager dan WAQUA. Deze factor verschilt per modelgebied, toepassing, aantal cores en scenario (bijv. hoge of lage rivierafvoer).

De factor 1.25 tot 8 kan ruwweg onderverdeeld worden in twee hoofdredenen:

- een factor twee vanwege de hogere efficiëntie van WAQUA op een groot aantal (tientallen) cores;
- een factor vier (voor rivier toepassingen) tot een factor één (Noordzeetoepassingen) vanwege de expliciete advectiondiscretisatie.

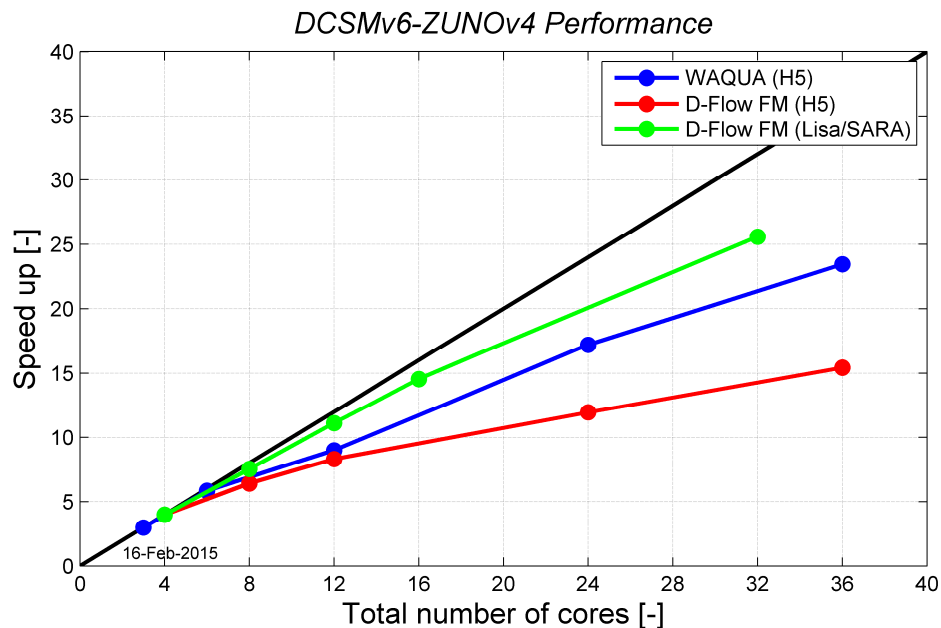
Het voorgaande geldt voor het default numerieke schema van D-Flow FM. Bij toepassing van het 'meer impliciete schema' van D-Flow FM halveert de rekentijd min of meer.

Ter illustratie is in Figuur 13.1 de performance weergegeven voor het DCSMv6-ZUNOV4 model tot betere rekentijden geleid. In dit figuur zijn ook resultaten voor de Lisa (SARA) opgenomen, dat een betere netwerkperformance (namelijk Infiniband) heeft dan het H5-cluster van Deltares. Op die manier kan bijvoorbeeld met 12 cores de rekenperformance van WAQUA gehaald worden (10 minuten rekentijd per dag simulatie op 12 cores), terwijl D-Flow FM op 12 cores van de H5 ongeveer een factor twee trager is.



Figuur 13.1 DCSMv6-ZUNOV4 performance





*Figuur 13.2 DCSMv6-ZUNOV4 speed-up*

Figuur 13.2 bevat de speed-up. Hieruit blijkt dat voor het DCSMv6-ZUNOV4 model WAQUA op 36 cores een speed-up van 24 haalt op het H5 rekencluster van Deltares. D-Flow FM haalt een factor 15. Op het Lisa-rekencluster van SARA haalt D-Flow FM op 32 cores wel een speed-up van 25, dat aangeeft dat de onderliggende hardware een belangrijk effect heeft op de speed-up die behaald wordt.

### 13.3 Nadere beschouwing rekenperformance van WAQUA, FM en Delft3D-FLOW

WAQUA is geoptimaliseerd voor:

- a) het geheugengebruik;
- b) het zo efficiënt mogelijk op algoritme niveau gebruik maken van een gestructureerd rooster (bijvoorbeeld 'rij-voor-rij' rekenen);
- c) de software-implementatie (lees DO-loops e.d.); en
- d) parallel rekenen

Vanwege a), b) en deels c) is WAQUA al sinds de jaren zeventig een zeer efficiënt softwaresysteem. In de jaren 1992-2007 is in periodes door VORtech Computing WAQUA door d) en verdere optimalisatie van c) nog efficiënter geworden. Het grote verschil tussen WAQUA en Delft3D-FLOW enerzijds en D-Flow FM anderzijds, is de discretisatie van de advectietermen. In WAQUA en Delft3D-FLOW gebeurt dit 'impliciet in de tijd', terwijl dit in FM 'expliciet in de tijd' is. Dit laatste levert een tijdstapvoorwaarde op, die in de praktijk bij advectiegedomineerde toepassingen (c.q. de riviermodellen) tot kleinere tijdstappen kan leiden. NB. De continuïteitsvergelijking in D-Flow FM wordt wel impliciet in de tijd geïntegreerd.

Er zijn goede redenen om in D-Flow FM de advectietermen expliciet in de tijd te discretiseren. Hierbij speelt vooral dat een impliciete solver naar verwachting veel rekentijd zal vergen. Het is daarom niet voor niets dat alle vooraanstaande hydrodynamische softwaresystemen voor ongestructureerde roosters (ADCIRC, FVCOM, UNTRIM, TELEMAC, Mike Flexible Mesh, D-

Flow FM) dit zo doen. Bij de Nederlandse rivier toepassingen, met lokaal hoge snelheden tot bijvoorbeeld 4 m/s onder extreme (WTI) omstandigheden, leidt dit echter tot een relatief kleine tijdstap en dus tot meer rekentijd. Ook codes voor gestructureerde roosters passen regelmatig expliciete advection toe. Dit maakt de robuustheid van Simona en Delft3D-FLOW redelijk uniek in de wereld.

#### 13.4 Doorlooptijden voor fase 2 modelschematisaties

In fase 2 van het project is voor een viertal modelschematisaties een ongestructureerd rooster ontwikkeld om een indruk te verkrijgen van de winst in doorlooptijd. Hierbij is ook het effect op de nauwkeurigheid onderzocht. In Paragraaf 1.3.2 is beschreven welke aanpak is gevolgd bij het opzetten van de ongestructureerde roosters.

In de onderstaande tabel wordt het aantal roosterzellen opgesomd voor de oorspronkelijke kromlijnige roosters en voor de geoptimaliseerde ongestructureerde roosters. Bij de simulaties bleek dat de toegepaste rekentijdstap hierdoor nauwelijks verandert. D-Flow FM past immers een automatische tijdstapschatter toe. De verhouding in het aantal roosterzellen geeft dus ook de factor in doorlooptijdwinst aan. Zo is het aantal roosterzellen voor de Waal toepassing met iets meer dan een factor twee verminderd. De doorlooptijd vermindert hierdoor ook met deze factor; zie Tabel 13.3.

Modelschematisatie	Aantal roosterzellen (fase 1)	Aantal roosterzellen (fase 2)	Factor roosterzellen Fase 2 / fase 1
Maas	336.000	233.000	0,69
Waal	145.000	67.000	0,46
DCSMv6-ZUNOV4	1113.000	630.000	0,57
DCSMv6	859.000	358.000	0,42

Tabel 13.3 Aantal roosterzellen acceptatiemodellen op RWS' hardware

## 14 Conclusies en aanbevelingen

### 14.1 Conclusies

In dit rapport is voor een aantal acceptatiemodellen beschreven dat de modelresultaten van D-Flow FM met WAQUA voldoende overeenkomen. Hiervoor zijn zeven modelschematisaties gebruikt, namelijk DCSMv6-ZUNOV4, Maas, RijnMaasMonding, Waal, Scaloot, IJssel-Vechtdelta en DCSMv6. In Fase 1 zijn de Simona modelschematisaties één-op-één geconverteerd naar D-Flow Flexible Mesh. Bovendien is een aantal modelschematisaties geoptimaliseerd door een ongestructureerd rooster toe te passen (Fase 2).

Bij de Noordzee toepassingen zijn de verschillen in modelresultaten klein. De verschillen voor het Scaloot model zijn volledig te wijten aan de berekende debieten door de kunstwerken. In Bijlage 1 wordt nader op dit onderwerp ingegaan. De verschillen in waterstanden bij de Waal worden bijna volledig veroorzaakt door de wijze waarop het energieverlies bij overlagen uitgerekend wordt. Bij de Maas spelen ook andere factoren een rol. Hierbij is het onduidelijk waarom in het winterbed grotere verschillen geconstateerd worden dan in het zomerbed. Dit laatste geldt namelijk niet voor de Waal.

Voor alle verschillen geldt dat deze, zo nodig na kalibratie, acceptabel klein zullen zijn. Hierbij kan met name gedacht worden aan het afregelen van de contractiecoëfficiënten van kunstwerken en het afregelen van de bodemruwheid in het zomerbed van de riviermodellen.

Qua doorlooptijd is D-Flow Flexible Mesh een factor 1,25 tot 8 trager dan Simona. Dit verschilt per modeltoepassing en hangt ook sterk af van het aantal toegepaste codes (parallel rekenen). Deze factor wordt verklaard door de extreem hoge efficiëntie van de Simona programmatuur in combinatie met optimaal geheugengebruik en het feit dat het numerieke schema van Simona (ADI) optimaal gebruik maakt van het gestructureerde rooster. Dit laatste is met D-Flow Flexible Mesh niet mogelijk. D-Flow FM heeft een rekenperformance die vergelijkbaar is met die van Delft3D-FLOW. Het is uitzonderlijk dat een op ongestructureerd roosters gebaseerde code de performance benadert van een code voor gestructureerde roosters (Delft3D-FLOW). Op gelijke hardware en voor een gelijk aantal cores haalt D-Flow FM in het algemeen echter niet de performance van WAQUA. De verklaring hiervoor staat beschreven in Paragraaf 13.3. Door het gebruik van ongestructureerde roosters, of de inzet van snellere hardware en/of het gebruik van meer cores kan dit verschil aanzienlijk verkleind of kunnen de doorlooptijden zelfs vergelijkbaar worden.

De uitgevoerde acceptatietesten tonen aan dat D-Flow Flexible Mesh een goede basis vormt voor de toekomstige zesde generatie van modelschematisaties.

#### 14.1.1 *Stand van zaken koppeling van D-Flow FM met D-RTC*

De acceptatietesten zijn voor het overgrote deel uitgevoerd. Alleen de koppeling met dynamische kunstwerksturing op basis van modelresultaten of metingen (via D-RTC) is slechts zeer beperkt onderzocht. Omdat deze functionaliteit pas vlak voor 15 september 2015 beschikbaar kwam op Linux, ontbrak de tijd op dit voor deze datum uit te voeren.

Alleen voor de Maas is een eerste gekoppelde simulatie uitgevoerd, zie Paragraaf 4.3.2. Voor de volledigheid, het dynamisch aansturen van kunstwerken via vooraf gedefinieerde tijdreeksen is overigens ook getoetst, namelijk in het Scaloot model.

## 14.2 Aanbevelingen voor mogelijke versnellingen van de rekenperformance

Er zijn een aantal onderwerpen die mogelijk tot een verdere versnelling van D-Flow FM zouden kunnen leiden. Een nadere studie naar de praktische waarde van een of meer van de onderstaande onderwerpen behoort daarom in de toekomst tot de mogelijkheden:

- *Local time stepping*; Bij relatief kleine roostercellen en hoge stroomsnelheden is dit een mogelijke aanpak om de tijdstapbeperking te verlichten. Echter, dit dient nog volledig uitgewerkt te worden, van concept t/m implementatie, inclusief optimalisatie van de parallelisatie en de validatie. Bovendien grijpt dit in op veel onderdelen van het gehele systeem. Voor het versnellen van de RWS acceptatiemodellen lijkt deze aanpak minder zinvol, omdat de tijdstapbeperking niet lokaal optreedt, maar in grote delen van het zomerbed.
- *Multi node optimalisatie*; Hieronder wordt bijvoorbeeld verstaan: domein overlap/optimalisatie koppeling/communicatie hiding. Hierbij dient het numerieke algoritme van D-Flow FRM 'op de tekentafel gelegd te worden' en dit voor elk communicatiemoment de optimale keuze (communiceren van data of herberekene van grootheden) bepaald te worden. Dit is een activiteit van grote omvang, waardoor het zeer lastig zou zijn geweest dit te realiseren in het NGHS-project, vanwege de vele code-ontwikkelingen voor nieuwe functionaliteit. Ter vergelijking, toen WAQUA in periodes tussen 1992 tot 2007 verder geoptimaliseerd is, waren er ook niet of nauwelijks numerieke codeaanpassingen.
- *GPU rekenen*; Uit de pilots in 2013 is gebleken dat dit een zeer grote inspanning vergt en is de reductiefactor in rekentijd voor ondiepwatertoepassingen zeer onzeker [3, 4]. Opgemerkt wordt dat een Taiwanees bedrijf momenteel bezig is D-Flow FM te implementeren en te optimaliseren op een GPU. Hiervan zijn momenteel nog geen resultaten bekend.
- *Andere versnellingen*. Andere opties voor versnelling kunnen ook niet uitgesloten worden. Gezien de forse tijdstapreductie voor FM onder extreme omstandigheden op de Nederlandse rivieren, is het misschien een optie een *impliciete solver* te implementeren voor de impulsvergelijking en de transportvergelijking. Op deze wijze wordt een tijdstapverkleining ten gevolge van hoge stroomsnelheden vermeden, ten koste van extra rekentijd per tijdstap.

Samenvattend, dat alle hierboven genoemde opties zijn tijdrovend, vereisen een onderzoekscomponent (geen 'proven technology') en konden daarom redelijkerwijs niet uitgevoerd worden binnen het NGHS-project. Bovendien is het lastig in te schatten of deze technieken tot een vermindering van de doorlooptijd zullen leiden voor de acceptatiemodellen van Rijkswaterstaat.

## 15 Referenties

- [1] Stout, J., H. van Putten (2014). Acceptatieplan NGHS ten behoeve van RWS. Deltares rapport 1205718-000-DSC-0058-v1.2 November 2014.
- [2] Ververs, M. (2014). RWSOS applicaties de komende 5 jaar. Deltares memo 1209456-000-ZWS-0002. 18 februari 2014.
- [3] StreamComputing, 2013. Pilot voor D-Flow Flexible Mesh op een GPU. Memo december 2013.
- [4] SARA, 2013. Pilot voor D-Flow Flexible Mesh op een Xeon Phi. Memo december 2013.

## 16 Bijlage 1: aanvullend onderzoek naar verschillen bij kunstwerken

Figuur 16.1 toont het modelgebied. Een rechthoekig domein is gekozen, waarbij de Hammen-kunstwerk samenvalt met de werkelijkheid. In tegenstelling tot het Scalooost model (met afzonderlijke kunstwerken per rekencel), bevat dit testmodel één kunstwerk voor de gehele Hammen-barrier.

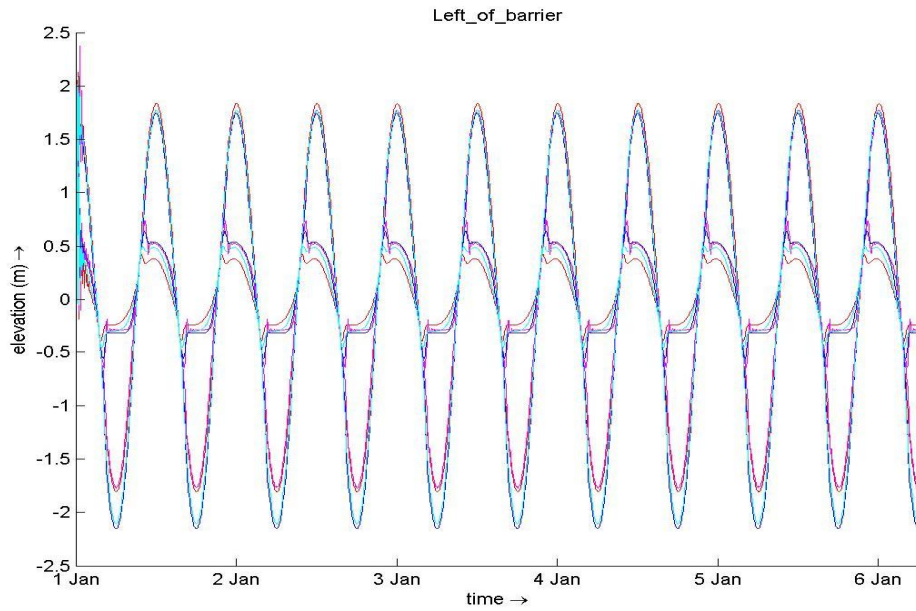
IN dit aanvullend onderzoek speelt alleen de drempel (SILL) een rol van betekenis. De schuif (GATE) hangt hoog in de lucht en beïnvloedt niet de modelresultaten. Een drempel kan op twee manieren gemodelleerd worden, namelijk als overlaat of als kunstwerk. Beide opties zijn doorgerekend, voor zowel D-Flow FM als voor WAQUA. Dit levert vier simulaties op, te weten:

- D-Flow FM met kunstwerk (blauwe lijn)
- D-Flow FM met kunstwerk (lichtblauwe lijn)
- Simona met kunstwerk (rode lijn)
- Simona met overlaat (roze lijn)

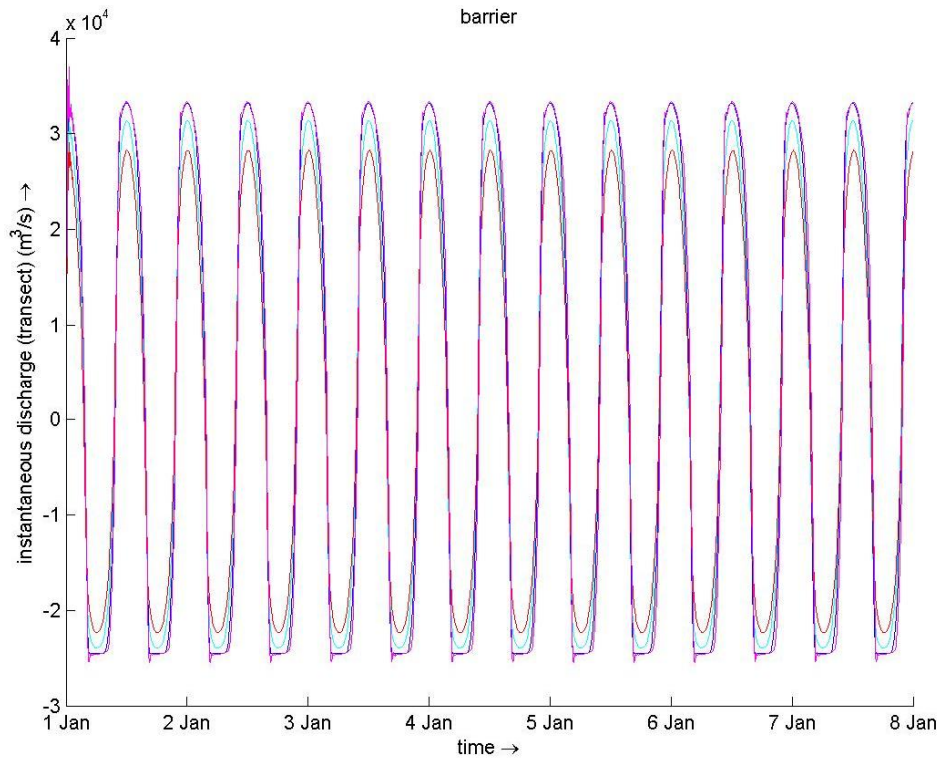


Figuur 16.1 Illustratie van Hammen testmodel voor kunstwerken





Figuur 16.2 Waterstanden voor en achter kunstwerk voor D-FLOW FM en Simona



Figuur 16.3 Debieten voor en achter kunstwerk voor D-FLOW FM en Simona

In Figuur 16.2 worden de waterstanden voor en achter het kunstwerk getoond. Figuur 16.3 toont het debiet door het kunstwerk.

Hieruit kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- D-Flow FM consistent qua overlaat- en kunstwerk afhandeling
- Simona consistent qua overlaat- en kunstwerk afhandeling
- D-Flow FM en Simona wijken onderling iets af omdat waterstandsprofielen rondom een kunstwerk iets verschillen en automatisch daardoor ook de debieten, die berekend worden op basis van het waterstandsverhang aan weerszijden van het kunstwerk.

Dit verklaart waarom in het Scalooost model ietwat afwijkende debieten optreden en vervolgens ook afwijkende waterstanden in het gebied rondom de kunstwerken.