

Memo

Aan

Martin Scholten (RWS-WVL) / Yann Friocourt (RWS-WVL)

Datum

6 januari 2021

Ons kenmerk

11205258-010-ZWS-0007

Aantal pagina's

1 van 59

Contactpersoon

Menno Genseberger

Doorkiesnummer

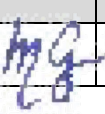


+31(0)88 335 8453

E-mail

Menno.Genseberger@deltares.nl

Onderwerp

verbeteringen/wijzigingen zesde-generatie D-Flow FM model Veluwerandmeren

auteur	review	goedkeuring
Menno Genseberger 	Arnout Bijlsma 	Johan Boon 

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Er wordt binnen het KPP-project MA07ab 2020 - Hydraulica schematisaties – zoet en zout continu gewerkt aan een samenhangend hydraulisch modelinstrumentarium, waarbij het aantal modelversies zoveel mogelijk wordt beperkt en de modellen zoveel mogelijk worden opgebouwd en ontwikkeld volgens dezelfde technieken en methodes (consistentie) en tevens onderling koppelbaar zijn. Deze modellen zijn, faciliterend aan overige KPP-projecten, zoals bijvoorbeeld het WK03 - Beslissings- en Ontwerp Instrumentarium (BOI), het MA01ac - Nationaal Watermodel (NWM) en de operationele voorspelsystemen (MA04 - RWsOS-en).

Het lange termijn doel is om de komende jaren te werken aan het completeren van de hydraulische modellen van het RWS beheergebied in de zesde-generatie, waarbij gebruik wordt gemaakt van de generieke functionele specificaties voor zesde generatie modellen en de software van de D-HYDRO Suite.

1.2 Zesde-generatie model Veluwerandmeren

In het kader van het KPP-project MA07ab 2020 - Hydraulica schematisaties – zoet en zout is eerder een eerste versie van het zesde-generatie D-HYDRO / D-Flow FM model van de Veluwerandmeren gemaakt [1]. In deze memo worden twee verbeteringen/wijzigingen beschreven aan dit model.

Als eerste is een actualisatie uitgevoerd naar een j19 modelversie met Baseline NL volgens het Baseline 6 protocol. Vanwege onvoldoende beschikbare recente gegevens is getracht ter verificatie van de actualisatie een historische storm te gebruiken waarvoor wel de benodigde randvoorwaarden en forceringen beschikbaar zijn.

Ten tweede is in de overgang van WAQUA naar D-Flow FM in [1] geconstateerd dat er verschillen optreden door een andere numerieke aanpak en benadering van de vergelijkingen voor windschuifspanning en viscositeit. Na verder onderzoek in [2] is dit gedeeltelijk opgelost en verwerkt in modelversies j10 en j18 in een update van de rapportage van [1]. Een verdere verbetering, zoals voorgesteld door [2] is het gebruik van een driedimensionaal model in plaats van een tweedimensionaal model, dit is nu getest.

Dit betreft een technische memo met resultaten van de bovengenoemde werkzaamheden.

1.3 Opbouw van deze memo

Na een overzicht van de gebruikte simulatiesoftware en reken hardware in sectie 2 volgt een korte systeembeschrijving in sectie 3. De actualisatie komt aan bod in sectie 4. Sectie 5 gaat over de uitgevoerde test met een driedimensionaal D-HYDRO / D-Flow FM model voor de Veluwerandmeren. Vervolgens is, als aanvulling (dit is een extra test), ook een BOI testcase gedraaid in sectie 6. O.a. omdat het Veluwerandmeren model ingezet gaat worden in de operationele voorspelsystemen wordt stilgestaan bij de rekestijden en parallelisatie in sectie 7. Sectie 8 sluit af met conclusies en aanbevelingen. zoals vastgelegd in een werkplan, voor de context verwijzen we naar dit werkplan [7].

2 Gebruikte hardware en software

Voor het draaien van het model is gebruik gemaakt van

D-Flow FM versies 64973 en 65541 en D-Flow FM uit de D-HYDRO / Delft3D FM release 2020.04 (aangestuurd met DIMR) op het Deltares H6 linux-cluster (Linux CentOS-6.5, nodes met elk 4 cores in 1 Intel Xeon E3-1276 v3 processor, 32 GB geheugen per node, 3.6 GHz per core, node aangeduid met **E3-1276 v3 node**)

en

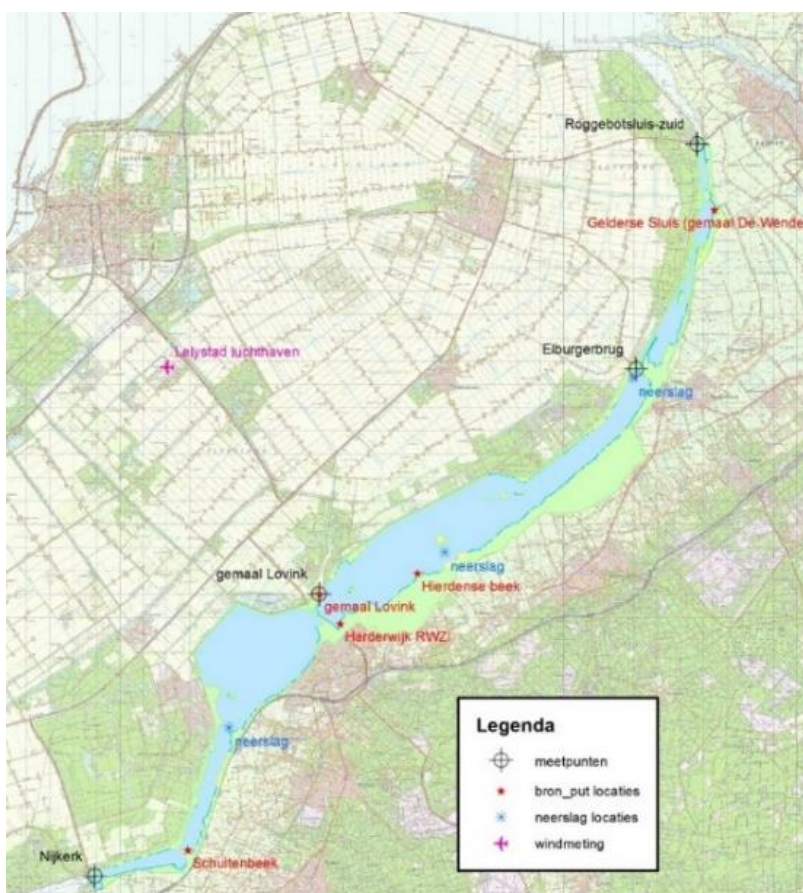
D-Flow FM uit de D-HYDRO / Delft3D FM release 2020.04 op de nationale supercomputer Cartesius bij SURFsara¹ (**Linux bullx**/Red Hat Enterprise 7, nodes met elk 32 cores in 2 Intel Xeon E5-2697A v4 processoren, 64 GB geheugen per node, 2.6 GHz per core, node aangeduid met **E5-2697A v4 node**).

3 Gebied en gegevens

3.1 Systeembeschrijving en meetgegevens

Er worden op drie verschillende stations waterstanden gemeten in dit gebied (Figuur 1): 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.

¹ We acknowledge that parts of the results of this research have been achieved using the DECI resource Cartesius based in The Netherlands at SURFsara with support from PRACE. The support of Maxime Mogé from SURFsara, The Netherlands to the technical work is gratefully acknowledged.



Figuur 1 Overzicht van de Veluwerandmeren met alle meetpunten, bronputten en locatie waar wind wordt gemeten.

Het gebied (Figuur 1) 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 Vossemeer) en Nijkerk (naar Eemmeer). De gebruikte waterstandsmetingen zijn weergegeven in Tabel 1. 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 1 Overzicht van meetfrequentie van bij bronnen gemeten waterstanden.

December 2013	
Nijkerk-oost	elke 10 minuten
Gemaal Lovink	elke 1 tot 2 minuten
Elburgerbrug	elke 10 minuten
Roggebotsluis-zuid	elke 10 minuten

Gegevens -met zeer wisselende opname frequentie- van gemaal Lovink komen van waterschap Zuiderzeeland. Gegevens voor de andere bronnen komen van RWS-CIV.

3.2 Randvoorwaarden historische storm december 2013

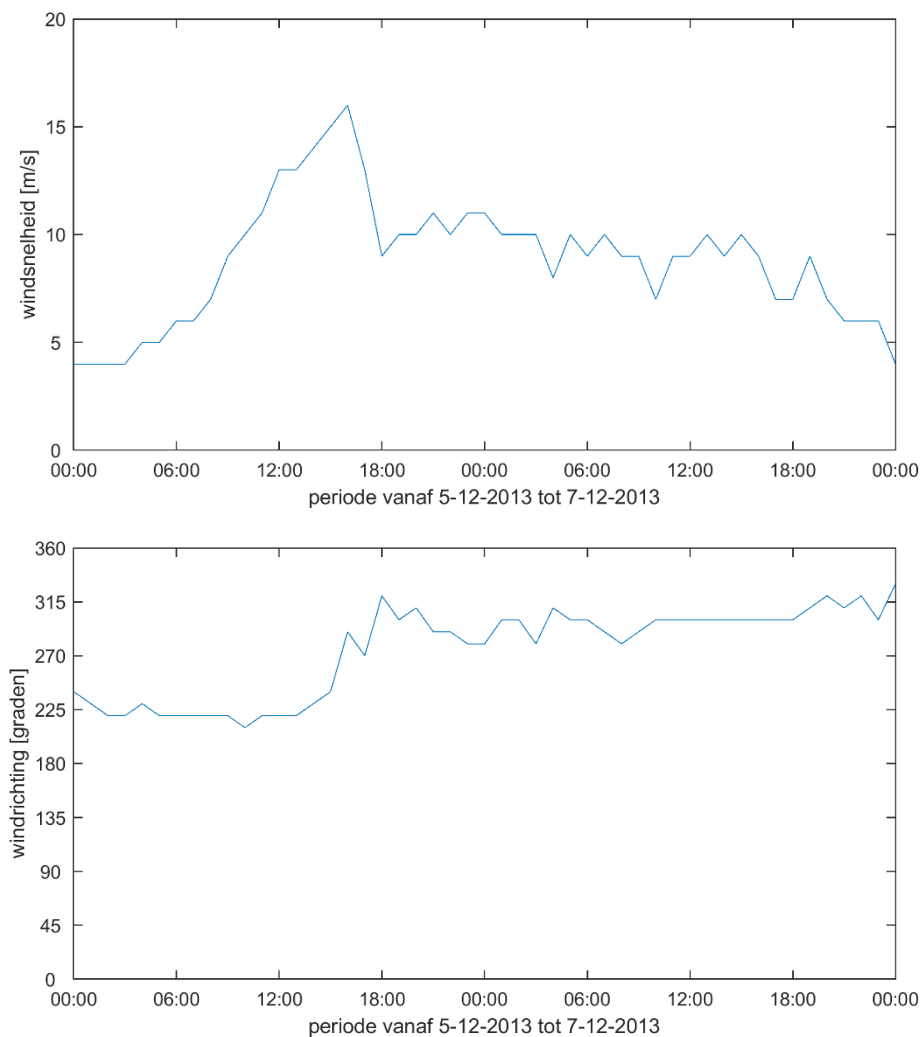
3.2.1 Lateralen

De bestanden met laterale bronnen zijn direct omgezet uit het overeenkomstige WAQUA model. Sommige bestanden met bronnen uit WAQUA beslaan niet de volledige simulatieperiode. 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 doet. Voor de precieze reeksen die zijn opgelegd wordt verwezen naar de rapportages van het 5^e generatiemodel [3].

3.2.2 Meteorologie

De simulaties zijn gedaan met een uniforme wind. Het uniforme wind bestand voor Veluwerandmeren is overgenomen uit de eerdere WAQUA berekeningen van [3]. Dit zijn uurlijkse metingen van station Lelystad luchthaven.

Op 5 december neemt de windsnelheid geleidelijk toe tot 16 m/s. De windrichting is aanvankelijk ZW, maar ruimt in de laatste uren voor de stormpiek naar WNW. De windsnelheid neemt snel af naar 10 m/s, tegelijkertijd is de windrichting nogal wisselend (W en NNW). Ook op 6 december blijft de wind vrij krachtig uit WNW richting waaien. Het verloop van de storm is te zien in Figuur 2. De stormpiek is om 15:00 op 5-12-2013.



Figuur 2 Uurlijkse waarden van windsnelheid (boven) en windrichting (onder) tijdens storm in de periode vanaf 5 december 2013 tot 7 december 2013 zoals gebruikt in de WAQUA en D-Flow FM modellen. Deze waarden zijn op basis van metingen bij Lelystad luchthaven.

3.3 Actualisatie randvoorwaarden en forceringen voor modelverificatie en -validatie

Het wordt sterk aanbevolen na te gaan hoe de huidige historische stormen die tot op heden gebruikt worden voor verificatie en validatie aangevuld kunnen worden met meer recente en relevante events (zie ook sectie 1.1.2 in het werkplan [7]). Door het nu ontbreken van voldoende goede recente gegevens hiervoor is het lastig om voor de huidige situatie geactualiseerde modelversies te kunnen beoordelen.

Hieronder als aanvulling daarop nog een aantal vragen die aan de orde kwamen tijdens het voorliggende werk.

Er is voor de storm die nu hier gebruikt wordt een opvallend verschil gezien (Figuur 3.7 in [3]) tussen ruimtelijk variërende wind met downscaling en uurlijkse wind op basis van metingen bij Lelystad luchthaven. Dit vertaalde zich ook door in de resultaten van het WAQUA j10 model dat met beide aanpakken voor de wind is geforceerd in [3]. Verschillende aspecten uit [3] vragen om een nadere duiding. O.a. is de windmeting gedaan op 10 m hoogte en gecorrigeerd voor obstakels in de omgeving? Of op een andere hoogte en niet gecorrigeerd? Welke windvelden zijn gedownscaled? Is dit modeluitvoer van de potentiële wind: of is er iets gedaan met land-water overgangen, een soort openwater correctie op bovenland gemeten wind? Wat te doen voor de nieuwe situatie waarbij ruimtelijke variërende wind door het KNMI wordt aangeleverd met HARMONIE i.p.v. HIRLAM?

Voor de nu gebruikte historisch storm is nogmaals (na [3]) nagegaan (o.a. omliggende meetstations in MATROOS²) dat er geen betere windgegevens beschikbaar zijn.

Verder is de vraag of windgegevens op uurbasis voldoende resolutie in de tijd geven voor een juiste forcering tijdens storm opzet in dit speciale meren systeem. Dit hangt mede af van de eigenfrequenties voor deze specifieke geometrie. Vergelijk hierbij eerdere analyses voor het IJsselmeer (zie o.a. [4]). In [5] is ook gekeken naar enkele locaties in de Veluwerandmeren. Afhankelijk van het resonantiegedrag zouden de hoger frequente signalen (met een amplitude van orde 0,15 m) de stormpiek kunnen versterken of reduceren.

Met een beter begrip van deze forcering en de bijbehorende systeem respons is het makkelijker na te gaan of/hoe vernauwingen voldoende in het model geschematiseerd zijn.

Mede op basis van eerdere uitgevoerde gevoeligheidsberekeningen voor de tijdstap van WAQUA (sectie 5.3 en bijlage E.3 in [3]) is de verwachting dat de wat flauwere respons van de berekende waterstand op de storm piek -in eerste instantie- niet ligt aan mogelijk te hoge waarden van de tijdstap zoals gebruikt voor de ondiep water solver (nu D-Flow FM binnen Delft3D FM/D-HYDRO i.p.v. WAQUA).

4 Actualisatie

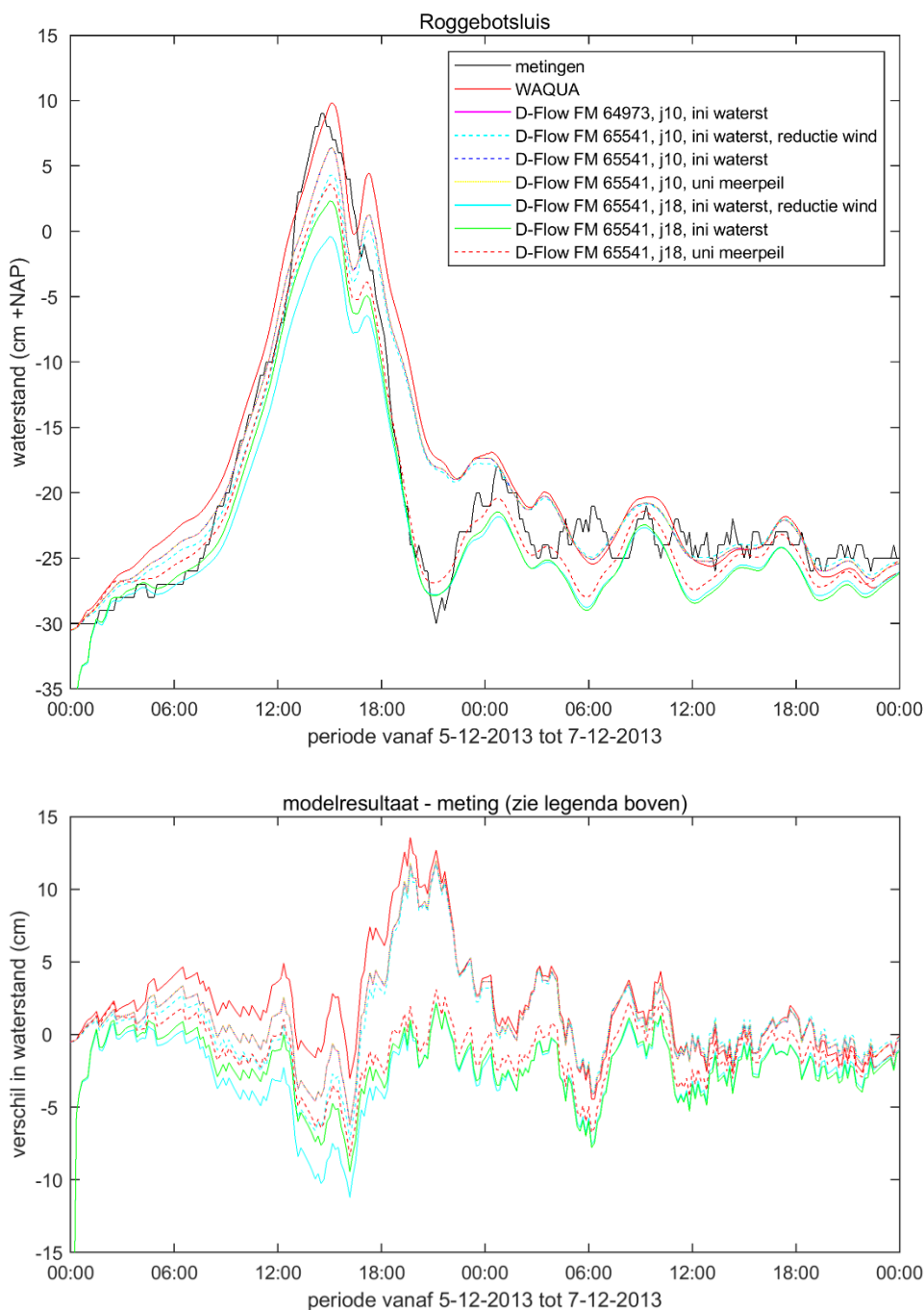
Het zesde-generatie model van het Veluwerandmeren uit [1] is geactualiseerd met Baseline NL j19 volgens het Baseline 6 protocol. Er is getracht een verificatieberekening uit te voeren met een historische storm in december 2013 waarvoor al de benodigde randvoorwaarden en forceringen beschikbaar zijn. Hiervoor is eerst het bepalen van de initiële condities verbeterd. Dit wordt geïllustreerd voor dezelfde historische storm.

4.1 Verbeteren initiële condities

In sectie 5.7.1 van [1] worden resultaten getoond waarbij voor de overgang van de j10 naar de j18 modelversie van de Veluwerandmeren verschillen optreden.

Ook trad er een verschil op bij zowel de j10 als de j18 modelversie bij de overgang van D-Flow FM versie 64973 naar 65541.

² Multifunctional Access Tool foR Operational Oceandata Services, matroos.rws.nl



Figuur 3 *Vergelijking van gemeten en met WAQUA en D-Flow FM berekende waterstand voor de stormperiode in december 2013 bij observatie station Roggebotsluis. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].*

Voor het verschil bij een vaste modelversie j10 (respectievelijk j18) en overgang van D-Flow FM versie 64973 naar 65541 is de oorzaak nu duidelijk. Dit komt door de introductie in de tussentijd van een nieuwe parameter Windpartialdry (“Reduce windstress on water if link partially dry, only for bedlevtyp=3, 0 = no, 1 = yes = default”) in D-Flow FM. De default waarde van deze parameter leidde voor de Veluwerandmeren tot een verschil met de oudere D-Flow FM versie 64973. Het waterstandsverschil is zo’n 2 centimeter tijdens de piek van de storm en treedt op voor zowel de j10 als j18 modelversie.

Vergelijk daarvoor D-Flow FM versie 65541 en met “ini waterst” zonder en met reductie wind (met reductie wind betekent Windpartialdry aan) voor respectievelijk modelversie j10 en j18 in Figuur 3. Dit is voor de Roggebotsluis, voor de andere drie observatie stations zie Figuur 15, Figuur 19 en Figuur 23 in bijlage B. Ook worden in deze figuur de resultaten getoond voor modelversie j10 met de oudere D-Flow FM versie 64973 (de magenta lijn in de figuur): deze vallen precies samen met de resultaten voor j10 met D-Flow FM versie 65541 zonder reductie wind (de donkerblauwe onderbroken lijn in de figuur). Zie voor een getalsmatige, relatieve vergelijking de tabellen in bijlage C. Gebruik daarbij voor modelversie j10 steeds kolommen 3 (D-Flow FM versie 64973), 4 (D-Flow FM versie 65541 met reductie wind) en 5 (D-Flow FM versie 65541 zonder reductie wind). Voor j18 gaat het om kolom 7 (D-Flow FM versie 65541 met reductie wind) en kolom 8 (D-Flow FM versie 65541 zonder reductie wind). Het is nu niet duidelijk waarom de nieuwe parameter Windpartialdry is geïntroduceerd. Er is voor gekozen dit nu niet verder uit te zoeken en dezelfde situatie te handhaven als in D-Flow FM versie 64973 door in het vervolg de waarde 0 (= no windstress reduction if link partially dry) te gebruiken voor de parameter Windpartialdry.

Bij de overgang van de j10 naar de j18 modelversie bleken de initiële condities voor j18 niet op orde. Voor j10 is een inspeelprocedure gebruikt voor het bepalen van de initiële waterstandscondities in een xyz bestand (zie sectie 4.4.3 in [1]). Deze waarden zijn naar het (voor de Reevedam) aangepaste rooster van j18 geïnterpoleerd. Tijdens deze interpolatie is het misgegaan. Daarom zijn de oorspronkelijke simulaties van j10 en j18 met deze initiële condities in een xyz bestand voor de historische storm in december 2013 opnieuw gedraaid. In Figuur 3 zijn deze resultaten aangegeven met “ini waterstand”. Ook zijn nu simulaties gedraaid waarbij i.p.v. initiële waterstandscondities in een xyz bestand een uniforme waterstand van -0.305 m +NAP is gebruikt (dit is precies de waarde die uit de inspeelprocedure volgt, zie Tabel 4.1 in [1]). In Figuur 3 zijn deze resultaten aangegeven met “uni meerpeil”. In deze figuur is te zien dat dit voor de j10 modelversie met D-Flow FM versie 65541 leidt tot identieke resultaten (de gele gestippelde lijn ligt precies op de donkerblauwe onderbroken lijn). Voor de j18 modelversie is er wel een verschil: met name bij de Roggebotsluis is dit te zien aan het begin van simulatieperiode. Bij de andere drie observatie stations, Figuur 15, Figuur 19 en Figuur 23 in bijlage B, is dit minder sterk omdat de interpolatie fouten rondom de Reevedam zitten, dat is dichterbij de Roggebotsluis. De initiële condities voor j18 zijn hiermee nu verbeterd. De verschillen die nu optreden tussen modelversies j10, j18 en de metingen lijken te komen door de ruimtelijke aanpassingen (o.a. rondom de Reevedam) die in modelversie j18 zitten maar niet in j10 en er nog niet waren tijdens de historische storm in december 2013 (voor de verschillen in bodemhoogte door de Reevedam: zie het noordoosten van de Veluwerandmeren voor j10 en j18 in Figuur 6 en Figuur 27).

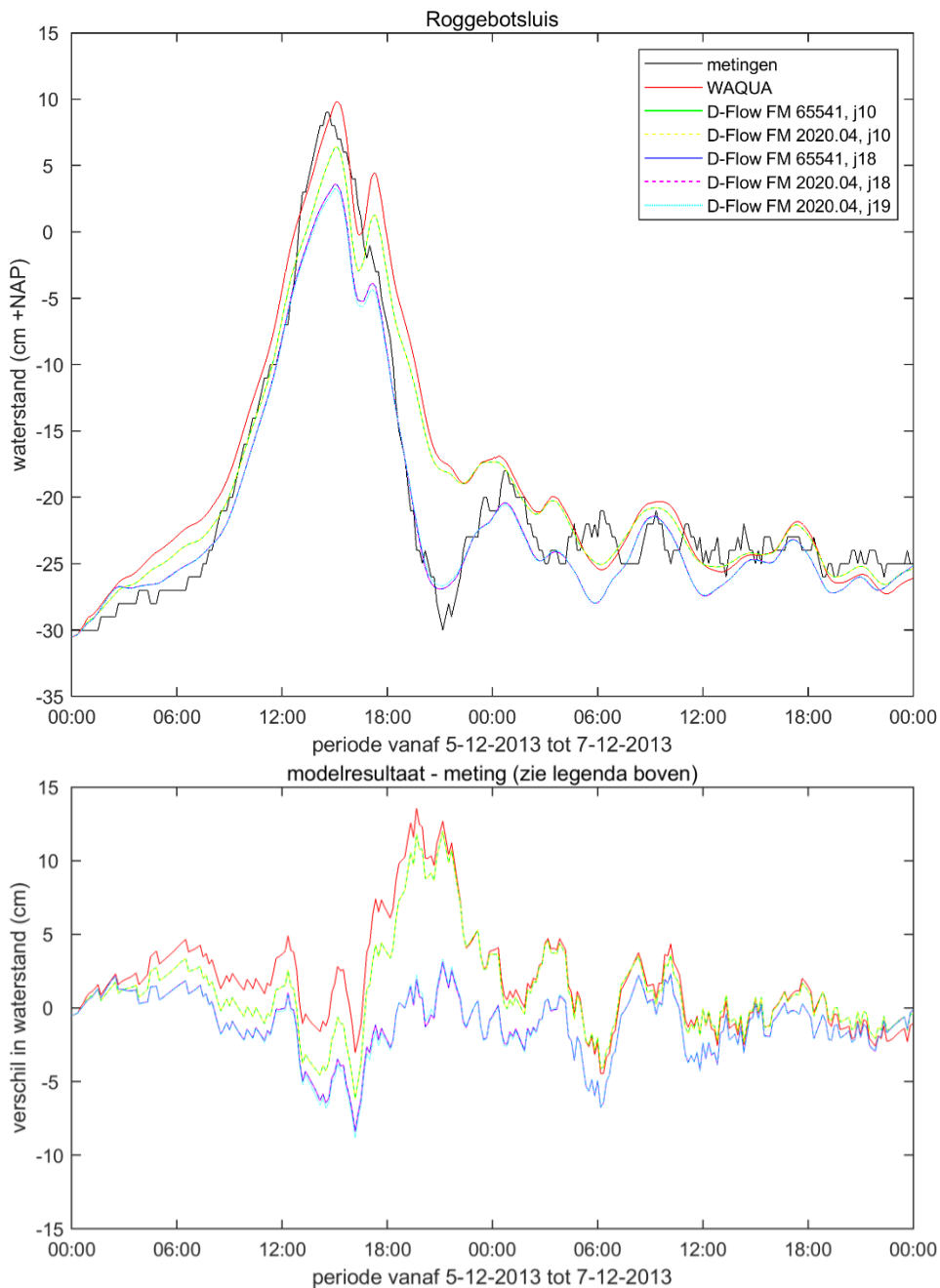
In de simulaties met j10 valt op dat de waterstanden aanvankelijk, voor de piek van de storm, te snel stijgen en na de piek te langzaam dalen. In j18 lijkt dat aspect op het oog beter te gaan wat opgevat zou kunnen worden als een verbetering aan het model. Echter, het sterke vermoeden is dat de modelgeometrie voor j18 zo veel gewijzigd is dat de respons van de waterstand op de wind over de gehele simulatieperiode lager is (en niet alleen vlak voor en na de piek van de storm, zie ook de voorgaande beschouwing in sectie 3.3). Om dit vermoeden te kunnen toetsen is het erg belangrijk dat voor een recente periode betere windgegevens beschikbaar komen voor de Veluwerandmeren.

Vanwege het voorgaande worden in deze memo alleen absolute vergelijkingen met deze metingen gedaan voor de j10 modelversie. Voor de nieuwere modelversies, j18 en j19 (volgende sectie), worden alleen relatieve vergelijkingen gedaan (het verschil van j18 met de metingen wordt alleen vergeleken met het verschil van j19 met de metingen, j18 of j19 worden niet vergeleken met de metingen zelf).

In het vervolg wordt voor de initiële waterstandscondities een uniforme waterstand van -0.305 m +NAP gebruikt (“uni meerpeil”) met een korte inspeeltijd van enkele uren aan het begin van de stormperiode.

4.2 Nieuwe j19 versie uit Baseline NL volgens Baseline 6 protocol

Voor het j10 en j18 model wordt eerst aangetoond dat de overgang van D-Flow FM versie 65541 naar D-Flow FM versie 2020.04 geen effect heeft op de berekende waterstanden. Figuur 4 laat dat zien: de waterstanden zoals die zijn berekend door de twee D-Flow FM versies voor het j10 (respectievelijk j18) model vallen over elkaar heen (vergelijkbare resultaten voor de andere drie observatiepunten in Figuur 16, Figuur 20 en Figuur 24 in bijlage B). Dit wordt bevestigd door de statistiek van de modelperformance in de tabellen in bijlage C (N.B. het gaat hier weer om een relatieve vergelijking: vergelijk in elke tabel voor j10 kolom 6 met kolom 10 en voor j18 kolom 9 met kolom 11).



Figuur 4 *Vergelijking van gemeten en met WAQUA en D-Flow FM berekende waterstand voor de stormperiode in december 2013 bij observatie station Roggebotsluis. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm]. (N.B. de waterstanden voor de twee runs met verschillende D-Flow FM versies met het j10 respectievelijk j18 model vallen over elkaar heen.)*

De invoerbestanden van de nieuwe versie j19 van het D-Flow FM model van de Veluwerandmeren zijn gegenereerd uit Baseline NL volgens het Baseline 6 protocol. Dat is anders dan de vorige twee modelversies, j10 en j18: deze zijn gegenereerd met Baseline 5. Er is een kleine verschilanalyse uitgevoerd op de invoerbestanden van j19 ten opzichte van die van j18.

De trachytopen-bestanden zijn verschillend (het bleek te bewerkelijk om deze verschillen inzichtelijk te maken). Daarnaast zijn ook de gebiedspecifieke ruwheidscodes voor de deelgebieden in de Veluwerandmeren hernummerd, zie Tabel 2.

Tabel 2 Gebiedspecifieke ruwheidscodes Veluwerandmeren

Veluwerandmeren	Baseline 5	Baseline 6
	RUWHEIDSCODE	ROUGHNESS_CODE
Nuldernauw	416	2600
Wolderwijd	417	2601
Aquaduct Knardijk	420	2601
Veluwemeer	418	2602
Drontermeer	419	2603

Voor de bodemruwheid wordt effectief, via de trachytopen, een Manning coëfficiënt met constante waarde van $0.0263 \text{ s} / \text{m}^{1/3}$ gebruikt voor alle deelgebieden in de Veluwerandmeren. Op een kleine gevoeligheidsanalyse na is afgelopen 25 jaar weinig veranderd aan deze gebruikte waarde. Voor een beschrijving van herkomst/geschiedenis van deze waarde zie bijlage E van [1].

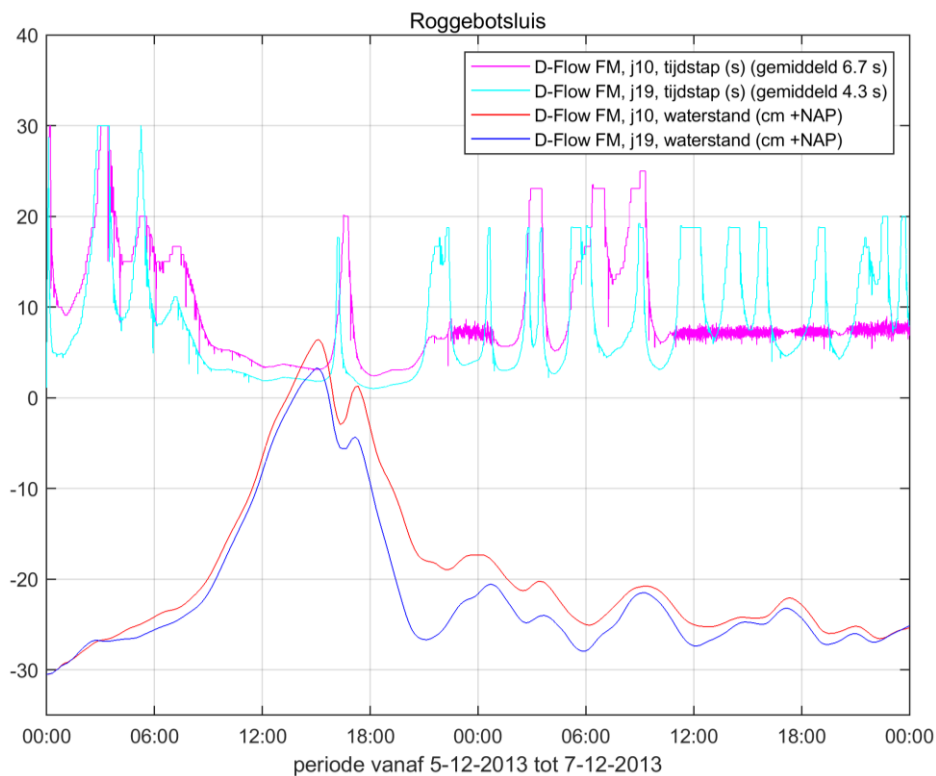
Omdat de afgelopen jaren de waterbodem van de Veluwerandmeren steeds meer en steeds langer door het jaar heen bedekt wordt door waterplanten wordt aanbevolen na te gaan of recente karteringen van waterplanten en schelpen/mosselen al meegenomen zijn in de ecotopen kartering (zie bijvoorbeeld bijlage F in [1]). Ook zou dan meteen nagegaan kunnen worden of lopende natuur- en waterkwaliteitsprojecten (zoals bij Nijkerkersluis) wijzigingen (o.a. in geometrie, soort bodembedekking) al doorgeven t.b.v. Baseline. Omdat het niet lukte met deze nieuwe codes in Tabel 2 voor Baseline 6 D-Flow FM voor het j19 model draaiend te krijgen is een work around gebruikt voor het verkrijgen van j19 modelresultaten voor deze memo. Met deze work around zijn effectief precies dezelfde ruwheden gebruikt in de berekeningen als bedoeld voor j19 volgens de Baseline 6 schematisatie, d.w.z. de hier gepresenteerde modelresultaten wijzigen daardoor niet. Dit wordt op een later moment nog opgelost zodat de work around niet meer nodig is in de uiteindelijke modelschematisatie.

De fixed weirs (bestand ...fixed_weirs.pliz) zijn voor versie j18 en versie j19 visueel nagelopen: er lijken geen verschillen te zijn.

Figuur 30 in bijlage G toont de verschillen in de bestanden met dunne dammen (...thin_dams.pli) en droge gebieden (...dry_areas.pol) voor modelversies j18 en j19. Deze verschillen zijn bij Harderwijk. Deze verschillen zijn naar alle waarschijnlijkheid te verklaren door een combinatie van Baseline maatregel vrm_hrdwk_a2 (niet te verwarren met maatregel vrm_hrdwk_a1 die zowel in j18 als j19 zit) en een andere afhandeling van dunne dammen door Bas2FM vanuit Baseline 6 dan vanuit Baseline 5.

Figuur 29 in bijlage G laat het verschil (m) van bodemhoogte van de j18 en j19 versies zien. Dit verschil is daarbij ingedeeld in verschillende klassen (11 punten met verschil groter dan 1 m, punten met verschil tussen 1 dm en 1 m, punten met verschil tussen 1 cm en 1 dm, punten met verschil tussen 1 mm en 1 cm en punten met verschil tussen 0 m en 1 mm). Dit verschil zit alleen aan de oevers. Het is niet duidelijk of dit verschil komt door gebruik van Baseline NL volgens het Baseline 6 protocol i.p.v. Baseline 5 of dat ook de gebruikte data gewijzigd is. Figuur 4 laat zien dat dit leidt tot vrij kleine verschillen in de waterstanden zoals berekend door D-Flow FM voor het j19 model (de lichtblauwe lijn) ten opzichte van versie j18 (de magenta onderbroken lijn) (vergelijkbare resultaten voor de andere drie observatiepunten in Figuur 16, Figuur 20 en Figuur 24 in bijlage B). Dit volgt ook door het (relatief) vergelijken van de twee meest rechtse kolommen in de tabellen in bijlage C. De respons van het D-Flow FM j19 model van de Veluwerandmeren op dezelfde windforcering is dus vrijwel hetzelfde als j18. De vrij kleine verschillen in de waterstanden zijn te verklaren uit de kleine verschillen in dunne dammen, droge gebieden en bodemhoogte. Vanwege deze gelijkenis tussen modelversie j18 en modelversie j19 is het erg belangrijk dat voor een recente periode betere windgegevens beschikbaar komen voor de Veluwerandmeren zoals uiteengezet in sectie 4.1. Zonder dat is het nu moeilijk om verder gericht advies te geven over de bruikbaarheid/toepasbaarheid van het geactualiseerde j19 model.

In Figuur 5 is de door j10 en j19 berekende waterstand bij Roggebotsluis uitgezet, tezamen met de bijbehorende automatische tijdstap. Dit om nogmaals te benadrukken dat j10 enerzijds en j18 en j19 anderzijds een verschillend probleem oplossen: de geometrie is anders (zie discussie in sectie 4.1). Daardoor kan, naast een andere respons van de waterstand op de windforcering, ook het verloop van de door D-Flow FM gebruikte automatische tijdstap verschillen. Figuur 5 illustreert dit. Let hierbij op dat de automatische tijdstap globaal, voor het gehele rekendomein bepaald wordt. Het is met de huidige D-Flow FM versies niet mogelijk om een ruimtelijk variërende tijdstap te hanteren die zich lokaal aanpast aan optredende lokale fysische fenomenen. N.B. het gemiddelde van de automatische tijdstap wordt bepaald door middeling over alle tijdstappen: een gemiddelde over de tijdstappen. Dit is anders dan een gemiddelde over de tijd (er zitten immers meer kleinere dan grotere tijdstappen in een bepaalde tijdseenheid). Dit verschil leidt ook tot een andere gemiddelde waarde dan wat je zou verwachten in Figuur 5.



Figuur 5 Door D-Flow FM j10 model en D-Flow FM j19 model berekende waterstand voor de stormperiode in december 2013 bij observatie station Roggebotsluis en bijbehorende automatische tijdstap (zie opmerking in hoofdtekst over hoe deze bepaald is).

5 Test met driedimensionaal D-Flow FM model

In de overgang van WAQUA naar D-Flow FM is eerder voor de Veluwerandmeren geconstateerd dat er verschillen optreden door een andere numerieke aanpak en benadering van de vergelijkingen voor windschuifspanning en viscositeit.

Na verder onderzoek in [2] is dit gedeeltelijk opgelost en verwerkt in modelversies j10 en j18 in een update van rapportage [1]. Een verdere verbetering, zoals voorgesteld in [2] is het gebruik van een driedimensionaal model in plaats van een twee dimensionaal model.

5.1 Aanpak

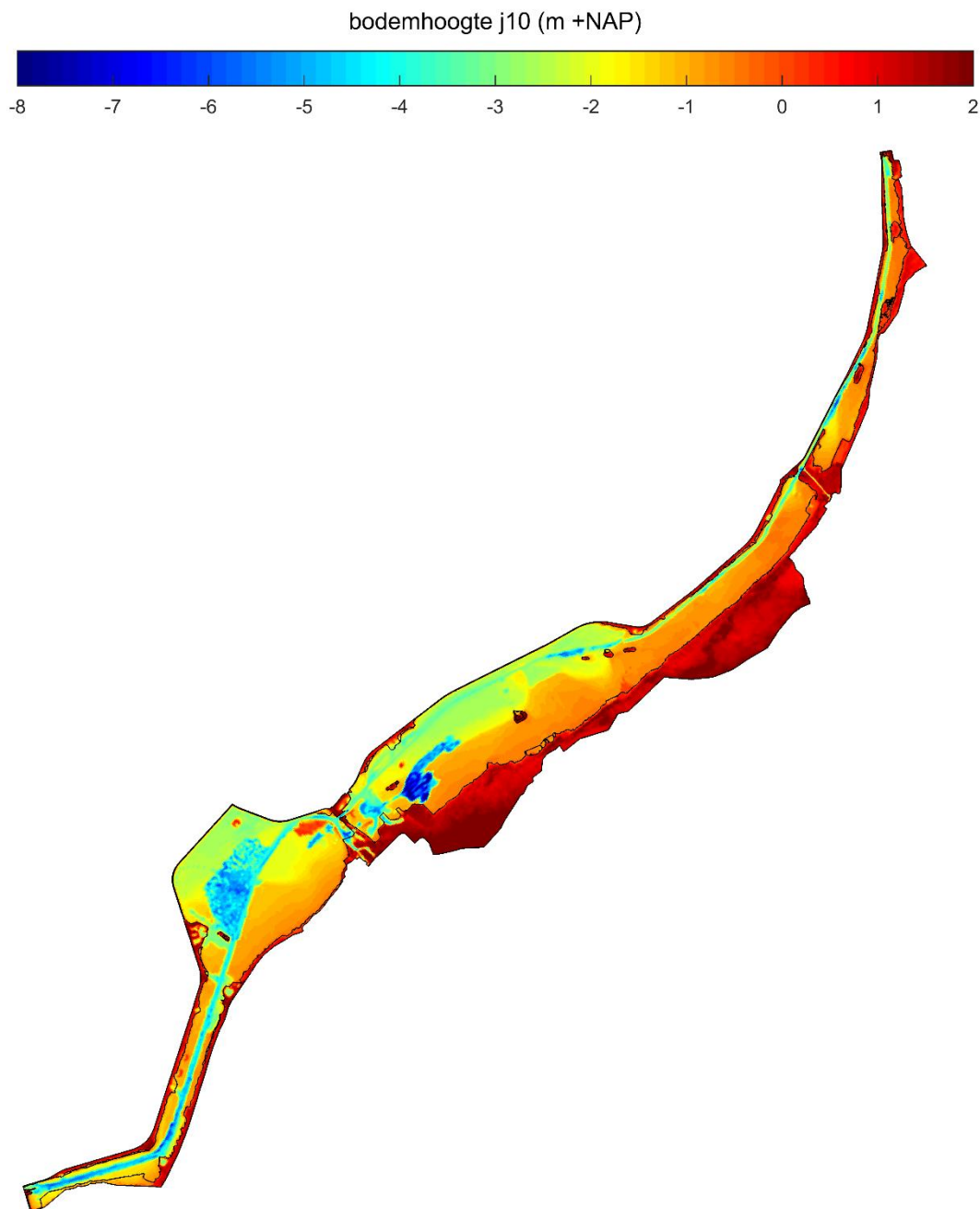
Uitgangspunt zijn de in [2] gebruikte instellingen. Er is een vergelijking uitgevoerd van de modelinstellingen van de zesde-generatie driedimensionale D-Flow FM modellen voor IJsselmeer, Noordzeekanaal/Amsterdam Rijnkanaal en Noordzee. Op basis van deze vergelijking, de generieke instellingen voor de zesde-generatie modellen en de modelinstellingen van het diepte gemiddelde D-Flow FM model zijn eerste modelinstellingen afgeleid voor het driedimensionale model.

De twee belangrijkste instellingen betreffen de windschuifspanning en de bodemruwheid. De bodemruwheid is al beschreven in sectie 4.2 (ter hoogte van Tabel 2). Net zoals de bodemruwheid is ook de windschuifspanningscoëfficiënt weinig veranderd afgelopen decennia: dit trapvormige profiel wordt al gebruikt sinds 1997 [9]. Bij het maken van eerdere WAQUA modelschematisaties voor Markermeer en Veluwerandmeren is eerder niet echt sprake geweest van kalibratie.

Daarom is voor het diepte gemiddelde D-Flow FM model in [1] met inbreng van verschillende experts nagegaan wat een goede te volgen kalibratiestrategie zou zijn. We benoemen nu de belangrijkste punten daarvan, zie voor een meer uitgebreide beschouwing sectie 5.1 van [1]. Nagegaan is of een pragmatische aanpak binnen budget en doorlooptijd haalbaar was, er bleken echter verschillende inhoudelijke argumenten te zijn die om verdere verdieping/overweging vroegen. Voor wind is door experts aangegeven om een zo zuiver mogelijke windinput te gebruiken die het meest overeenkomt met de gemeten openwater wind. Daarbij hoort een zo zuiver mogelijke windschuifspanningscoëfficiënt die consistent gebruikt moet worden in alle modellen in de modelketen voor wind, waterbeweging en golven. Ook is toen geadviseerd voor het zesde-generatie model over te stappen op een driedimensionale aanpak: "Ga niet een 2D model kalibreren op waterstanden op basis van bodemruwheid, maar maak het model 3D en stop er meer fysica in." Uiteindelijk is in [1] uitgegaan van een diepte-gemiddelde aanpak met D-Flow FM en zijn alle beoogde stormperiodes gedraaid met het vijfde-generatie WAQUA en het zesde-generatie D-Flow FM model van de Veluwerandmeren. Er is geen kalibratie uitgevoerd: voor het diepte-gemiddelde D-Flow FM model zijn de instellingen waaronder de windschuifspanningscoëfficiënt en de bodemruwheid zo goed als mogelijk overgenomen van het WAQUA model.

Aan de hand van expert judgement en een aantal eerste testruns zijn nog aanpassingen verricht aan de modelinstellingen voor het driedimensionale D-Flow FM model (zie Tabel 8 t/m Tabel 13 in bijlage A). Het driedimensionale model is gedraaid met de eerder in [1] en [3] gebruikte historische storm in december 2013, dezelfde als nu ook gebruikt voor de actualisatie.

Hierbij zijn een aantal instellingen gevarieerd, dit betreft met name de verticale verdeling van rekenlagen (specifieke instellingen en de variaties daarop staan in bijlage A). De uitkomsten zijn vergeleken met de resultaten van het twee dimensionale model en met metingen.



Figuur 6 Bodemhoogte (m +NAP) in D-Flow FM j10 model.

5.2 Effect van verticale laagverdeling

Uitgaande van het j10 model voor D-Flow FM versie 2020.04 met “ini meerpeil” (zie sectie 4.1) en resultaten in drie dimensies in [2] is nagegaan hoe de resultaten voor de historische storm in december 2013 veranderen bij gebruik van meerdere rekenlagen in de verticaal. Hierbij zijn er meerdere configuraties voor een verticale verdeling van rekenlagen mogelijk. Figuur 6 laat de bodemhoogte in het j10 model zien: een gebied met grote ondiepe zones aan de zuidoever (restanten van de Zuiderzee van voor de aanleg van de Flevopolder), een vrij smalle vaargeul en enkele diepe putten. Omdat het doel is om vooral het effect van retourstroming in de vaargeul op de waterstand mee te nemen is een pragmatische keuze gemaakt: op basis van de bodemhoogte is afgeschat dat de vaargeul voor het gehele gebied effectief 2.8 m diep is.

In de Veluwerandmeren is de waterstand gemiddeld $-0.3 \text{ m} + \text{NAP}$ en fluctueert de waterstand tussen zo'n $-0.6 \text{ m} + \text{NAP}$ en $+0.1 \text{ m} + \text{NAP}$. Een wat grotere range van $-0.9 \text{ m} + \text{NAP}$ tot $+0.35 \text{ m} + \text{NAP}$ geeft extra marge voor extremere condities zoals bij BOI. We verwachten dat voor een goede driedimensionale modellering voor deze range zo'n 10 tot 30 rekenlagen nodig zijn.

Voor een verticale rekenlaagverdeling met z-sigma lagen worden hiervoor de volgende twee configuraties getest:

- **"3D, 5 σ + Z, $\Delta Z = 25 \text{ cm}$ "**: 5 sigma lagen tussen $-0.9 \text{ m} + \text{NAP}$ en $+0.35 \text{ m} + \text{NAP}$ bovenaan, Z lagen met vaste dikte van 25 cm vanaf onder $-0.9 \text{ m} + \text{NAP}$ tot aan de bodem (zie ook Tabel 20 in bijlage A).
- **"3D, 10 σ + Z, $\Delta Z = 12.5 \text{ cm}$ "**: 10 sigma lagen tussen $-0.9 \text{ m} + \text{NAP}$ en $+0.35 \text{ m} + \text{NAP}$ bovenaan, Z lagen met vaste dikte van 12.5 cm vanaf onder $-0.9 \text{ m} + \text{NAP}$ tot aan de bodem (zie ook Tabel 21 in bijlage A).

Verder zijn er configuraties getest met 5 ("**3D, 5 σ** "), 10 ("**3D, 10 σ** ") en 20 ("**3D, 20 σ** ") sigma lagen, uniform verdeeld over de gehele waterdiepte in de verticale richting.

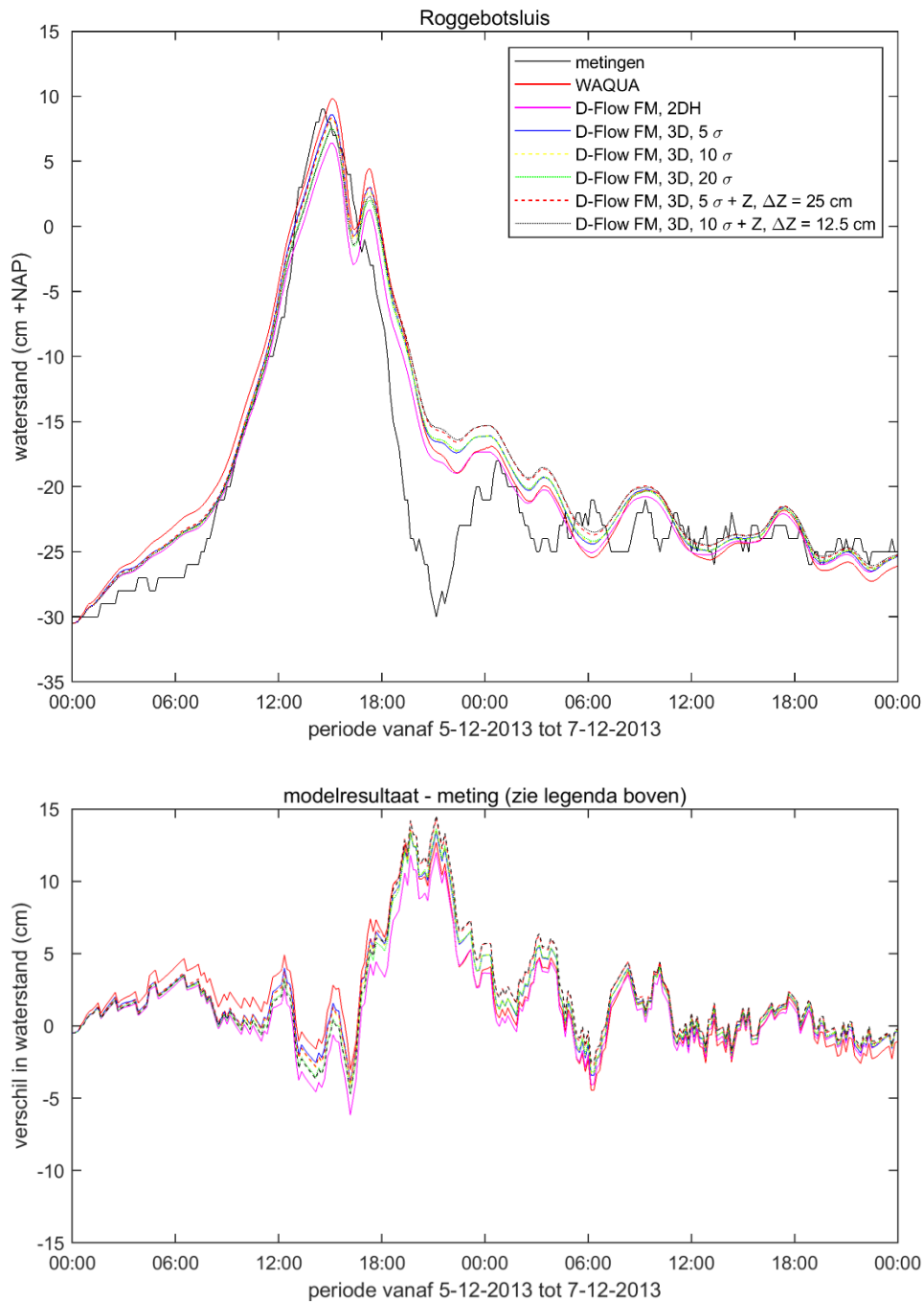
Ook is bij het bepalen van de statistiek van de modelperformance in bijlage D voor de verschillende configuraties nagegaan wat de bijbehorende rekentijden zijn zodat beide aspecten, indien nodig, afgewogen kunnen worden. Tevens is nagegaan dat het parallel draaien met 32 partities niet leidt tot significante verschillen in de rekenresultaten ten opzichte van het serieel draaien met 1 partitie.

Figuur 7 laat de resultaten voor de waterstand zien bij observatiestation Roggebotsluis (zie bijlage A voor de verschillende gebruikte instellingen en bijlage C voor Figuur 17, Figuur 21 en Figuur 25 met resultaten voor de andere observatiestations).

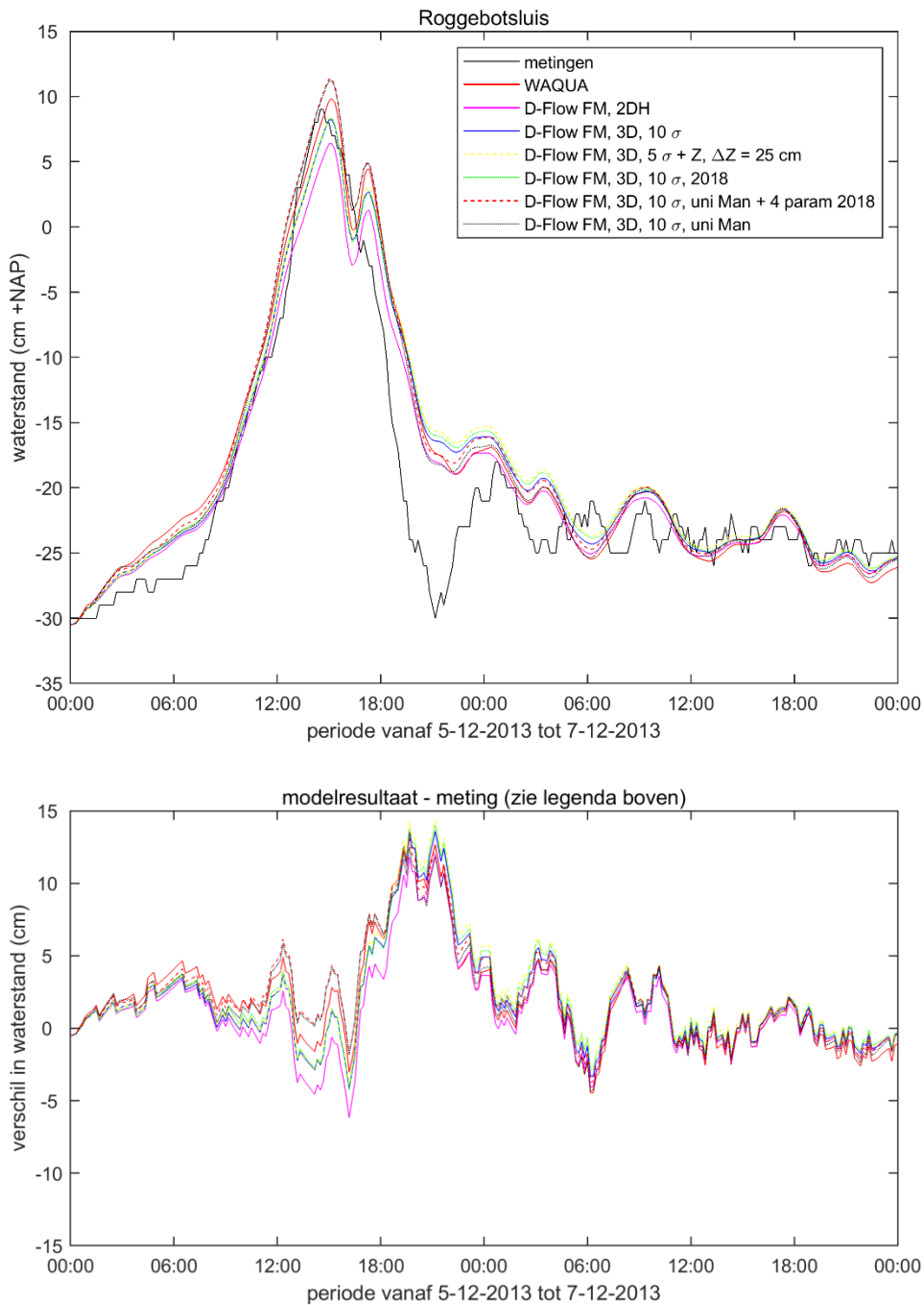
In Figuur 8 is te zien dat in de driedimensionale run uit [2] alleen de ruwheid in essentie verschilt (Figuur 18, Figuur 22 en Figuur 26 in bijlage C voor de andere observatiestations). Daar was de gebruikte waarde volgens de formule van Manning 0.023 terwijl bij de andere aanpak een waarde van 0.0263 gebruikt wordt voor de deelgebieden in de Veluwerandmeren. De effecten op de waterstand bij gebruik van deze verschillende waarden (0.023 of 0.0263) voor de ruwheid zijn eerder voor de randmeren gezien in [6] (Delft2D-FLOW Gooi- en Eemmeer), [3] (WAQUA Veluwerandmeren) en [1] (schematisch model Veluwerandmeren).

Voor het D-Flow FM j10 model van de Veluwerandmeren dat qua geometrie representatief is voor de beschouwde situatie in 2013 kan geconcludeerd worden dat met een driedimensionale aanpak beter in de buurt van gemeten extreme waterstanden gekomen wordt dan met een dieptegemiddelde aanpak. In een aantal gevallen heeft een wat andere waarde voor de ruwheid ook een positief effect.

Echter, de respons van de gesimuleerde waterstanden is minder scherp dan de gemeten waterstanden en er lijkt een mismatch te zijn met meer hoogfrequente signalen. Zie bijvoorbeeld de flauwere daling -dan gemeten- van de waterstand na de piek van de storm in Figuur 8: met verschillende modelinstellingen kan dit niet verder verbeterd worden. Voor het Markermeer is recent [8] een vergelijkbare observatie gedaan: er zal eerst gezorgd moeten worden voor een betere windforcering voordat het model verder verbeterd kan worden.



Figuur 7 Vergelijking van gemeten en met WAQUA en D-Flow FM berekende waterstand voor de stormperiode in december 2013 bij observatie station Roggebotsluis. Boven waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].



Figuur 8 *Vergelijking van gemeten en met WAQUA en D-Flow FM berekende waterstand voor de stormperiode in december 2013 bij observatie station Roggebotsluis. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].*

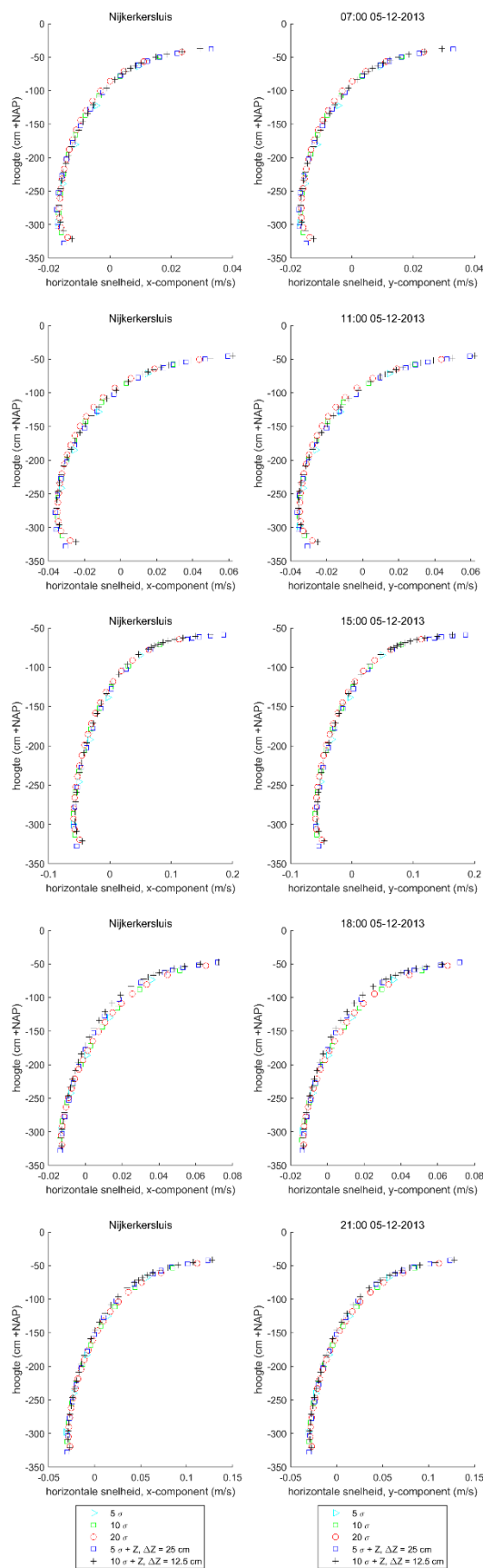
Om wat meer gevoel te krijgen over het driedimensionale (model) gedrag wordt nu gekeken naar de verticale verdeling van de horizontale snelheid. Figuur 9, Figuur 10, Figuur 11 en Figuur 12 laten dit zien voor de verschillende configuraties op 5 verschillende momenten (7 u, 11 u, 15 u, 18 u en 21 u) tijdens de storm op 5 december 2013. Let op dat het observatiepunt bij Roggebotsluis ondieper is dan andere observatiepunten, hierdoor zijn voor dat punt de onderste Z-lagen niet actief. Deze berekende snelheden worden nu niet uitgebreid geïnterpreteerd: om echt te kunnen beoordelen wat goed is zijn snelheidsmetingen nodig. Ook dient opgemerkt te worden dat de z-sigma lagen functionaliteit in D-Flow FM nog in ontwikkeling is. De figuren worden nu vooral getoond om te illustreren dat rondom de storm er volgens het model in drie dimensionale mode retourstroming optreedt.

Bij de twee observatiepunten aan de uiteinden van de "gesloten bak", Nijkerkersluis (Figuur 9) en Roggebotsluis (Figuur 11) is voor alle configuraties een retourstroming aan de bodem te zien (tegengesteld aan de wind gedreven stroming bij het wateroppervlak). Dit is in werkelijkheid ook te verwachten omdat het water daar niet op een andere wijze weg kan. Over het algemeen lijkt voor Nijkerkersluis en Roggebotsluis de verticale verdeling van de horizontale snelheid voor de verschillende configuraties hetzelfde te zijn.

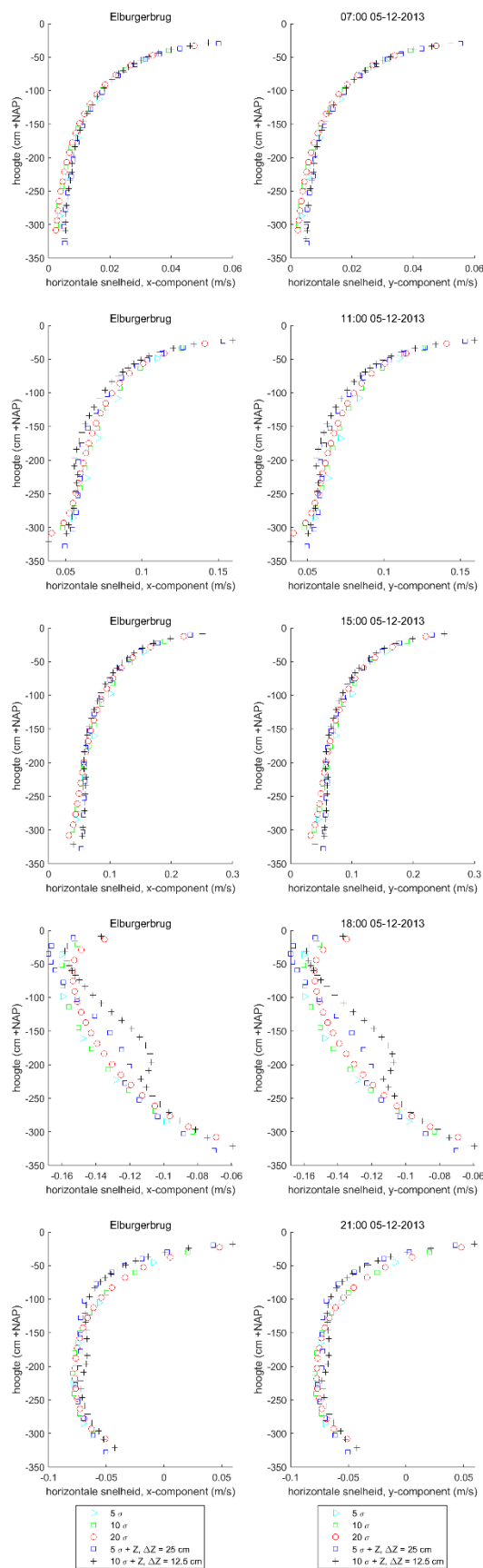
Bij observatiepunt Elburgerbrug (Figuur 10) wordt het interessanter: na het passeren van de piek van de storm rond 15 u draait de snelheid om, het eerst door de storm naar het noordoosten opgestuwde water stroomt dan terug. Opvallend is dat vanaf dat moment de verticale verdeling van de horizontale snelheid bij z-sigma lagen af gaat wijken van die bij sigma lagen.

Bij observatiepunt Lovink (Figuur 12) wijkt de verticale verdeling van de horizontale snelheid voor alle configuraties van elkaar af. Mogelijk heeft dat te maken met de ligging in het gebied (vlakbij de rand en naast een haven en een brug) en leidt een lokale verfijning van het model tot meer consistent gedrag tussen de verschillende configuraties.

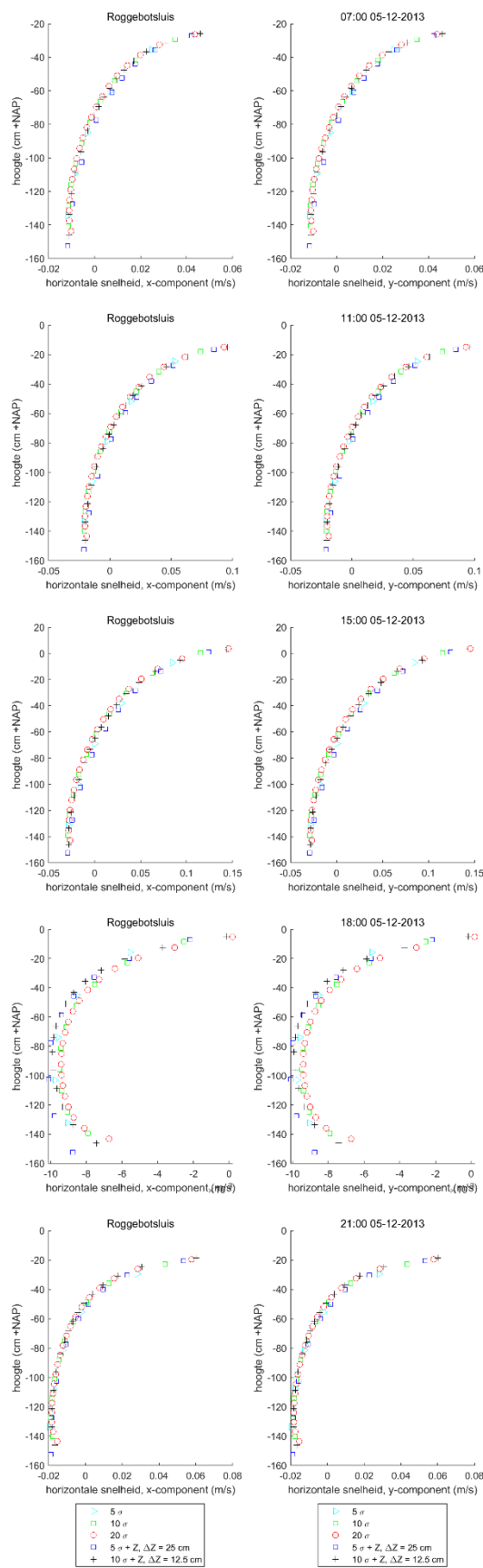
Een verdere analyse van deze waarnemingen zou goed zijn, dit valt nu echter buiten de scope. Het verdient de voorkeur zo'n analyse uit te voeren voor een situatie met een betere windforcering en voldoende metingen (ook van snelheden) om beter in staat te zijn om een oordeel te geven. Dit als basis voor het geschikt maken van het model voor toepassingen waar transport, mengprocessen en gelaagdheid belangrijk zijn (bijvoorbeeld stratificatie in putten t.b.v. waterkwaliteit).



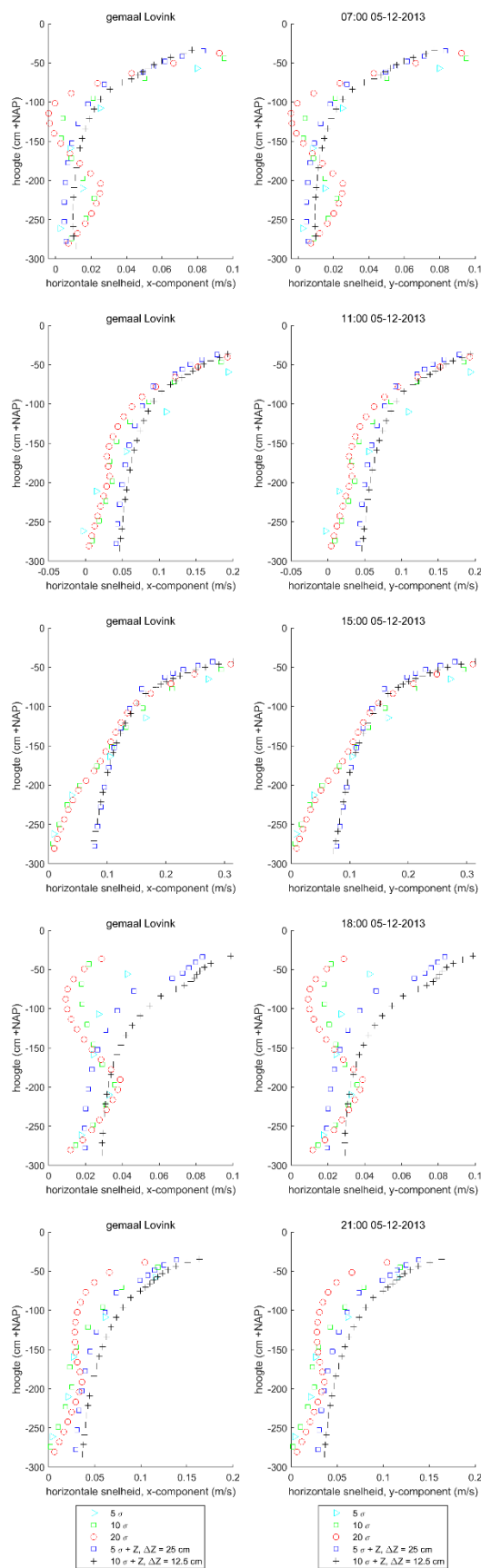
Figuur 9 Verticale verdeling van horizontale snelheid (x-component links, y-component rechts) voor D-Flow FM model met verschillende verticale laagverdelingen op 5 verschillende momenten tijdens de storm op 5 december 2013 bij observatie station Nijkerkersluis.



Figuur 10 Verticale verdeling van horizontale snelheid (x-component links, y-component rechts) voor D-Flow FM model met verschillende verticale laagverdelingen op 5 verschillende momenten tijdens de storm op 5 december 2013 bij observatie station Elburgerbrug.



Figuur 11 Verticale verdeling van horizontale snelheid (x-component links, y-component rechts) voor D-Flow FM model met verschillende verticale laagverdelingen op 5 verschillende momenten tijdens de storm op 5 december 2013 bij observatie station Roggebotsluis.



Figuur 12 Verticale verdeling van horizontale snelheid (x-component links, y-component rechts) voor D-Flow FM model met verschillende verticale laagverdelingen op 5 verschillende momenten tijdens de storm op 5 december 2013 bij observatie station gemaal Lovink.

6 BOI testcase

Tijdens het interpreteren van de resultaten zoals gerapporteerd in sectie 5.2 ontstond de vraag hoe dit uitpakt voor meer extreme condities. Daarom is aanvullend een typische BOI testcase gedraaid met het D-Flow FM model van de Veluwerandmeren. Dit voor de volgende configuraties:

- het 2DH uitgangspunt voor de 3D configuraties (j10 model voor D-Flow FM versie 2020.04 met “ini meerpeil”);
- de 3D configuratie met 5 sigma lagen (“**3D, 5 σ** ”);
- de 3D configuratie met 10 sigma lagen (“**3D, 10 σ** ”); en
- de 3D configuratie met 5 sigma lagen bovenaan en daaronder Z lagen met vaste dikte van 25 cm (“**3D, 5 σ + Z, $\Delta Z = 25$ cm**”).

Hiervoor wordt dezelfde BOI testcase gebruikt als in sectie H.2 van bijlage H uit [1]. Dit betreft een testcase zonder in-/uitstroom bij de randen (“gesloten bak”), met een uniform meerpeil als initiële conditie en als aandrijvende kracht een synthetische wind. Deze sterke wind, uit het westzuidwesten, is weergegeven in Tabel 3: hierbij worden windsterke en –richting op tussengelegen momenten lineair geïnterpoleerd. Ten opzichte van [1] is er één wijziging gemaakt: er wordt nu een uniform meerpeil genomen van -0.305 m +NAP i.p.v. -0.21 m +NAP.

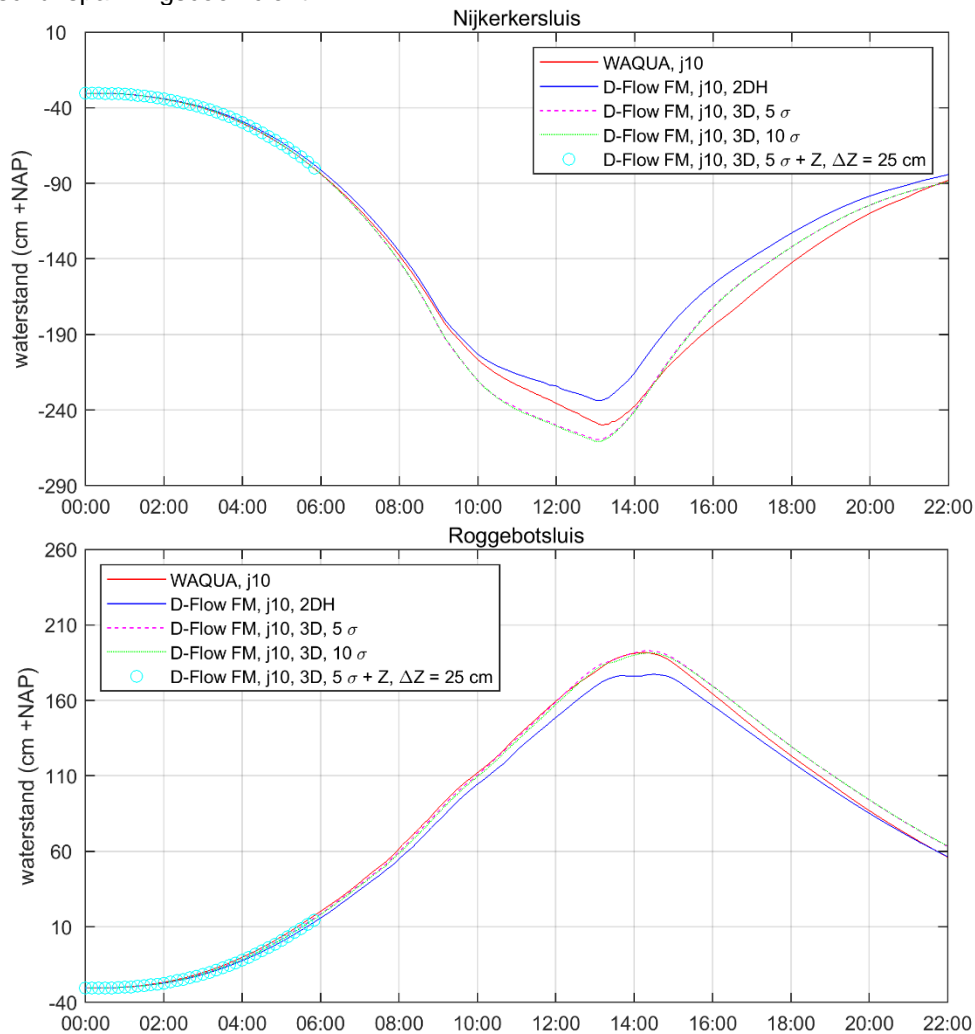
Tabel 3 Gebuikte synthetische wind voor BOI testcase.

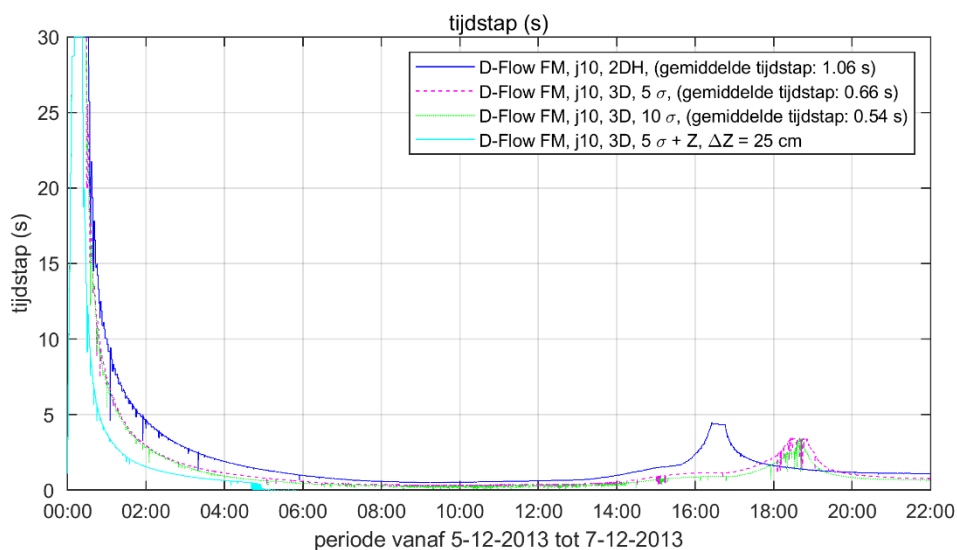
tijd (uur)	windsterke (m/s)	windrichting (° nautisch)
0:00	0	207.9
9:00	34.4	247.5
13:00	34.4	251.9
22:00	0	261.8

Figuur 13 laat voor deze testcase de waterstand bij observatie stations Roggebotsluis en Nijkerkersluis zien zoals berekend door D-Flow FM model voor de beschouwde configuraties. Onderaan in deze figuur het verloop van de automatische tijdstap van D-Flow FM tijdens simulatie, in de legenda wordt de bijbehorende gemiddelde rekentijdstap vermeld. (Dit laatste wordt ook vermeld in Tabel 38 in bijlage E, tevens daar in Tabel 39 de bijbehorende rekentijden.) Opvallend is dat voor de configuratie met z-sigma lagen (“**3D, 5 σ + Z, $\Delta Z = 25$ cm**”) D-Flow FM de simulatie niet binnen een redelijke tijd kon afronden. Het duurde al 5 dagen om de eerste 6 uur van de simulatieperiode van 22 uur door te rekenen. Zie de lichtblauwe cirkels in Figuur 13 voor de berekende waterstand in deze eerste 6 uur: dit komt overeen met de andere configuraties (die wel een stuk sneller rekenen). Onderaan in deze figuur laat de lichtblauwe lijn het verloop van de automatische rekentijdstap voor deze configuratie zien: deze neemt waarden aan tussen 0.0001 s en 0.004 s.

In Figuur 13 is te zien dat de 3D configuraties met 5 en 10 sigma lagen een grotere waterstandsverhoging (respectievelijk -verlaging) voorspellen dan het D-Flow FM model in diepte gemiddelde mode. Ter vergelijking zijn resultaten van het WAQUA j10 model uit Figuur H.6 uit [1] erbij gezet. Voor een betere vergelijking is gecorrigeerd met het verschil van het gebruikte uniforme meerpeil (0.305 m – 0.21 m = 0.095 m). Het huidige 2DH versie van het D-Flow FM model ligt dicht bij WAQUA dan oorspronkelijk in [1], wat hierin beter is is zonder aanvullende informatie (bijvoorbeeld metingen, schaalexperiment, analytische case) niet aan te geven. De 3D configuraties van het D-Flow FM model met 5 en 10 sigma lagen berekenen voor Roggebotsluis vrijwel dezelfde waterstandsverhoging als WAQUA tijdens de piek van de storm.

Voor Nijkerkersluis voorspellen ze een wat grotere waterstandsverlaging dan WAQUA (verschil orde 10 cm). Uit deze aanvullende testcase met meer extreme condities kunnen verder geen conclusies getrokken worden. Er zal hier nader naar gekeken moeten worden. Denk daarbij aan het effect van verschillen in het gebruikte WAQUA en D-Flow FM model (bijvoorbeeld ander rekenrooster, andere numerieke afhandelingen van specifieke aspecten) en of de beschouwde windsterkte nog wel valt binnen het toepassingsbereik van de gebruikte windschuifspanningscoëfficiënt.





Figuur 13 Resultaten van de BOI testcase: de door WAQUA j10 en D-Flow FM j10 berekende waterstand bij observatie station Roggebotsluis (boven) en Nijkerkersluis (midden) en het verloop van de automatische tijdstep van D-Flow FM tijdens de simulatie (beneden).

7 Rekentijden en parallelisatie

Zoals gemeld in sectie 5 is tijdens het bepalen van de statistiek voor de modelperformance (in bijlage D) voor de verschillende configuraties ook nagegaan wat de bijbehorende rekestijden zijn zodat beide aspecten, indien nodig, afgewogen kunnen worden.

Aanvullend daarop wordt hier gekeken naar de wall clock tijd en schaalbaarheid³ van het D-Flow FM model voor de Veluwerandmeren in diepte gemiddelde mode “2DH” (j10 model voor D-Flow FM versie 2020.04 met “ini meerpeil”) en in driedimensionale mode met een verticale rekenlaagverdeling “3D, 5 σ + Z, $\Delta Z = 25$ cm” (op basis van j10 model voor D-Flow FM versie 2020.04 met “ini meerpeil”). Deze zijn bepaald op **E3-1276 v3 nodes** en **E5-2697A v4 nodes** voor D-HYDRO / Delft3D FM release 2020.04 (details hardware/software in sectie 2).

De rekestijd en schaalbaarheid zijn bepaald voor de stormperiode in december 2013. De bijbehorende simulatieperiode is 2 dagen en omvat het voortraject tot aan de storm en de storm zelf. Ook worden de voor dit geval typische I/O (inlezen van invoer en wegschrijven van uitvoer) tijdens modelsimulatie meegenomen in de rekestijden. Omdat D-Flow FM automatisch de tijdstep aanpast kan het zijn dat vooral tijdens de piek van de storm meer tijdsteps verricht worden. Hierdoor is er op dat moment een grotere rekestijd. De hier gepresenteerde rekestijden dienen als indicatie van wat te verwachten is. Voor typisch andere toepassingen wordt aanbevolen ter verdere aanscherping altijd de rekestijd specifiek te bepalen. De hier gepresenteerde resultaten kunnen daarbij wel gebruikt worden voor het omrekenen naar andere hardware en andere aantallen cores/nodes.

Voor de wall clock tijd is de laatst gemelde waarde van “total time in timeloop” uit de D-Flow FM schermuitvoer genomen. Er is gemeten voor de volledige 2 simulatiedagen, dit getal is door 2 gedeeld: de hier gepresenteerde wall clock tijden geven de werkelijke tijd aan die nodig is om gemiddeld 1 dag te simuleren met het model.

³ Hierbij wordt de rekestijd van een modelsimulatie met D-Flow FM op X cores (of X nodes) gedeeld door de rekestijd van dezelfde modelsimulatie op 1 core (of 1 node). Dit geeft een indruk of D-Flow FM voor de betreffende modelsimulatie sneller kan draaien door het gebruik van meer cores (of nodes).

Tabel 4 en Tabel 5 (respectievelijk Tabel 6 en Tabel 7) laten de wall clock tijd zien van het D-Flow FM “**2DH**” (respectievelijk “**3D, 5 σ + Z, $\Delta Z = 25$ cm**”) model voor de Veluwerandmeren voor twee soorten processoren en voor een verschillend aantal nodes en cores.

Merk op dat de rekenlast en benodigde doorlooptijd in diepte gemiddelde mode vrij klein is.

Dit komt omdat het rekenrooster voor Veluwerandmeren relatief (ten opzichte van bijvoorbeeld dat van Markermeer, IJsselmeer en Noordzee) klein is, hierdoor is de hoeveelheid rekenlast per partitie klein. Op de E3-1276 v3 nodes (Tabel 4) is voor deze situatie geen versnelling bij een groter aantal nodes/ cores terwijl dit wel het geval is op de E5-2697A v4 nodes (Tabel 5): daar treedt nog tot orde 100 cores versnelling op.

Waarschijnlijk komt dit door een wat trager opstarten van het communicatie netwerk tussen de E3-1276 v3 nodes ten opzichte van de relatief kleine doorlooptijd.

Bij het driedimensionale model “**3D, 5 σ + Z, $\Delta Z = 25$ cm**” neemt door meer rekenlagen de hoeveelheid rekenlast per partitie toe, daardoor kan de rekentijd verder verlaagd worden door gebruik van meer dan 100 cores. Dat laatste is ook nodig om met het drie dimensionale model in de buurt van de rekensnelheid te komen van het diepte gemiddelde model (vergelijk bijvoorbeeld de wall clock tijd op 1 node in Tabel 5 met die op 16 nodes in Tabel 7).

Figuur 14 toont de schaalbaarheid van het D-Flow FM model voor Veluwerandmeren in dieptegemiddelde en drie dimensionale mode (met “**5 σ + Z, $\Delta Z = 25$ cm**”). De schaalbaarheid is bepaald op zowel E3-1276 v3 als E5-2697A v4 nodes ten opzichte van de situatie op 1 node met 4 cores (links in Figuur 14) en op alleen E5-2697A v4 nodes ten opzichte van de situatie op 1 node met 32 cores (rechts in Figuur 14).

Tabel 4 Wall clock tijd van D-Flow FM "2DH" model
Veluwerandmeren op E3-1276 v3 nodes.

node type	aantal nodes	totaal aantal cores	wall clock tijd (m)
E3-1276 v3	1	4	5.8
E3-1276 v3	2	8	3.3
E3-1276 v3	4	16	3.3
E3-1276 v3	8	32	3.3

Tabel 5 Wall clock tijd van D-Flow FM "2DH" model
Veluwerandmeren op E5-2697A v4 nodes.

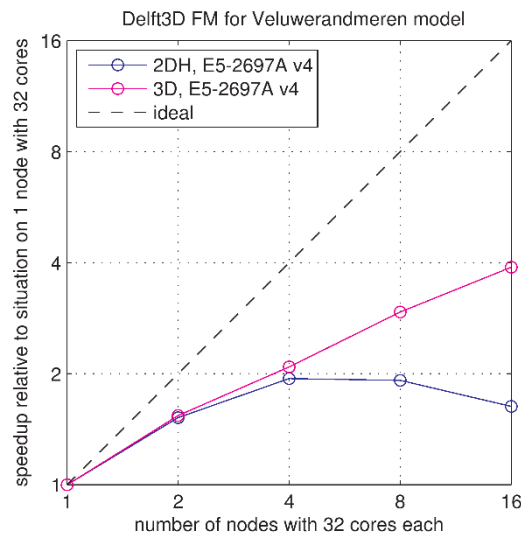
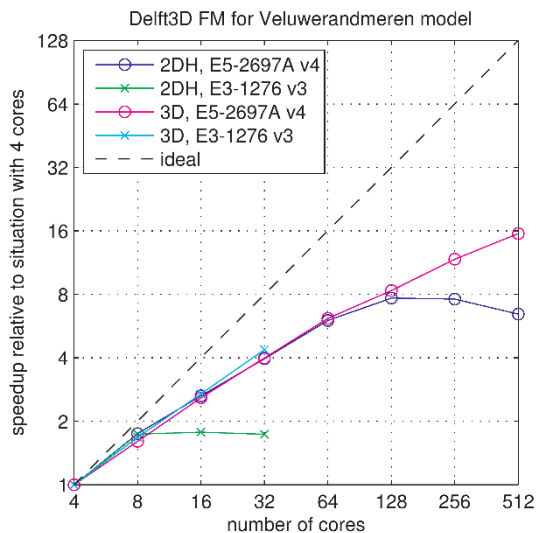
node type	aantal nodes	totaal aantal cores	wall clock tijd (m)
E5-2697A v4	1	4	4.6
E5-2697A v4	1	8	2.6
E5-2697A v4	1	16	1.7
E5-2697A v4	1	32	1.15
E5-2697A v4	2	64	0.76
E5-2697A v4	4	128	0.59
E5-2697A v4	8	256	0.60
E5-2697A v4	16	512	0.71

Tabel 6 Wall clock tijd van D-Flow FM "3D, 5 σ + Z,
 $\Delta Z = 25$ cm" model Veluwerandmeren op
E3-1276 v3 nodes.

Node type	aantal nodes	totaal aantal cores	wall clock tijd (m)
E3-1276 v3	1	4	120.4
E3-1276 v3	2	8	71.7
E3-1276 v3	4	16	44.6
E3-1276 v3	8	32	27.5

Tabel 7 Wall clock tijd van D-Flow FM "3D, 5 σ + Z,
 $\Delta Z = 25$ cm" model Veluwerandmeren op
E5-2697A v4 nodes.

node type	aantal nodes	totaal aantal cores	wall clock tijd (m)
E5-2697A v4	1	4	103.2
E5-2697A v4	1	8	64.1
E5-2697A v4	1	16	39.9
E5-2697A v4	1	32	25.8
E5-2697A v4	2	64	16.8
E5-2697A v4	4	128	12.4
E5-2697A v4	8	256	8.8
E5-2697A v4	16	512	6.6



Figuur 14 Schaalbaarheid van D-Flow FM model voor Veluwerandmeren in 2DH en 3D (met "5 σ + Z, $\Delta Z = 25$ cm") op zowel E3-1276 v3 als E5-2697A v4 nodes ten opzichte van de situatie op 1 node met 4 cores (links) en op alleen E5-2697A v4 nodes ten opzichte van de situatie op 1 node met 32 cores (rechts).

8 Conclusies en aanbevelingen

In deze memo zijn twee verbeteringen/wijzigingen beschreven aan een eerste versie van het zesde-generatie D-HYDRO / D-Flow FM model van de Veluwerandmeren: een actualisatie en een test met een driedimensionaal model.

8.1 Actualisatie zesde-generatie model van Veluwerandmeren

Als eerste is een actualisatie uitgevoerd naar een j19 modelversie met Baseline NL volgens het Baseline 6 protocol. De wijzigingen ten opzichte van de vorige j18 modelversie zijn nagelopen. Dit betreffende relatief kleine wijzigingen, hierdoor is ook het effect op berekende waterstanden vrijwel hetzelfde voor de j18 en j19 modelversies. Vanwege onvoldoende beschikbare recente gegevens is getracht ter verificatie van de actualisatie een historische storm te gebruiken waarvoor wel de benodigde randvoorwaarden en forceringen beschikbaar zijn. Echter, het gebied lijkt ruimtelijk zo veel veranderd (o.a. door de aanleg van de Reevedam) dat dat niet meer daarmee kan. Het is daarom erg belangrijk dat er eerst betere windgegevens beschikbaar komen voor een recente periode. Door het ontbreken daarvan is het nu moeilijk om gericht advies te geven over de bruikbaarheid/toepasbaarheid van het geactualiseerde j19 model.

Aansluitend op deze belangrijkste conclusie en belangrijkste aanbeveling aangaande de actualisatie het volgende:

- Het wordt aanbevolen om na te gaan of recente karteringen van waterplanten en schelpen/mosselen al meegenomen zijn in de ecotopen kartering en of lopende natuur- en waterkwaliteitsprojecten wijzigingen in het gebied al doorgeven t.b.v. Baseline.
- Het is belangrijk om eenvoudig en efficiënt de verschillen tussen door Baseline gemaakte bestanden voor opeenvolgende modelversies te kunnen inspecteren. Dit om mogelijke wijzigingen en/of fouten te detecteren en daarmee effecten in modelresultaten te kunnen verklaren. Het is wenselijk om dergelijke inspecties wat makkelijker te maken.
- Het probleem met de nieuwe gebiedspecifieke ruwheidscodes voor de Veluwerandmeren wordt op een later moment nog opgelost zodat de work around niet meer nodig is in de uiteindelijke modelschematisatie.

8.2 Test met een driedimensionaal D-Flow FM model

Ten tweede is in de overgang van WAQUA naar D-Flow FM geconstateerd dat er verschillen optreden door een andere numerieke aanpak en benadering van de vergelijkingen voor windschuifspanning en viscositeit. Een verbetering hiervoor is het gebruik van een driedimensionaal model in plaats van een tweedimensionaal model, dit is getest. Voor het D-Flow FM j10 model van de Veluwerandmeren dat qua geometrie representatief is voor de beschouwde situatie in 2013 kan geconcludeerd worden dat met een driedimensionale aanpak beter in de buurt van gemeten extreme waterstanden gekomen wordt dan met een dieptegemiddelde aanpak.

Echter, de respons van de gesimuleerde waterstanden is minder scherp dan de gemeten waterstanden en er lijkt een mismatch te zijn met meer hoogfrequente signalen. Er zal eerst gezorgd moeten worden voor een betere windforcering van de Veluwerandmeren voordat het model verder verbeterd kan worden.

Aansluitend op deze belangrijkste conclusie en belangrijkste aanbeveling aangaande een driedimensionale aanpak het volgende:

- Door het relatief kleine aantal rekenpunten in het model is een driedimensionale aanpak op moderne hardware voor verschillende toepassingen ook praktisch realiseerbaar.
- Nadat het model verbeterd is met een betere windforcering zal het nog verder geschikt gemaakt moeten worden voor toepassingen waar transport, mengprocessen en gelaagdheid belangrijk zijn (bijvoorbeeld stratificatie in putten t.b.v. waterkwaliteit).
- Aanvullend is een BOI testcase gedraaid met meer extreme condities. Daar kunnen echter nog geen concrete conclusies uit getrokken worden. Er zal nader naar gekeken moeten worden. Ondermeer naar het effect van verschillen in de gebruikte modellen (bijvoorbeeld ander rekenrooster, andere numerieke afhandelingen van specifieke aspecten) en of de beschouwde windsterkte nog wel valt binnen het toepassingsbereik van de gebruikte windschuifspanningscoëfficiënt.

9 Referenties

- [1] Menno Genseberger, Carlijn Eijsberg -Bak, Asako Fujisaki en Christophe Thiange, Ontwikkeling Zesde generatie Markermeer en Veluwerandmeren model, Deltares rapport11200569-009-ZWS-0013, 2019 (versie 3.1).
- [2] Frank Platzek, Analysis D-Flow FM results Veluwerandmeren, Deltares memo 11202220-009-ZWS-0005, 2018.
- [3] Carlijn Bak-Eijsberg, Veluwerandmeren WAQUA-model 5^{de} generatie – Modelopzet en validatie, Deltares rapport 1220072-011-ZWS-0006, 2015.
- [4] Martijn de Jong, Marcel Bottema, Robert Jan Labeur, J.A. Battjes & C. Stolker (2007). Atmospherically generated large-scale water-level fluctuations in a closed basin. Proceedings of the 30th International Conference on Coastal Engineering 2006. 1184-1196. DOI: 10.1142/9789812709554_0101.
- [5] M.P.C. de Jong, S.P. Reijmerink en J.V.L. Beckers, Seiches – Invloed op waterkeringen, beperkingen in opwekking en analyse waterstandsmetingen, Deltares rapport 1230042-007-ZWS-0001, 2016.
- [6] Y. H.G. van Haaren en G.B.H. Spaan, Onafhankelijk onderzoek Markermeer Technisch inhoudelijke en integrerende studie – Verslag fase 1b-2 Bouw Delft2D-systeem, Waterloopkundig Laboratorium rapport H3211_1b2, 1997.
- [7] Menno Genseberger, MA07ab Werkplan KPP2020 – Veluwerandmeren-G6, Deltares document 11205258-010-ZWS-0003, april 2020.
- [8] Menno Genseberger en Arnout Bijlsma, D-HYDRO model Markermeer – 3D hydrodynamica: modelopzet en verificatie, Deltares rapport 11205258-015-ZWS-0007, december 2020.
- [9] Bak, C., en Vlag, D., Achtergronden hydraulische belastingen dijken IJsselmeergebied, deel 5 WAQUA modellering, 1997.

A Modelinstellingen

Tabel 8 *Belangrijkste parameters in "geometry" groep van mdu bestand voor basis 2DH en 3D model.
Een "-" betekent dat deze parameter niet expliciet een waarde gegeven wordt.*

[geometry]	2DH	3D	description
WaterLevlni	-0.305	-0.305	Initial water level at missing s0 values
BedlevType	3	3	Bathymetry specification 1: at cell centers (from BathymetryFile) 2: at faces (from BathymetryFile) 3: at nodes, face levels mean of node values 4: at nodes, face levels min. of node values 5: at nodes, face levels max. of node values 6: at nodes, face levels max. of cell-center values
Kmx	0	10	Maximum number of vertical layers
Layertype	1	1	Vertical layer type (1: all sigma, 2: all z, 3: use VertplizFile)
Numtopsig	0	0	Number of sigma layers in top of z-layer model
SigmaGrowthFactor	1	1	Layer thickness growth factor from bed up
StretchType	-	0	Type of layer stretching, 0 = uniform, 1 = user defined, 2 = fixed level double exponential

Tabel 9 *Belangrijkste parameters in "numerics" groep van mdu bestand voor basis 2DH en 3D model.
Een "-" betekent dat deze parameter niet expliciet een waarde gegeven wordt.*

[numerics]	2DH	3D	description
CFLMax	0.7	0.7	Maximum Courant number
Lincontin	-	0	Default 0; Set to 1 for linearizing d(Hu)/dx; link to AdvectType
AdvectType	33	33	Advection type (0: none, 1: Wenneker, 2: Wenneker q(ui-u), 3: Perot q(ui-u), 4: Perot q(ui-u), 5: Perot q(ui-u) without itself)
TimeStepType	2	2	Time step handling (0: only transport, 1: transport + velocity update, 2: full implicit step-reduce, 3: step-Jacobi, 4: explicit)
Icoriolistype	-	0	0=No, 1=yes, if jsferic then spatially varying, if icoriolistype==6 then constant (anglat)
Limtyphu	0	0	Limiter type for waterdepth in continuity eqn. (0: none, 1: minmod, 2: van Leer, 3: Koren, 4: monotone central)
Limtypmom	4	4	Limiter type for cell center advection velocity (0: none, 1: minmod, 2: van Leer, 3: Koren, 4: monotone central)
Limtypsa	4	4	Limiter type for salinity transport (0: none, 1: minmod, 2: van Leer, 3: Koren, 4: monotone central)
TransportMethod	1	1	Transport method (0: method Kernkamp, 1: transport module)
TransportTimestepping	-	1	Timestepping method in Transport module, 0 = global, 1 = local (default)
Vertadvtypmom	-	6	vertical advection for u1: 0: No, 3: Upwind implicit, 4: Central implicit, 5: QUICKEST implicit., 6: centerbased upwind expl
Vertadvtypsal	5	6	Vertical advection type for salinity (0: none, 1: upwind explicit, 2: central explicit, 3: upwind implicit, 4: central implicit, 5: central implicit but upwind for neg. stratif., 6: higher order explicit, no Forester)
Vertadvtypstem	-	6	Vertical advection type for temperature (0: none, 1: upwind explicit, 2: central explicit, 3: upwind implicit, 4: central implicit, 5: central implicit but upwind for neg. stratif., 6: higher order explicit, no Forester)
Cffacver	-	0.	Factor for including (1-CFL) in HO term vertical (0d0: no, 1d0: yes)
Jarhoxu	-	0	Include density gradient in advection term (0: no, 1: yes, 2: Also in barotrop and baroclin pressure term)
Horadvtypzlayer	-	0	Horizontal advection treatment of z-layers (1: default, 2: sigma-like)
lcsolver	4	6	Solver type (1: sobekGS_OMP, 2: sobekGS_OMPthreadsafe, 3: sobekGS, 4: sobekGS + Saadilud, 5: parallel/global Saad, 6: parallel/Petsc, 7: parallel/GS)
Maxdegree	6	6	Maximum degree in Gauss elimination
Noderivedtypes	-	0	0=use der. Types. , 1 = less, 2 = lesser, 5 = also dealloc der. Types
FixedWeirScheme	9	9	Fixed weir scheme (0: none, 1: compact stencil, 2: whole tile lifted, full subgrid weir + factor)
FixedWeirContraction	1	1.	Fixed weir flow width contraction factor
Fixedweirfrictscheme	1	1	Fixed weir friction scheme (0: friction based on hu, 1: friction based on subgrid weir friction scheme)
Fixedweirtopwidth	3	3.	Uniform width of the groyne part of fixed weirs
Fixedweirtopfrictcoef	-999	-999.	Uniform friction coefficient of the groyne part of fixed weirs
Fixedweirtalud	0.25	0.25	Uniform talud slope of fixed weirs
Izbdpos	0	0	Position of z boundary (0: D3Dflow, 1: on net boundary, 2: on specified polyline)
Tlfsmo	0	0	Fourier smoothing time (s) on water level boundaries
Logprofatubndin	-	1	ubnds inflow: 0=uniform U1, 1 = log U1, 2 = user3D
Logprofkepsbndin	-	0	inflow: 0=0 keps, 1 = log keps inflow, 2 = log keps in and outflow
Slopedrop2D	0	0.	Apply drop losses only if local bed slope > Slopedrop2D, (<=0: no drop losses)
Drop3D	-	-999	Apply droplosses in 3D if z upwind below bob + 2/3 hu*drop3D
Chkadvd	0.1	0.1	Check advection terms if depth < chkadvd, => less setbacks
Trsh_u1Lb	-	0.	2D bedfriction in 3D below this threshold (m)
Epsstem	-	1.d-3	Only compute heatflx + evap if depth > epsstem
Zwsbtol	-	0.	tolerance for zws(kb-1) at bed
Teta0	0.55	0.55	Theta of time integration (0.5 < theta < 1)
Qhrelax	0.01	1.d-2	Relaxation on Q-h open boundaries

Jbasqbnndownwindhs	0	0	Water depth scheme at discharge boundaries (0: original hu, 1: downwind hs)
cstbnd	0	0	Delft-3D type velocity treatment near boundaries for small coastal models (1: yes, 0: no)
Maxitverticalforestersal	100	0	Forester iterations for salinity (0: no vertical filter for salinity, > 0: max nr of iterations)
Maxitverticalforestertem	0	0	Forester iterations for temperature (0: no vertical filter for temperature, > 0: max nr of iterations)
Jaorgsethu	1	1	Velocity reconstruction scheme (0 : setumod, sethu, setau sequence, 1 : sethu, setau, setumod sequence (standard))
Turbulencemodel	3	3	Turbulence model (0: none, 1: constant, 2: algebraic, 3: k-epsilon, 4: k-tau)
Turbulenceadvection	3	3	Turbulence advection (0: none, 3: horizontally explicit and vertically implicit)
Eddyviscositybedfacmax	-	0.	Limit eddy viscosity at bed)
AntiCreep	0	0	Include anti-creep calculation (0: no, 1: yes)
Maxwaterleveldiff	0	0.	upper bound (in m) on water level changes (<= 0: no bounds). Run will abort when violated.
Maxvelocitydiff	0	0.	upper bound (in m/s) on velocity changes (<= 0: no bounds). Run will abort when violated.
MinTimestepBreak	-	0.	smallest allowed timestep (in s), checked on a sliding average of several timesteps. Run will abort when violated.
Epslu	0.0001	0.0001	Threshold water depth for wet and dry cells
SobekDFM_umin	0	0.	Minimal velocity treshold for weir losses in Sobek-DFM coupling.
SobekDFM_umin_method	-	0	Method for minimal velocity treshold for weir losses in Sobek-DFM coupling.
SobekDFM_Minimal_1d2d_Embankment	-	1.d-2	Minimal crest height of 1D2D SOBEK-DFM embankments.
sobekDFM_relax	-	0.1	Relaxation factor for SOBEK-DFM coupling algorithm.
Jaupwindsrc	-	1	1 st -order upwind advection at sources/sinks (1) or higher-order (0)
jasfer3D	-	0	corrections for spherical coordinates
HorizontalMomentumFilter	-	0	apply horizontal filter (1:explicit, 2,3:implicit) or not (0)
checkerboardmonitor	-	0	compute and output checkerboard monitor (1) or not (0)
LocSaltLev	-	1.	salinity level for case of lock exchange
LocSaltMin	-	5.	minimum salinity for case of lock exchange
LocSaltMax	-	10.	maximum salinity for case of lock exchange
Numlimdt_baorg	-	0	if previous numlimdt > Numlimdt_baorg keep original cell area ba in cutcell
Baorgfracmin	0.7	0.	Cell area = max(orgcellarea*Baugfracmin, cutcell area)

Tabel 10 *Belangrijkste parameters in "physics" groep van mdu bestand voor basis 2DH en 3D model. Een "-" betekent dat deze parameter niet expliciet een waarde gegeven wordt.*

[physics]	2DH	3D	description
UnifFrictCoef	0.102	0.102	Uniform friction coefficient (0: no friction)
UnifFrictType	2	2	Uniform friction type (0: Chezy, 1: Manning, 2: White-Colebrook, 3: idem, WAQUA style)
UnifFrictCoef1D	0.023	0.023	Uniform friction coefficient in 1D links (0: no friction)
UnifFrictCoefLin	0.	0.	Uniform linear friction coefficient (0: no friction)
Umodlin	0	0.	Linear friction umod, for ifrctyp=4,5,6
Vicouv	1	0.1	Uniform horizontal eddy viscosity (m2/s)
Dicouv	1	0.1	Uniform horizontal eddy diffusivity (m2/s)
Vicoww	5 ^E -05	5.d-5	Uniform vertical eddy viscosity (m2/s)
Dicoww	5 ^E -05	5.d-5	Uniform vertical eddy diffusivity (m2/s)
Vicwminb	0	0.	Minimum visc in prod and buoyancy term (m2/s)
Xlozmidov	-	0.	Ozmidov length scale (m), default=0.0, no contribution of internal waves to vertical diffusion
Smagorinsky	0	0.2	Smagorinsky factor in horizontal turbulence, e.g. 0.15

Elder	0	0.	Elder factor in horizontal turbulence
irov	0	0	0=free slip, 1 = partial slip using wall_ks
wall_ks	0	0.	Wall roughness type (0: free slip, 1: partial slip using wall_ks)
Rhemean	1000	1000.	Average water density (kg/m3)
ldensform	1	2	Density calculation (0: uniform, 1: Eckart, 2: Unesco, 3: baroclinic case)
Ag	9.813	9.813	Gravitational acceleration
TidalForcing	0	0	Tidal forcing, if jsferic=1 (0: no, 1: yes)
SelfAttractionLoading	-	0	Self attraction and loading (0=no, 1=yes, 2=only self attraction)
Itcap	-	0.	Upper limit on internal tides dissipation (W/m^2)
Doodsonstart	55.565	55.565	TRIWAQ: 55.565, D3D: 57.555
Doodsonstop	375.575	375.575	TRIWAQ: 375.575, D3D: 275.555
Doodsoneps	0	0.	TRIWAQ = 0.0 400 cm/s , D3D = 0.03 60 cm/s
VillemonteCD1	-	1.	Calibration coefficient for Villemonte. Default = 1.0. NB. For Bloemberg data set 0.8 is recommended.
VillemonteCD2	-	10.	Calibration coefficient for Villemonte. Default = 10.0. NB. For Bloemberg data set 0.8 is recommended.
Salinity	0	0	Include salinity, (0=no, 1=yes)
InitialSalinity	0	0	Uniform initial salinity concentration (ppt)
Sal0abovezlev	-999	-999.	Vertical level (m) above which salinity is set 0
DeltaSalinity	-999	-999.	For testcases
Salimax	-	0	Limit the salinity
Salimin	-	0	Limit the salinity
Backgroundsalinity	30	0	Background salinity for eqn. of state (ppt)
Temperature	0	0	Include temperature (0: no, 1: only transport, 3: excess model of D3D, 5: composite (ocean) model)
InitialTemperature	6	18	Uniform initial water temperature (degC)
Backgroundwatertemperature	6	18	Background water temperature for eqn. of state (deg C) if temperature not computed
Tempmax	-	18	Limit the temperature
Tempmin	-	18	Limit the temperature
Secchidepth	1	1.	Water clarity parameter (m)
Stanton	-1	1.3d-3	Coefficient for convective heat flux, if negative, Ccon = abs(Stanton)*Cdwind
Dalton	-1	1.3d-3	Coefficient for evaporative heat flux, if negative, Ceva = abs(Dalton)*Cdwind
SecondaryFlow	0	0	Secondary flow (0: no, 1: yes)
BetaSpiral	0	0.	Weight factor of the spiral flow intensity on flow dispersion stresses 0 = hu, 1 = zws)

Tabel 11 *Belangrijkste parameters in "wind" groep van mdu bestand voor basis 2DH en 3D model. Een "-" betekent dat deze parameter niet expliciet een waarde gegeven wordt.*

[wind]	2DH	3D	description
lcdtyp	2	2	Wind drag coefficient type (1=Const; 2=Smith&Banke (2 pts); 3=S&B (3 pts); 4=Charnock 1955, 5=Hwang 2005, 6=Wuest 2005, 7=Hersbach 2010 (2 pts))
Cdbreakpoints	0.0013667 3 0.0039	0.00136673 0.0039	Wind drag coefficient break points
Windspeedbreakpoints	7.77886 50	7.77886 50	Wind speed break points (m/s)
Relativewind	-	0	Wind speed relative to top-layer water speed, 1=yes, 0 = no)
Windhuorzwsbased	0	0	Wind hu or zws based , 0 = hu, 1 = zws)
Windpartialdry	0	0	Reduce windstress on water if link partially dry, only for bedlevtyp=3, 0 = no, 1 = yes = default
Rhoair	1.2265	1.2265	Air density (kg/m3)
PavBnd	0	0	Average air pressure on open boundaries (N/m2) (only applied if > 0)
Pavlni	0	0	Average air pressure for initial water level correction (N/m2) (only applied if > 0)

Tabel 12 *Belangrijkste parameters in "time" groep van mdu bestand voor basis 2DH en 3D model.*

[time]	2DH	3D	description
DtUser	300	300	Time interval (s) for external forcing update
DtMax	30	30	Maximal computation timestep (s)
Dtlnit	1	1	Initial computation timestep (s)
Tunit	S	S	Time unit for start/stop times (D, H, M or S)

Tabel 13 *Belangrijkste parameters in "restart" groep van mdu bestand voor basis 2DH en 3D model.*

[restart]	2DH	3D	description
RestartFile			Restart netcdf-file, either *_rst.nc or *_map.nc
RestartDateTime			Restart date and time (yyyymmddhhmmss) when restarting from *_map.nc

Tabel 14 *Belangrijkste parameters in "external forcing" groep van mdu bestand voor basis 2DH en 3D model.*

[external forcing]	2DH	3D	description
ExtForceFile	FlowFM_uniWind.ext	FlowFM_uniWind.ext	# Old format for external forcings file *.ext, link with tim/cmp-format boundary conditions specification
ExtForceFileNew			# New format for external forcings file *.ext, link with bc-format boundary conditions specification

Tabel 15 *Belangrijkste parameters in "trachytopes" groep van mdu bestand voor basis 2DH en 3D model.*

[trachytopes]	2DH	3D	description
TrtRou	Y	Y	Include alluvial and vegetation roughness (trachytopes) (Y: yes, N: no)
TrtDef	roughcombination-general.ttd	roughcombination-general.ttd	File (*.ttd) including trachytopes definitions
TrtL	vrn-j10_tri-50_v2_trachytopes.arl	vrn-j10_tri-50_v2_trachytopes.arl	File (*.arl) including distribution of trachytopes definitions
TrtDt	1	1	Maximum recursion level for combined trachytopes definitions

Tabel 16 Afwijkende parameterinstellingen voor beschouwde optie "reductie wind" in mdu bestand ten op zichte van basis 2DH model.

[wind]	reductie wind	description
Windpartialdry	1	Reduce windstress on water if link partially dry, only for bedlevtyp=3, 0 = no, 1 = yes = default

Tabel 17 Afwijkende parameterinstellingen voor beschouwde optie "ini waterstand" in mdu bestand ten op zichte van basis 2DH model.

[geometry]	ini waterstand	description
WaterLevini	-4	Reduce windstress on water if link partially dry, only for bedlevtyp=3, 0 = no, 1 = yes = default

[restart]	ini waterstand	description
RestartFile	FlowFM_20020104_000000_rst.nc	Restart netcdf-file, either *_rst.nc or *_map.nc
RestartDateTime	20170509	Restart date and time (yyyymmddhhmmss) when restarting from *_map.nc

Tabel 18 Afwijkende parameterinstellingen voor beschouwde optie "3D, 5 σ " in mdu bestand ten op zichte van basis 3D model.

[geometry]	3D, 5 σ	description
Kmx	5	Maximum number of vertical layers

Tabel 19 Afwijkende parameterinstellingen voor beschouwde optie "3D, 20 σ " in mdu bestand ten op zichte van basis 3D model.

[geometry]	3D, 20 σ	description
Kmx	20	Maximum number of vertical layers

Tabel 20 Afwijkende parameterinstellingen voor beschouwde optie "3D, 5 σ + Z, $\Delta Z = 25$ cm" in mdu bestand ten op zichte van basis 3D model.

[geometry]	3D, 5 σ + Z, $\Delta Z = 25$ cm	description
Kmx	2	Maximum number of vertical layers
Layertype	2	Vertical layer type (1: all sigma, 2: all z, 3: use VertplizFile)
Numtopsig	5	Number of sigma layers in top of z-layer model
SigmaGrowthFactor	1.	Layer thickness growth factor from bed up
Dztop	0.25	Z-layer thickness of layers above level Dztopuniabovez
Floorlevtoplay	0.35	Floor level of top layer
Dztopuniabovez	-3.4	Above this level layers will have uniform Dztop, below we use SigmaGrowthFactor
Keepnumtopsig	1	
Keepzlayeringatbed	2	

Tabel 21 Afwijkende parameterinstellingen voor beschouwde optie "3D, 10 σ + Z, $\Delta Z = 12.5$ cm" in mdu bestand ten op zichte van basis 3D model.

[geometry]	3D, 10 σ + Z, $\Delta Z = 12.5$ cm	description
Kmx	2	Maximum number of vertical layers
Layertype	2	Vertical layer type (1: all sigma, 2: all z, 3: use VertplizFile)
Numtopsig	10	Number of sigma layers in top of z-layer model
SigmaGrowthFactor	1.	Layer thickness growth factor from bed up
Dztop	0.125	Z-layer thickness of layers above level Dztopuniabovez
Floorlevtoplay	0.35	Floor level of top layer
Dztopuniabovez	-3.4	Above this level layers will have uniform Dztop, below we use SigmaGrowthFactor
Keepnumtopsig	1	
Keepzlayeringatbed	2	

Tabel 22 Afwijkende parameterinstellingen voor beschouwde optie "uni Man + 4 param 2018" in mdu bestand ten op zichte van basis 3D model.

[numerics]	uni Man + 4 param 2018	description
Chkadvd	0.01	Check advection terms if depth < chkadvd, => less setbacks
Epslu	0.01	Threshold water depth for wet and dry cells

[physics]	uni Man + 4 param 2018	description
UnifFrictCoef	0.023	Uniform friction coefficient (0: no friction)
UnifFrictType	1	Uniform friction type (0: Chezy, 1: Manning, 2: White-Colebrook, 3: idem, WAQUA style)
Vicouv	1	Uniform horizontal eddy viscosity (m2/s)
Dicouv	1	Uniform horizontal eddy diffusivity (m2/s)

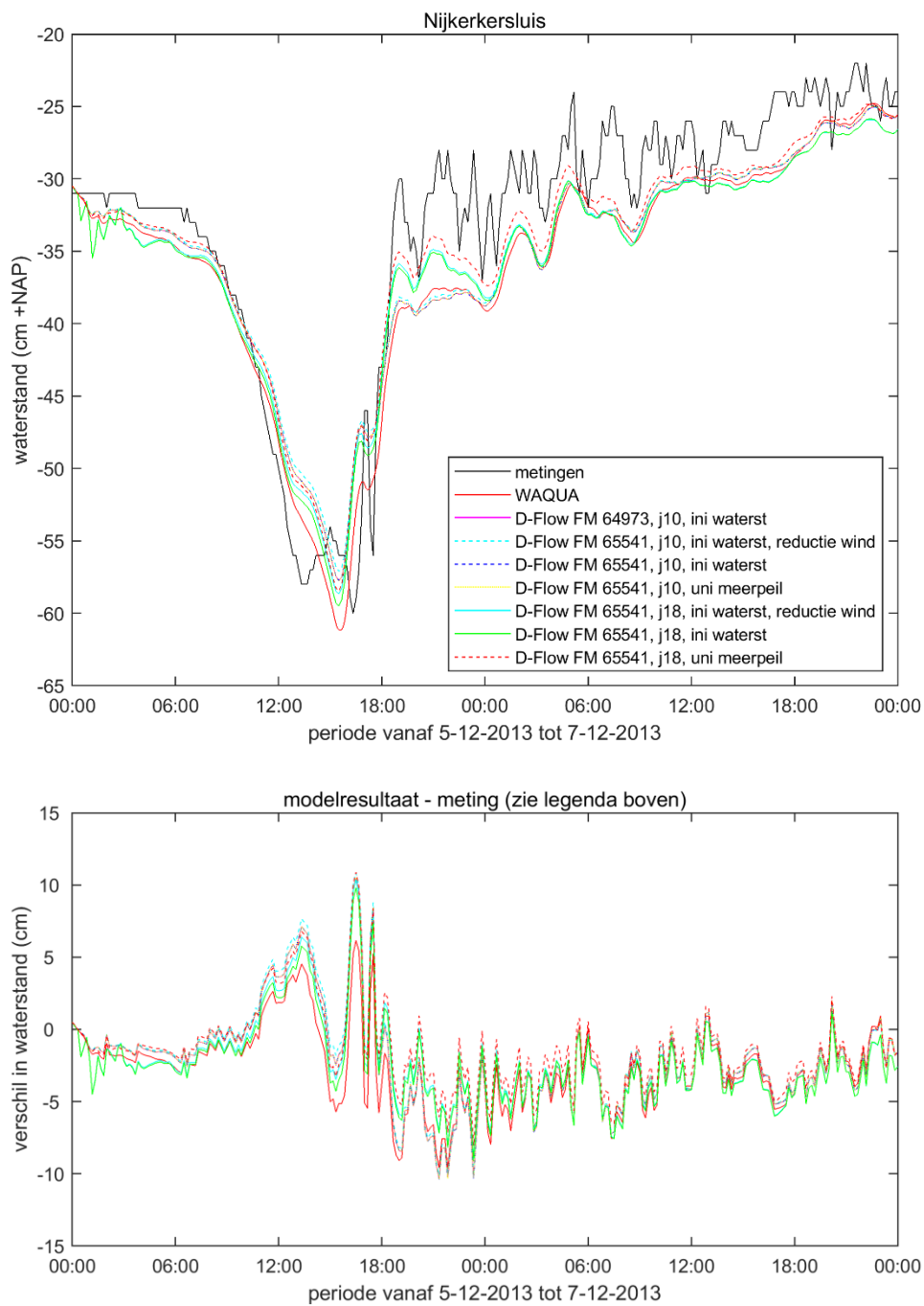
[trachytopes]	uni Man + 4 param 2018	description
UnifFrictCoef	N	Include alluvial and vegetation roughness (trachytopes) (Y: yes, N: no)
UnifFrictType		File (*.ttt) including trachytopo definitions
Vicouv		File (*.arl) including distribution of trachytopo definitions
Dicouv	60	Maximum recursion level for combined trachytopo definitions

Tabel 23 Afwijkende parameterinstellingen voor beschouwde optie "uni Man" in mdu bestand ten op zichte van basis 3D model.

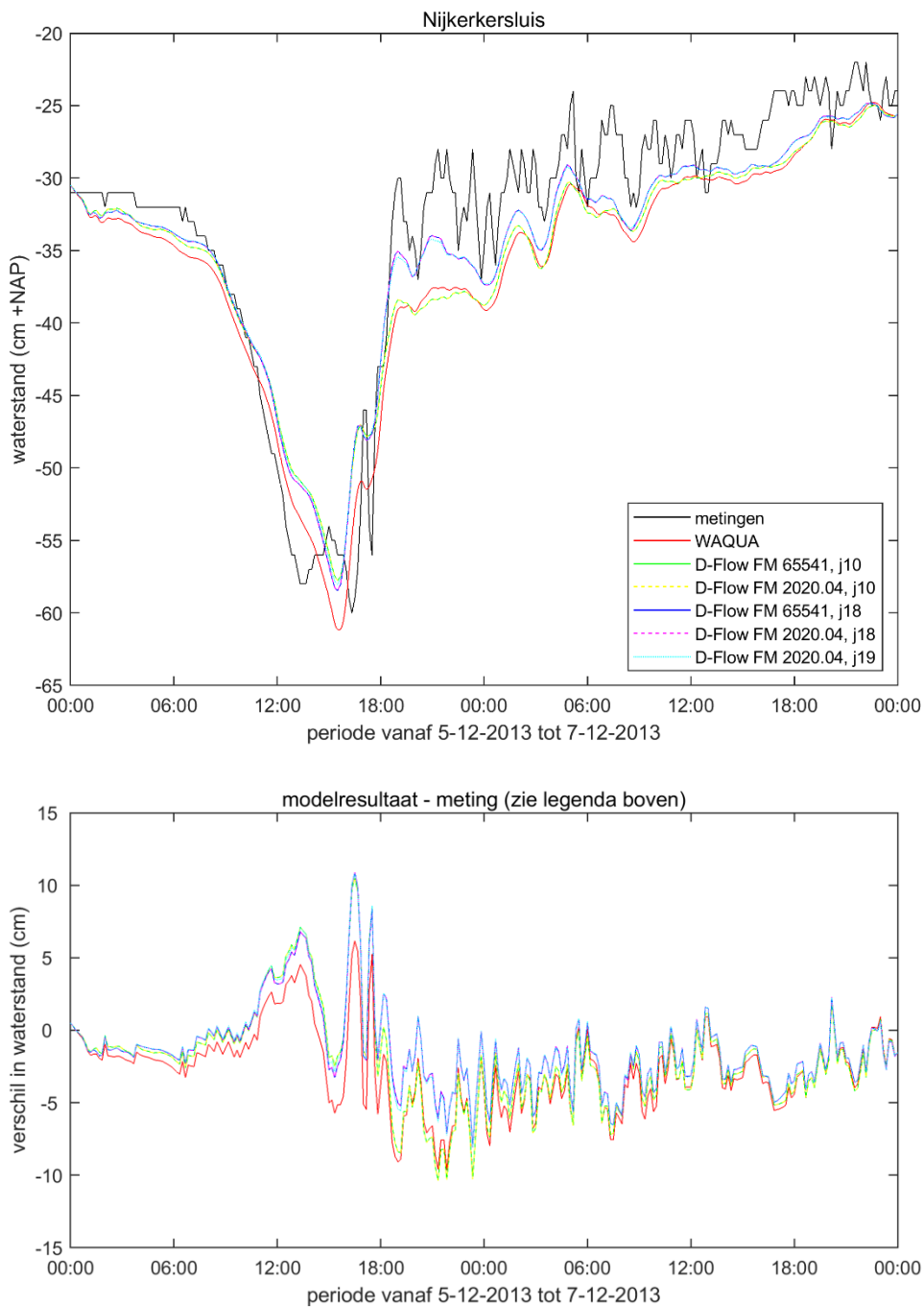
[physics]	uni Man	description
UnifFrictCoef	0.023	Uniform friction coefficient (0: no friction)
UnifFrictType	1	Uniform friction type (0: Chezy, 1: Manning, 2: White-Colebrook, 3: idem, WAQUA style)
Vicouv	1	Uniform horizontal eddy viscosity (m2/s)
Dicouv	1	Uniform horizontal eddy diffusivity (m2/s)

[trachytopes]	uni Man	description
UnifFrictCoef	N	Include alluvial and vegetation roughness (trachytopes) (Y: yes, N: no)
UnifFrictType		File (*.ttt) including trachytopo definitions
Vicouv		File (*.arl) including distribution of trachytopo definitions
Dicouv	60	Maximum recursion level for combined trachytopo definitions

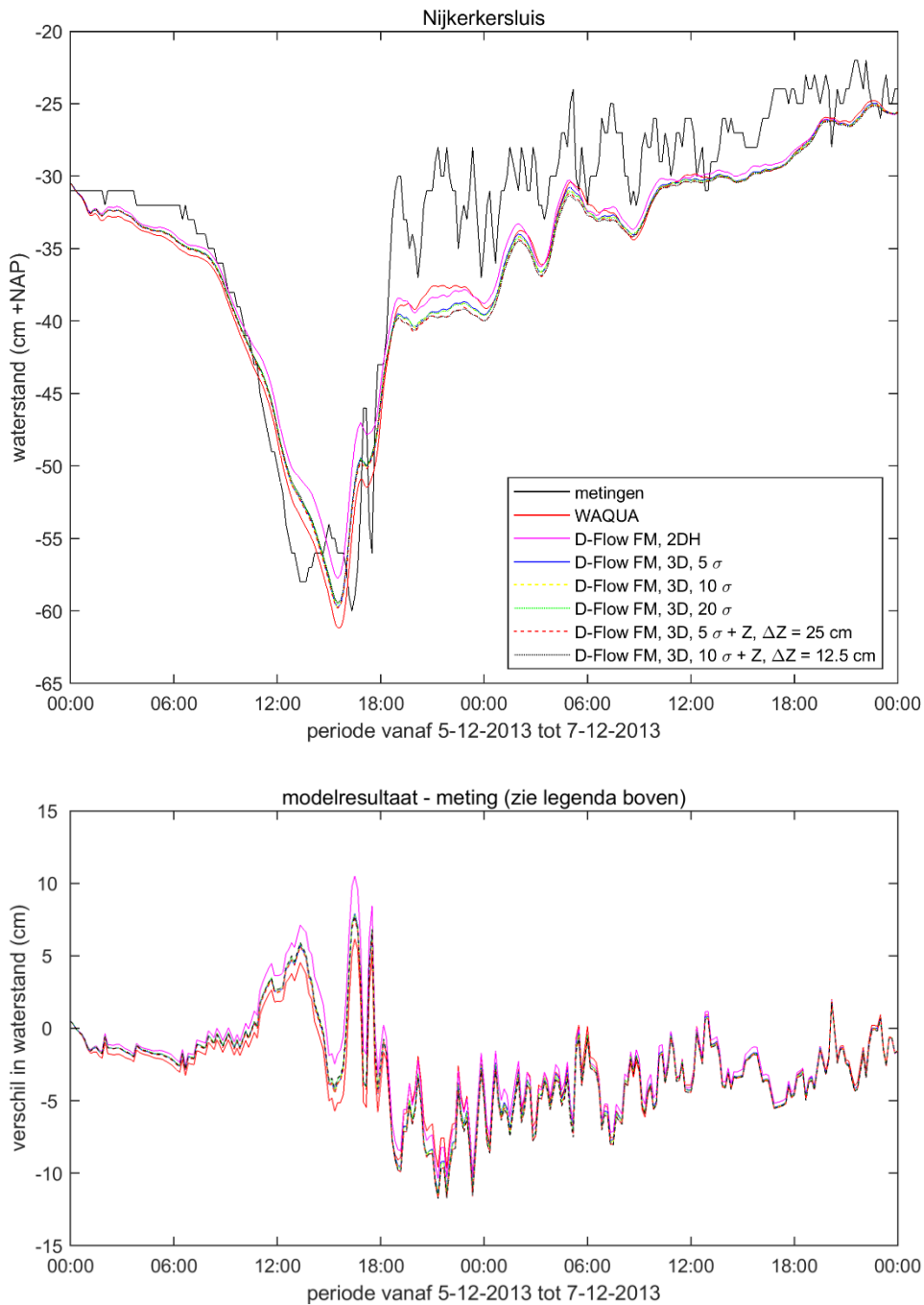
B Figuren



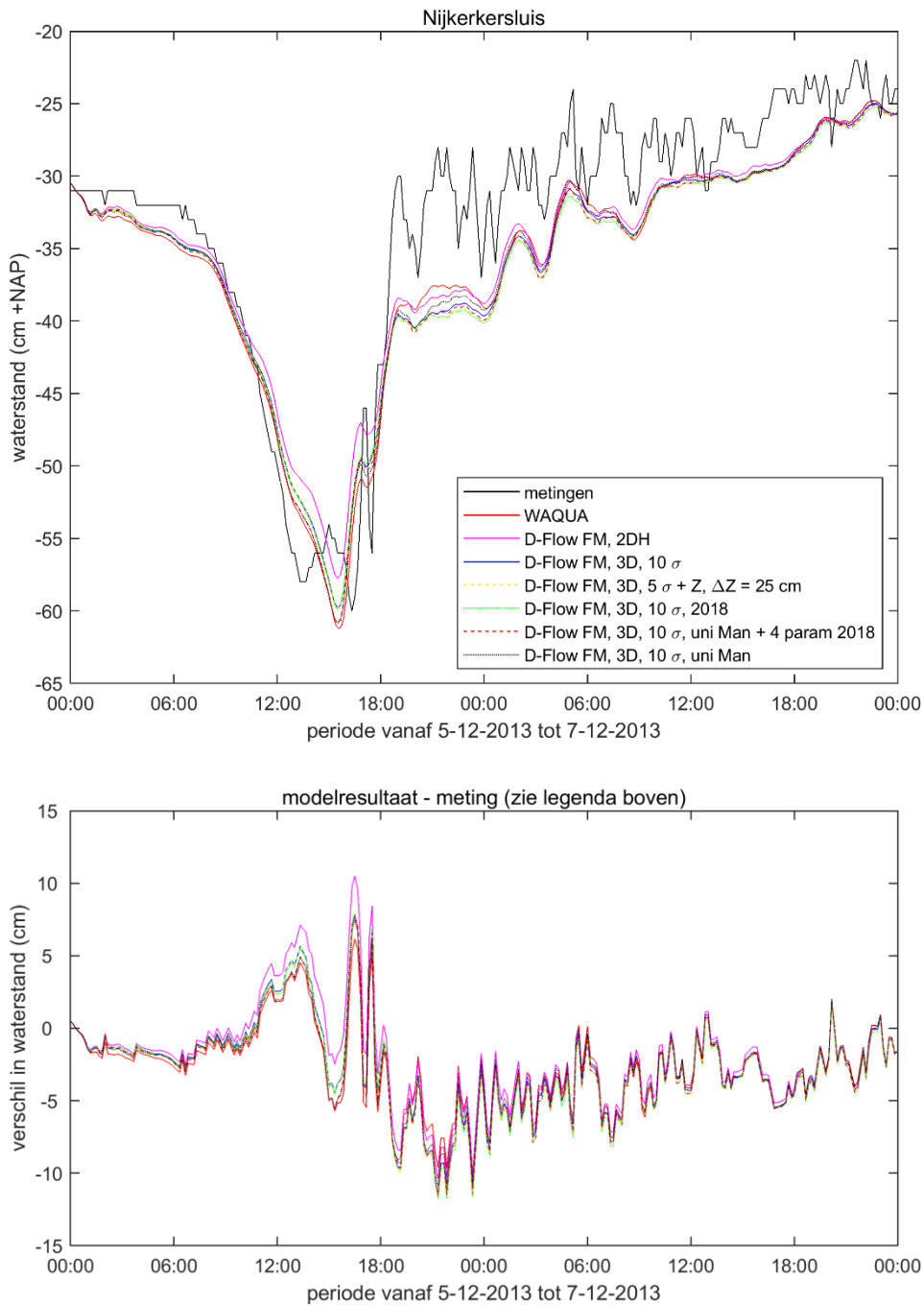
Figuur 15 *Vergelijking van gemeten en met WAQUA en D-Flow FM berekende waterstand voor de stormperiode in december 2013 bij observatie station Nijkerkersluis. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].*



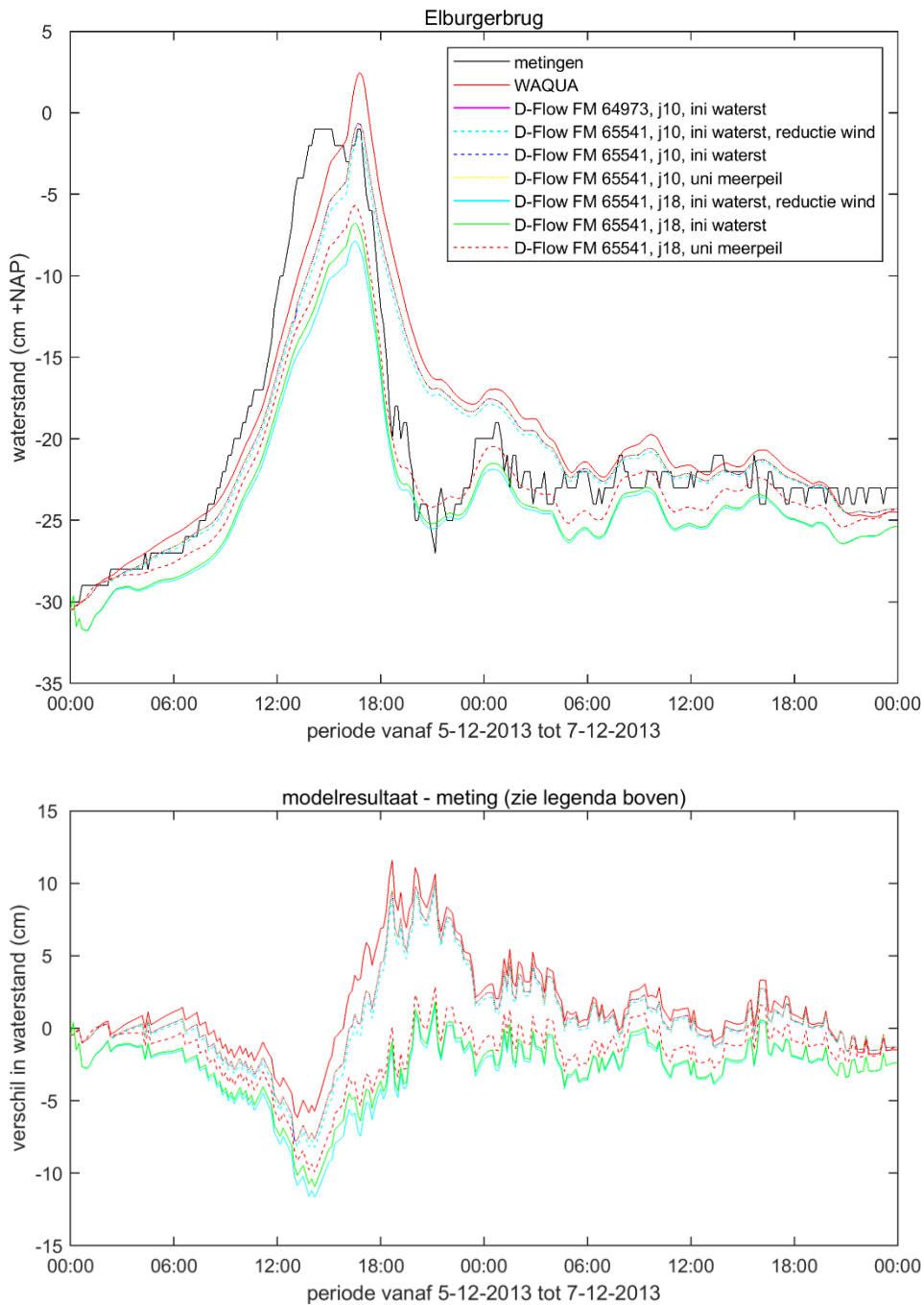
Figuur 16 *Vergelijking van gemeten en met WAQUA en D-Flow FM berekende waterstand voor de stormperiode in december 2013 bij observatie station Nijkerkersluis. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm]. (N.B. de waterstanden voor de twee runs met verschillende D-Flow FM versies met het j10 respectievelijk j18 model vallen over elkaar heen.)*



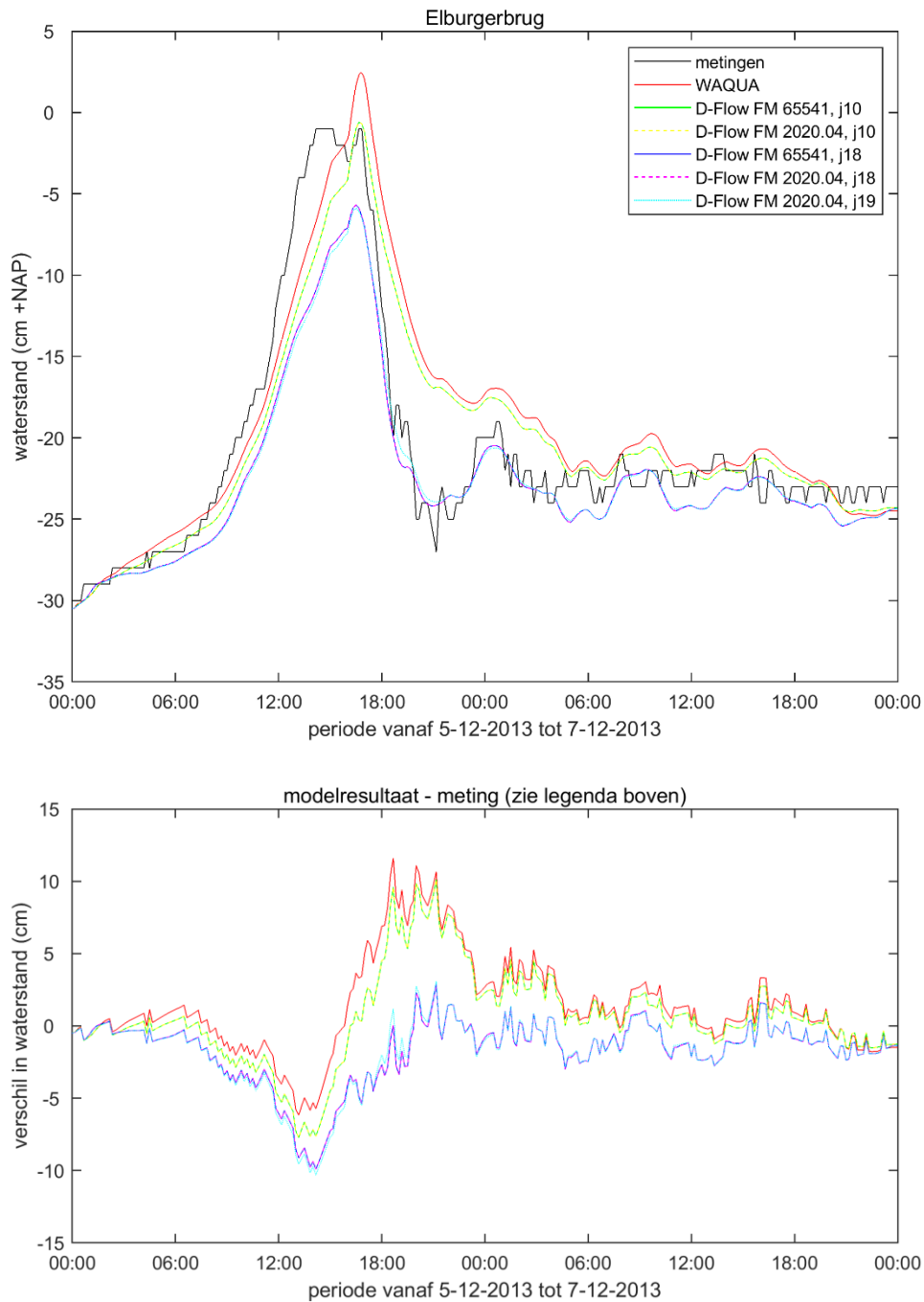
Figuur 17 Vergelijking van gemeten en met WAQUA en D-Flow FM berekende waterstand voor de stormperiode in december 2013 bij observatie station Nijkerkersluis. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].



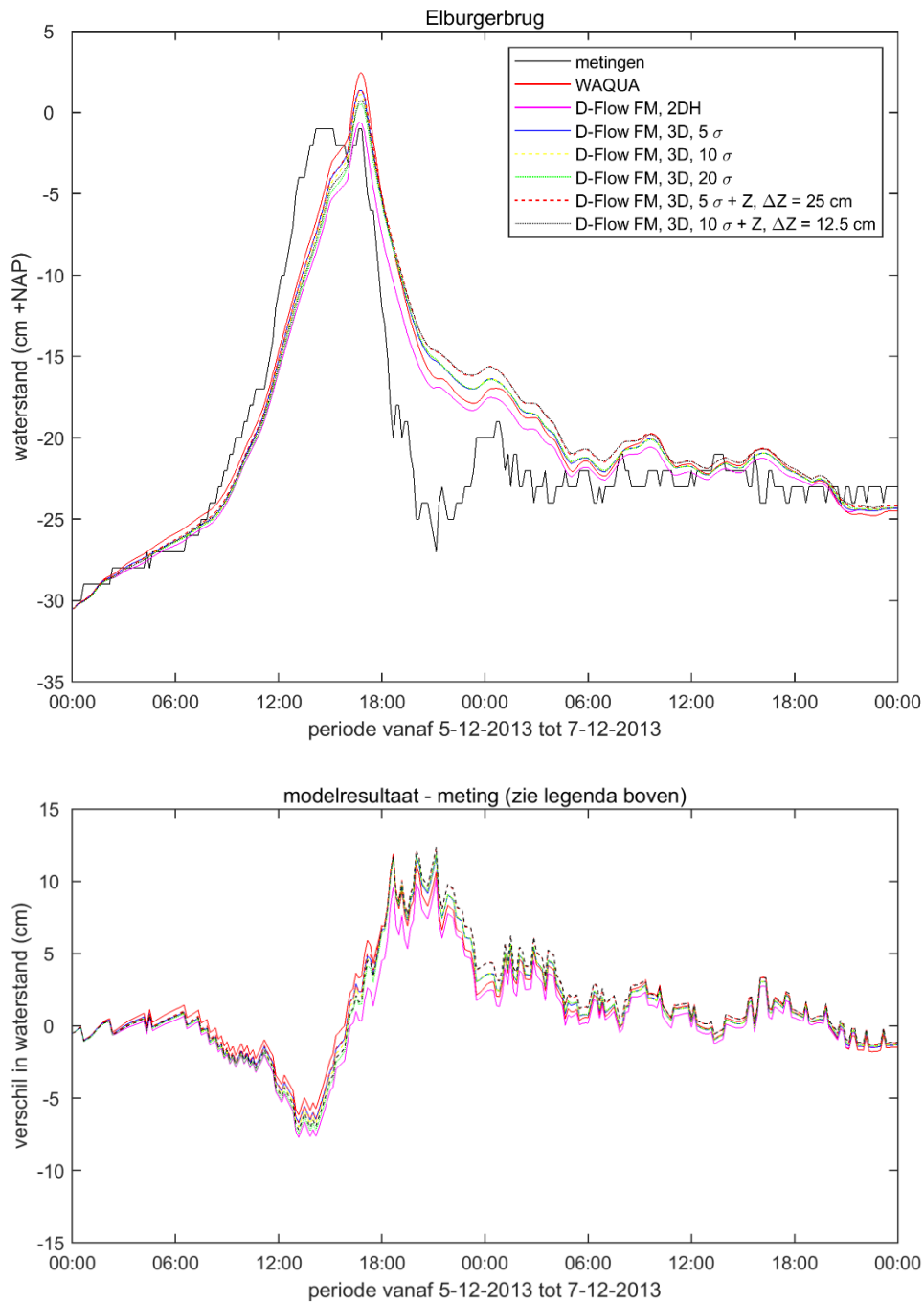
Figuur 18 *Vergelijking van gemeten en met WAQUA en D-Flow FM berekende waterstand voor de stormperiode in december 2013 bij observatie station Nijkerkersluis. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].*



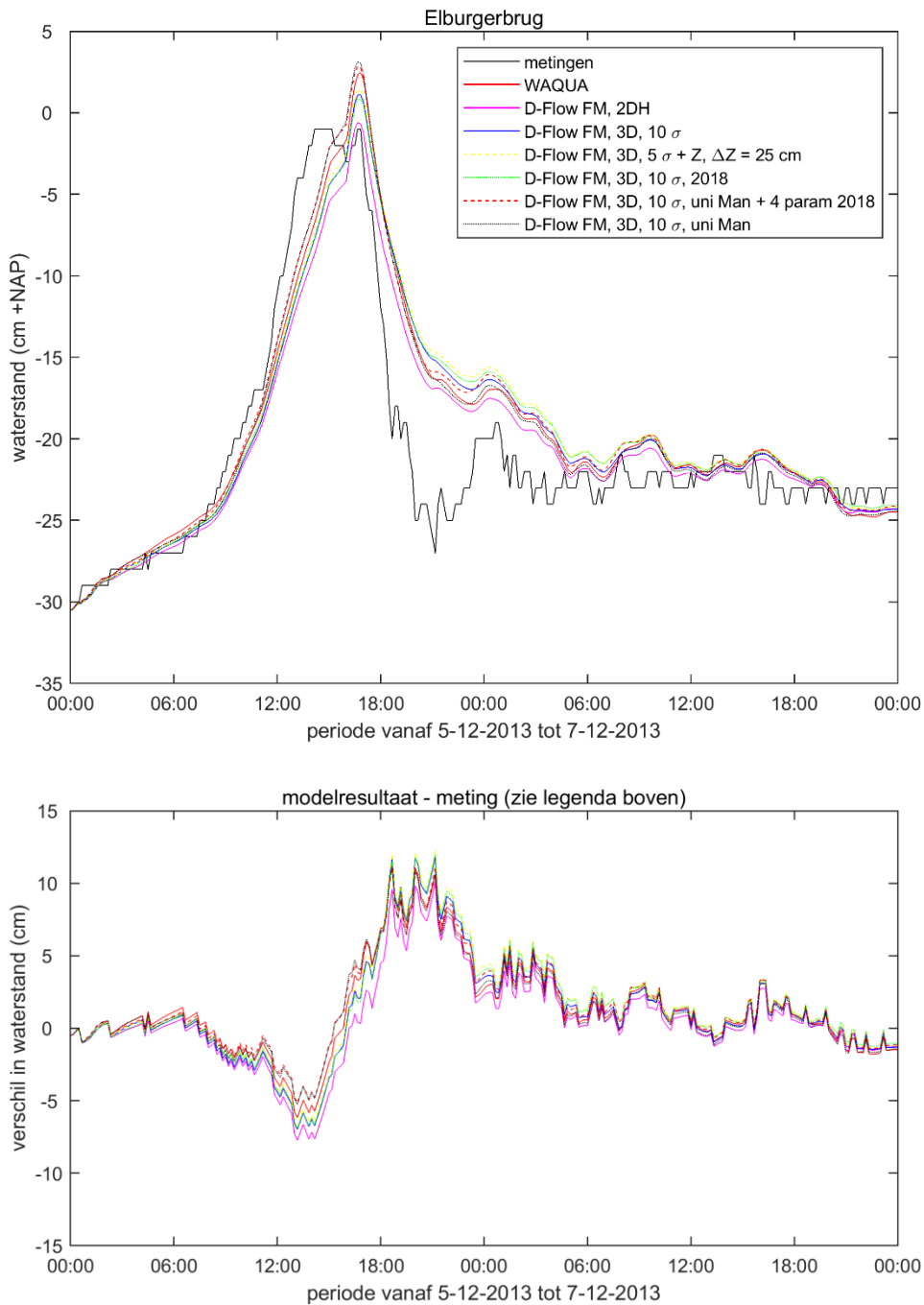
Figuur 19 *Vergelijking van gemeten en met WAQUA en D-Flow FM berekende waterstand voor de stormperiode in december 2013 bij observatie station Elburgerbrug. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].*



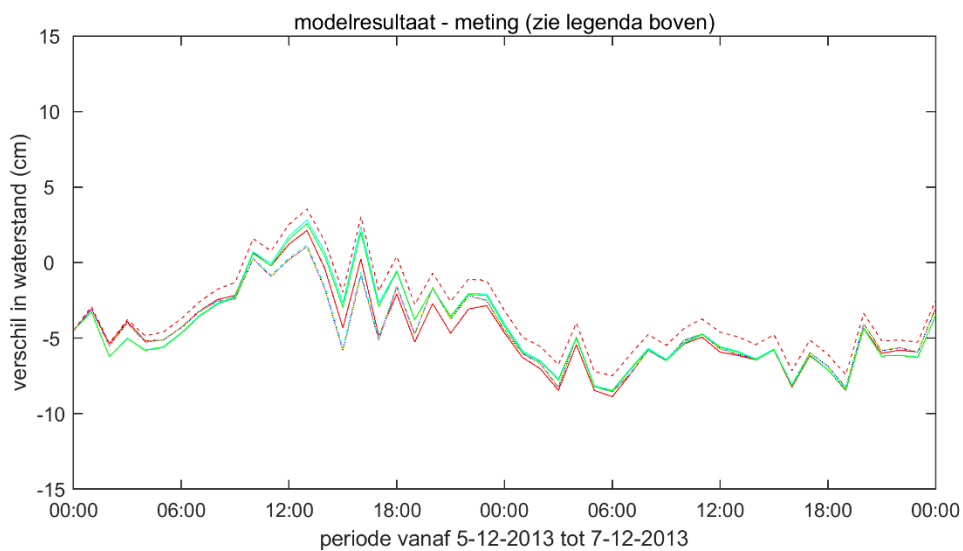
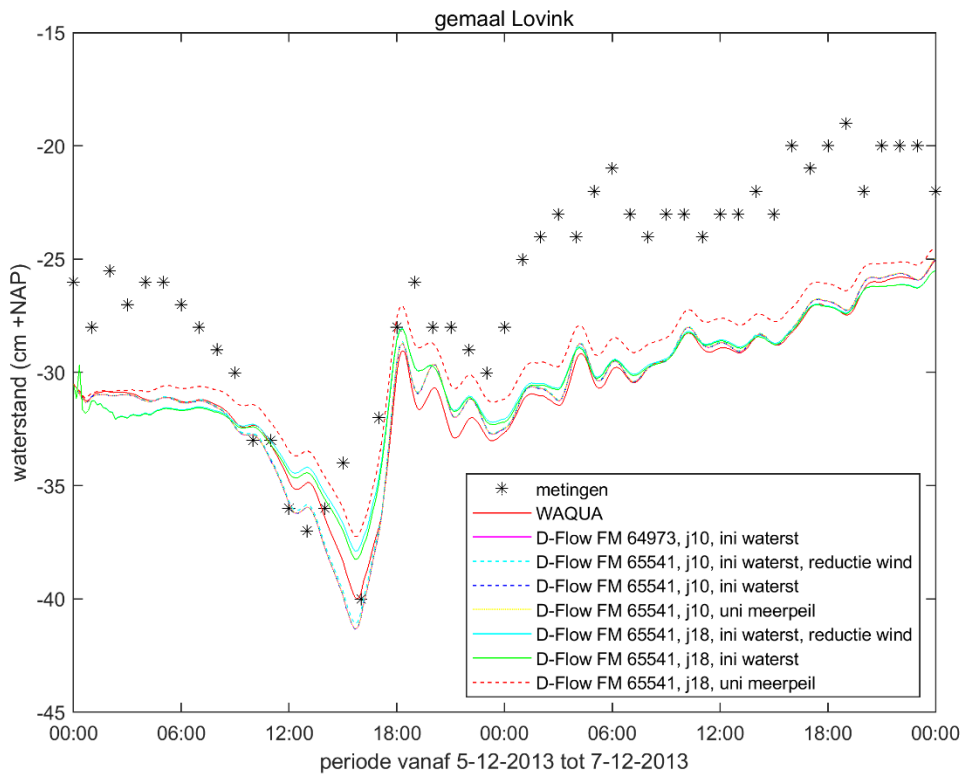
Figuur 20 *Vergelijking van gemeten en met WAQUA en D-Flow FM berekende waterstand voor de stormperiode in december 2013 bij observatie station Elburgerbrug. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm]. (N.B. de waterstanden voor de twee runs met verschillende D-Flow FM versies met het j10 respectievelijk j18 model vallen over elkaar heen.)*



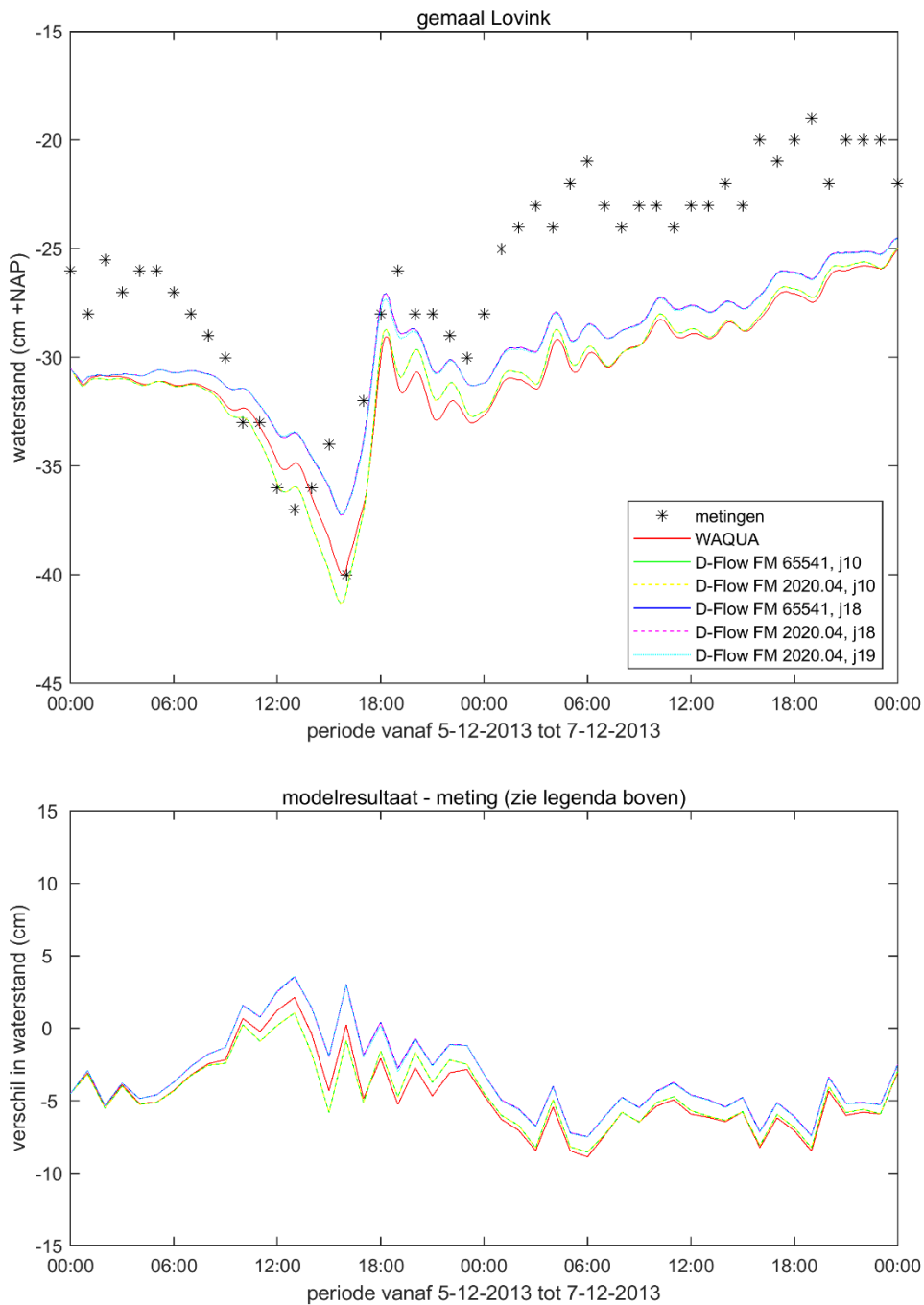
Figuur 21 *Vergelijking van gemeten en met WAQUA en D-Flow FM berekende waterstand voor de stormperiode in december 2013 bij observatie station Elburgerbrug. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].*



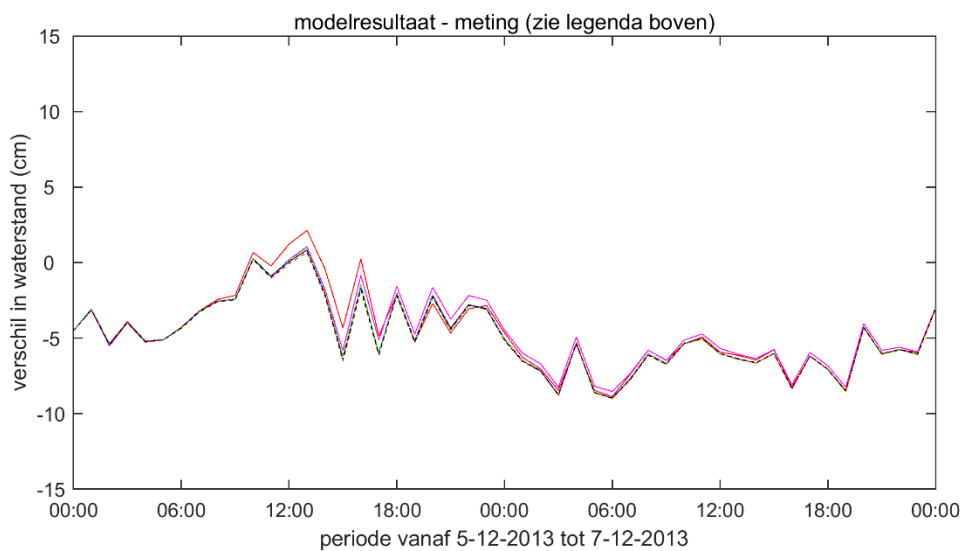
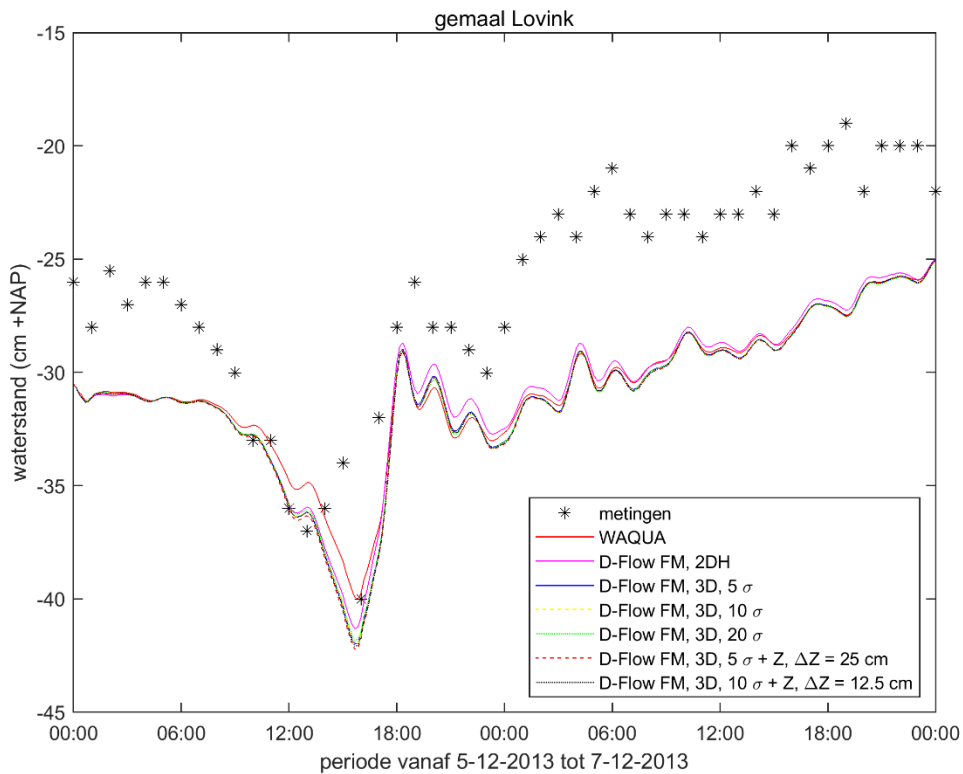
Figuur 22 *Vergelijking van gemeten en met WAQUA en D-Flow FM berekende waterstand voor de stormperiode in december 2013 bij observatie station Elburgerbrug. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].*



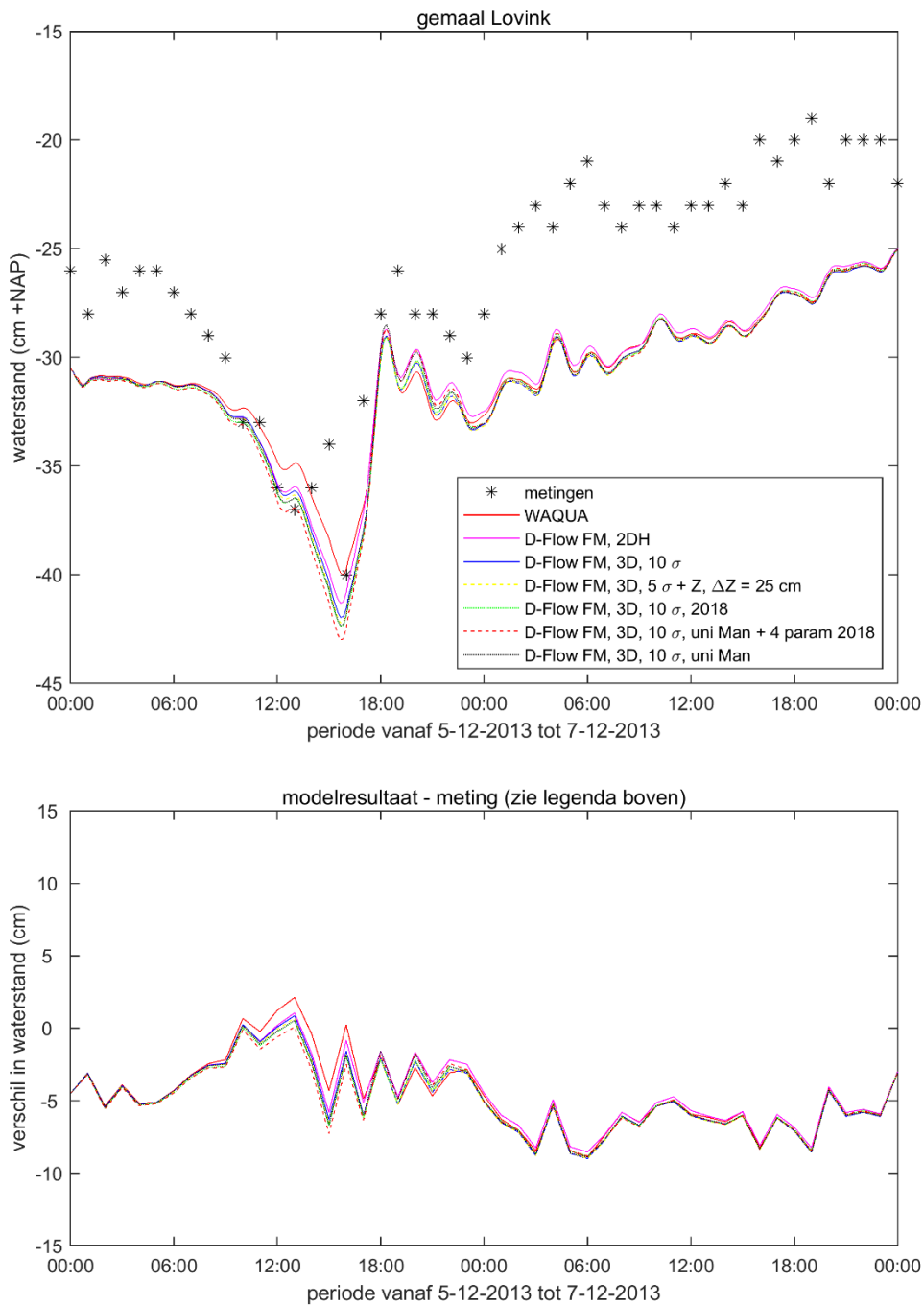
Figuur 23 *Vergelijking van gemeten en met WAQUA en D-Flow FM berekende waterstand voor de stormperiode in december 2013 bij observatie station gemaal Lovink. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].*



Figuur 24 *Vergelijking van gemeten en met WAQUA en D-Flow FM berekende waterstand voor de stormperiode in december 2013 bij observatie station gemaal Lovink. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm]. (N.B. de waterstanden voor de twee runs met verschillende D-Flow FM versies met het j10 respectievelijk j18 model vallen over elkaar heen.)*



Figuur 25 *Vergelijking van gemeten en met WAQUA en D-Flow FM berekende waterstand voor de stormperiode in december 2013 bij observatie station gemaal Lovink. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].*



Figuur 26 *Vergelijking van gemeten en met WAQUA en D-Flow FM berekende waterstand voor de stormperiode in december 2013 bij observatie station gemaal Lovink. Boven de waterstand in [cm] t.o.v. NAP, beneden het verschil van berekende waterstand minus gemeten waterstand in [cm].*

C Tabellen modelbeoordeling waterstanden 2DH

Tabel 24 Bias in [cm] voor berekende waterstand in vergelijking met gemeten waterstand voor WAQUA en D-Flow FM model met verschillende modelinstellingen.

Observatie station	WAQUA, j10	D-Flow FM 64973, j10, ini waterstand	D-Flow FM 65541, j10, ini waterstand, reductie wind	D-Flow FM 65541, j10, ini waterstand	D-Flow FM 65541, j10, uni meerpeil	D-Flow FM, 65541, j18, ini waterstand, reductie wind	D-Flow FM, 65541, j18, ini waterstand	D-Flow FM, 65541, j18, uni meerpeil	D-Flow FM 2020.04, j10, uni meerpeil	D-Flow FM 2020.04, j18, uni meerpeil	D-Flow FM 2020.04, j19, uni meerpeil
Nijkerkersluis	-2.7	-2.0	-1.8	-2.0	-2.0	-2.2	-2.4	-1.3	-2.0	-1.3	-1.3
Elburgerbrug	1.3	0.5	0.3	0.5	0.6	-3.0	-2.8	-1.7	0.6	-1.7	-1.8
Roggebotsluis	1.9	1.2	0.8	1.2	1.2	-3.3	-2.9	-1.1	1.2	-1.1	-1.2
gemaal Lovink	-4.6	-4.6	-4.5	-4.6	-4.6	-4.3	-4.3	-3.4	-4.6	-3.4	-3.4
gemiddelde over alle observatie stations	-1.0	-1.2	-1.3	-1.2	-1.2	-3.2	-3.1	-1.9	-1.2	-1.9	-1.9
RMS gemiddelde over alle observatie stations	2.9	2.6	2.5	2.6	2.6	3.3	3.2	2.1	2.6	2.1	2.1

Tabel 25 RMSE in [cm] voor berekende waterstand in vergelijking met gemeten waterstand voor WAQUA en D-Flow FM model met verschillende modelinstellingen.

Observatie station	WAQUA, j10	D-Flow FM 64973, j10, ini waterstand	D-Flow FM 65541, j10, ini waterstand, reductie wind	D-Flow FM 65541, j10, ini waterstand	D-Flow FM 65541, j10, uni meerpeil	D-Flow FM, 65541, j18, ini waterstand, reductie wind	D-Flow FM, 65541, j18, ini waterstand	D-Flow FM, 65541, j18, uni meerpeil	D-Flow FM 2020.04, j10, uni meerpeil	D-Flow FM 2020.04, j18, uni meerpeil	D-Flow FM 2020.04, j19, uni meerpeil
Nijkerkersluis	3.9	4.0	3.9	4.0	4.0	3.7	3.7	3.2	4.0	3.2	3.2
Elburgerbrug	3.5	3.3	3.2	3.3	3.3	3.9	3.6	2.9	3.3	2.9	2.9
Roggebotsluis	4.0	3.4	3.4	3.4	3.4	11.5	11.3	2.4	3.4	2.4	2.5
gemaal Lovink	5.2	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	4.3	5.1	4.3	4.4
gemiddelde over alle observatie stations	4.1	3.9	3.9	3.9	3.9	6.0	5.9	3.2	3.9	3.2	3.2
RMS gemiddelde over alle observatie stations	4.2	4.0	4.0	4.0	4.0	6.8	6.7	3.3	4.0	3.3	3.3

Tabel 26 *Standaardafwijking in [cm] voor berekende waterstand in vergelijking met gemeten waterstand voor WAQUA en D-Flow FM model met verschillende modelinstellingen.*

Observatie station	WAQUA, j10	D-Flow FM 64973, j10, ini waterstand	D-Flow FM 65541, j10, ini waterstand, reductie wind	D-Flow FM 65541, j10, ini waterstand	D-Flow FM 65541, j10, uni meerpeil	D-Flow FM 65541, j18, ini waterstand, reductie wind	D-Flow FM, 65541, j18, ini waterstand	D-Flow FM, 65541, j18, uni meerpeil	D-Flow FM 2020.04, j10, uni meerpeil	D-Flow FM 2020.04, j18, uni meerpeil	D-Flow FM 2020.04, j19, uni meerpeil
Nijkerkersluis	2.8	3.4	3.5	3.4	3.4	3.0	2.9	2.9	3.4	2.9	2.9
Elburgerbrug	3.3	3.2	3.2	3.2	3.2	2.5	2.3	2.3	3.2	2.3	2.4
Roggebotsluis	3.5	3.2	3.3	3.2	3.2	11.0	11.0	2.1	3.2	2.1	2.2
gemaal Lovink	2.6	2.4	2.4	2.4	2.4	2.8	2.8	2.8	2.4	2.8	2.8
gemiddelde over alle observatie stations	3.0	3.1	3.1	3.1	3.0	4.8	4.7	2.5	3.0	2.5	2.6
RMS gemiddelde over alle observatie stations	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	6.0	5.9	2.5	3.1	2.5	2.6

Tabel 27 Δz_{max} in [cm] voor periode van 24 uur rondom piek op 15:00 5-12-2013 voor berekende waterstand in vergelijking met gemeten waterstand voor WAQUA en D-Flow FM model met verschillende modelinstellingen.

Observatie station	WAQUA, j10	D-Flow FM 64973, j10, ini waterstand	D-Flow FM 65541, j10, ini waterstand, reductie wind	D-Flow FM 65541, j10, ini waterstand	D-Flow FM 65541, j10, uni meerpeil	D-Flow FM, 65541, j18, ini waterstand, reductie wind	D-Flow FM, 65541, j18, ini waterstand	D-Flow FM, 65541, j18, uni meerpeil	D-Flow FM 2020.04, j10, uni meerpeil	D-Flow FM 2020.04, j18, uni meerpeil	D-Flow FM 2020.04, j19, uni meerpeil
Nijkerkersluis	-4.9	-4.3	-4.2	-4.3	-4.3	-5.1	-5.2	-4.2	-4.3	-4.2	-4.3
Elburgerbrug	3.4	0.4	-0.5	0.4	0.4	-6.8	-5.7	-4.7	0.4	-4.7	-4.8
Roggebotsluis	0.8	-2.6	-4.7	-2.6	-2.6	-9.4	-6.7	-5.4	-2.6	-5.4	-5.7
gemaal Lovink	-7.1	-6.6	-6.5	-6.6	-6.6	-5.5	-5.6	-4.6	-6.6	-4.6	-4.9
gemiddelde over alle observatie stations	-1.9	-3.3	-4.0	-3.3	-3.3	-6.7	-5.8	-4.7	-3.3	-4.7	-4.9
RMS gemiddelde over alle observatie stations	4.6	4.1	4.5	4.1	4.1	6.9	5.8	4.7	4.1	4.7	5.0

Tabel 28 $\Delta\zeta_{min}$ in [cm] voor periode van 24 uur rondom piek op 15:00 5-12-2013 voor berekende waterstand in vergelijking met gemeten waterstand voor WAQUA en D-Flow FM model met verschillende modelinstellingen.

Observatie station	WAQUA, j10	D-Flow FM 64973, j10, ini waterstand	D-Flow FM 65541, j10, ini waterstand, reductie wind	D-Flow FM 65541, j10, ini waterstand	D-Flow FM 65541, j10, uni meerpeil	D-Flow FM, 65541, j18, ini waterstand, reductie wind	D-Flow FM, 65541, j18, ini waterstand	D-Flow FM, 65541, j18, uni meerpeil	D-Flow FM 2020,04, j10, uni meerpeil	D-Flow FM 2020,04, j18, uni meerpeil	D-Flow FM 2020,04, j19, uni meerpeil
Nijkerkersluis	-1.1	2.3	2.9	2.3	2.2	1.3	0.5	1.5	2.2	1.5	2.0
Elburgerbrug	0.1	-0.2	-0.3	-0.2	-0.2	-1.3	-1.2	-0.4	-0.2	-0.4	-0.4
Roggebotsluis	3.9	3.3	3.0	3.3	3.3	1.9	2.1	3.1	3.3	3.1	3.1
gemaal Lovink	0.2	-0.9	-0.6	-0.9	-0.8	2.4	2.0	3.0	-0.8	3.0	3.0
gemiddelde over alle observatie stations	0.8	1.1	1.2	1.1	1.1	1.1	0.8	1.8	1.1	1.8	1.9
RMS gemiddelde over alle observatie stations	2.0	2.0	2.1	2.0	2.0	1.8	1.6	2.3	2.0	2.3	2.4

Tabel 29 Gemiddelde rekentijdstep (s) van D-Flow FM model met verschillende modelinstellingen.

	D-Flow FM 64973, j10, ini waterstand	D-Flow FM 65541, j10, ini waterstand, reductie wind	D-Flow FM 65541, j10, ini waterstand	D-Flow FM 65541, j10, uni meerpeil	D-Flow FM, 65541, j18, ini waterstand, reductie wind	D-Flow FM, 65541, j18, ini waterstand	D-Flow FM, 65541, j18, uni meerpeil	D-Flow FM 2020,04, j10, uni meerpeil	D-Flow FM 2020,04, j18, uni meerpeil	D-Flow FM 2020,04, j19, uni meerpeil
gemiddelde rekentijdstep (s)	6.6	6.6	6.6	6.6	4.6	4.5	4.5	6.6	4.5	4.4

Tabel 30 Wall clock tijd (m) van D-Flow FM model met verschillende modelinstellingen.

wall clock tijd (minuten per dag simulatie)	D-Flow FM 64973, j10, ini waterstand	D-Flow FM 65541, j10, ini waterstand, reductie wind	D-Flow FM 65541, j10, ini waterstand	D-Flow FM 65541, j10, uni meerpeil	D-Flow FM, 65541, j18, ini waterstand, reductie wind	D-Flow FM, 65541, j18, ini waterstand	D-Flow FM, 65541, j18, uni meerpeil	D-Flow FM 2020,04, j10, uni meerpeil	D-Flow FM 2020,04, j18, uni meerpeil	D-Flow FM 2020,04, j19, uni meerpeil
1 E3-1276 v3 node met 1 core	11.1	10.9	10.8	10.9	15.3	15.8	15.7			
1 E3-1276 v3 node met 4 cores								5.8	8.0	8.1

D Tabellen modelbeoordeling waterstanden 3D

Tabel 31 Bias in [cm] voor berekende waterstand in vergelijking met gemeten waterstand voor D-Flow FM model met verschillende modelinstellingen.

Observatie station	5 σ lagen	10 σ lagen	20 σ lagen	5 σ + Z, $\Delta Z = 0.25$ lagen	10 σ + Z, $\Delta Z = 0.125$ lagen	10 σ lagen, 2018 instellingen	10 σ lagen, uniforme Manning ruwheid + 4 parameters 2018	10 σ lagen, uniforme Manning ruwheid
Nijkerkersluis	-2.6	-2.6	-2.6	-2.8	-2.7	-2.8	-2.8	-2.6
Elburgerbrug	1.2	1.2	1.1	1.5	1.4	1.4	1.5	1.3
Roggebotsluis	1.9	1.9	1.8	2.3	2.1	2.1	2.3	2.1
gemaal Lovink	-4.8	-4.8	-4.8	-4.9	-4.9	-4.9	-4.9	-4.8
gemiddelde over alle observatie stations	-1.1	-1.1	-1.1	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
RMS gemiddelde over alle observatie stations	3.0	3.0	2.9	3.1	3.1	3.1	3.2	3.0

Tabel 32 RMSE in [cm] voor berekende waterstand in vergelijking met gemeten waterstand voor D-Flow FM model met verschillende modelinstellingen.

Observatie station	5 σ lagen	10 σ lagen	20 σ lagen	5 σ + Z, $\Delta Z = 0.25$ lagen	10 σ + Z, $\Delta Z = 0.125$ lagen	10 σ lagen, 2018 instellingen	10 σ lagen, uniforme Manning ruwheid + 4 parameters 2018	10 σ lagen, uniforme Manning ruwheid
Nijkerkersluis	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4	4.3	4.0
Elburgerbrug	3.7	3.8	3.8	4.0	4.0	3.8	3.5	3.4
Roggebotsluis	3.9	3.9	3.9	4.2	4.2	4.1	4.0	3.8
gemaal Lovink	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4
gemiddelde over alle observatie stations	4.3	4.3	4.3	4.5	4.5	4.4	4.3	4.1
RMS gemiddelde over alle observatie stations	4.3	4.4	4.4	4.5	4.5	4.5	4.4	4.2

Tabel 33 *Standaardafwijking in [cm] voor berekende waterstand in vergelijking met gemeten waterstand voor D-Flow FM model met verschillende modelinstellingen.*

Observatie station	5 σ lagen	10 σ lagen	20 σ lagen	5 σ + Z, $\Delta Z = 0.25$ lagen	10 σ + Z, $\Delta Z = 0.125$ lagen	10 σ lagen, 2018 instellingen	10 σ lagen, uniforme Manning ruwheid + 4 parameters 2018	10 σ lagen, uniforme Manning ruwheid
Nijkerkersluis	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.2	3.1
Elburgerbrug	3.5	3.6	3.6	3.7	3.7	3.6	3.2	3.1
Roggebotsluis	3.4	3.4	3.5	3.6	3.7	3.5	3.3	3.2
gemaal Lovink	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.3	2.3	2.4
gemiddelde over alle observatie stations	3.1	3.2	3.2	3.2	3.3	3.2	3.0	2.9
RMS gemiddelde over alle observatie stations	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.2	3.0	3.0

Tabel 34 *Δz_{max} in [cm] voor periode van 24 uur rondom piek op 15:00 5-12-2013 voor berekende waterstand in vergelijking met gemeten waterstand voor D-Flow FM model met verschillende modelinstellingen.*

Observatie station	5 σ lagen	10 σ lagen	20 σ lagen	5 σ + Z, $\Delta Z = 0.25$ lagen	10 σ + Z, $\Delta Z = 0.125$ lagen	10 σ lagen, 2018 instellingen	10 σ lagen, uniforme Manning ruwheid + 4 parameters 2018	10 σ lagen, uniforme Manning ruwheid
Nijkerkersluis	-4.5	-4.5	-4.5	-4.5	-4.5	-4.4	-4.5	-4.6
Elburgerbrug	2.4	2.1	1.5	2.4	1.7	1.8	3.8	4.1
Roggebotsluis	-0.4	-0.8	-1.5	-0.7	-1.6	-0.7	2.4	2.2
gemaal Lovink	-7.0	-7.1	-7.1	-7.1	-7.2	-7.2	-6.7	-6.6
gemiddelde over alle observatie stations	-2.4	-2.6	-2.9	-2.5	-2.9	-2.6	-1.2	-1.2
RMS gemiddelde over alle observatie stations	4.3	4.3	4.3	4.4	4.4	4.3	4.6	4.6

Tabel 35 Δz_{min} in [cm] voor periode van 24 uur rondom piek op 15:00 5-12-2013 voor berekende waterstand in vergelijking met gemeten waterstand voor D-Flow FM model met verschillende modelinstellingen.

Observatie station	5 σ lagen	10 σ lagen	20 σ lagen	5 σ + + Z, $\Delta Z = 0.25$ lagen	10 σ + + Z, $\Delta Z = 0.125$ lagen	10 σ lagen, 2018 instellingen	10 σ lagen, uniforme Manning ruwheid + 4 parameters 2018	10 σ lagen, uniforme Manning ruwheid
Nijkerkersluis	0.3	0.2	0.5	0.2	0.6	0.1	-0.8	-0.9
Elburgerbrug	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	0.0	0.2
Roggebotsluis	3.6	3.5	3.4	3.5	3.3	3.3	3.8	4.0
gemaal Lovink	-1.6	-1.6	-1.4	-1.8	-1.7	-1.9	-2.5	-1.9
gemiddelde over alle observatie stations	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.3	0.1	0.3
RMS gemiddelde over alle observatie stations	2.0	1.9	1.8	2.0	1.9	1.9	2.3	2.2

Tabel 36 Gemiddelde rekentijdstep (s) van D-Flow FM model met verschillende modelinstellingen.

	5 σ lagen	10 σ lagen	20 σ lagen	5 σ + + Z, $\Delta Z = 0.25$ lagen	10 σ + + Z, $\Delta Z = 0.125$ lagen	10 σ lagen, 2018 instellingen	10 σ lagen, uniforme Manning ruwheid + 4 parameters 2018	10 σ lagen, uniforme Manning ruwheid
gemiddelde rekentijdstep (s)	4.4	3.7	2.3	2.2	1.3	4.5	4.2	3.5

Tabel 37 Wall clock tijd (m) van D-Flow FM model met verschillende modelinstellingen.

wall clock tijd (minuten per dag simulatie)	5 σ lagen	10 σ lagen	20 σ lagen	5 σ + + Z, $\Delta Z = 0.25$ lagen	10 σ + + Z, $\Delta Z = 0.125$ lagen	10 σ lagen, 2018 instellingen	10 σ lagen, uniforme Manning ruwheid + 4 parameters 2018	10 σ lagen, uniforme Manning ruwheid
1 E3-1276 v3 node met 4 cores	3.2	34.8	156.0	120.4	342.4	53.7	58.6	69.9

E Tabellen rekentijdstep en rekentijden voor BOI testcase

Tabel 38 Gemiddelde rekentijdstep (s) van D-Flow FM model voor BOI testcase met verschillende modelinstellingen.

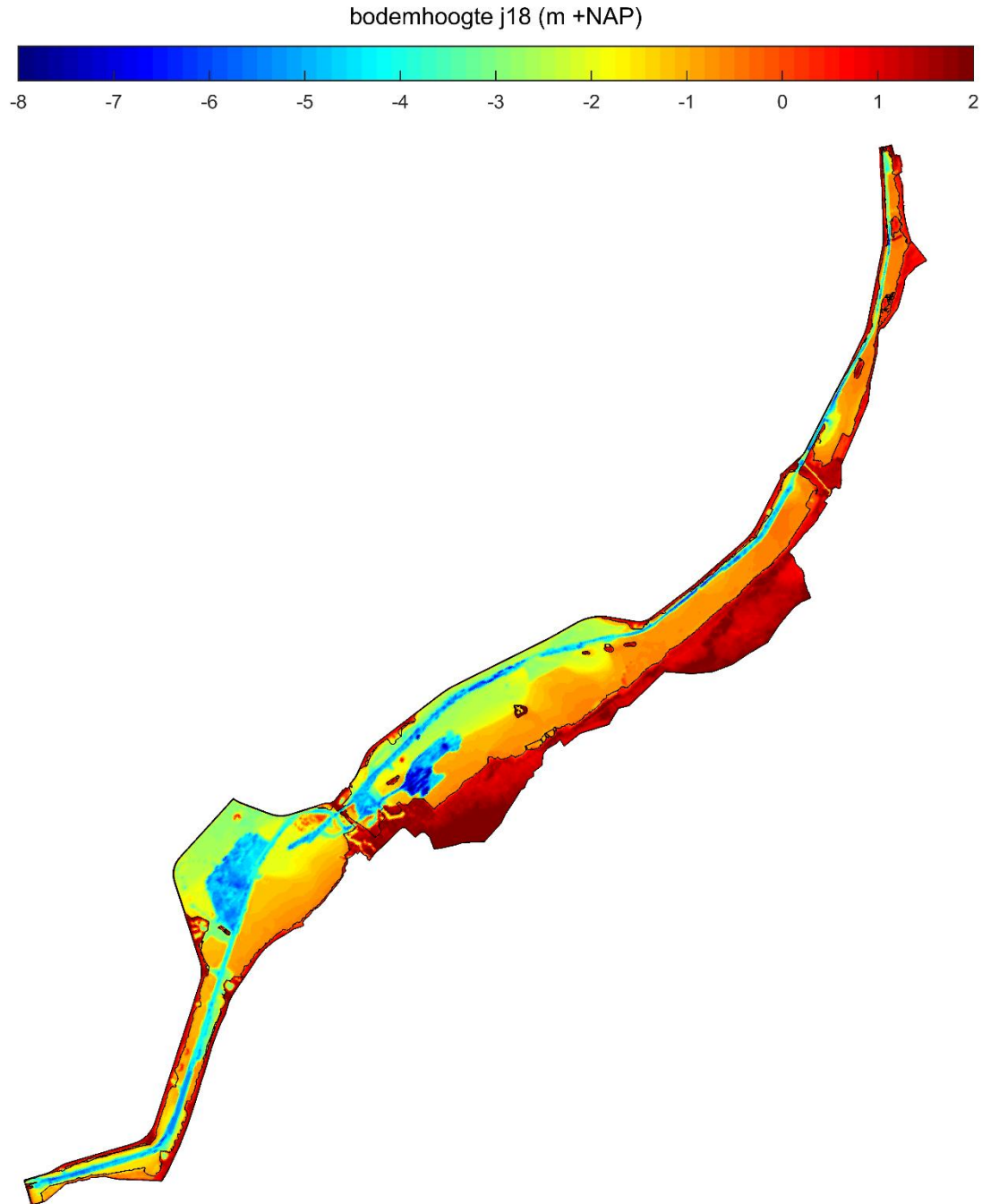
	2DH	3D, 5	3D, 10 σ lagen	3D, 5 σ + + Z, $\Delta Z = 0,25$ lagen
gemiddelde rekentijdstep (s)	1.06	0.66	0.54	*

Tabel 39 Wall clock tijd (in minuten per dag simulatie) van D-Flow FM model voor BOI testcase met verschillende modelinstellingen.

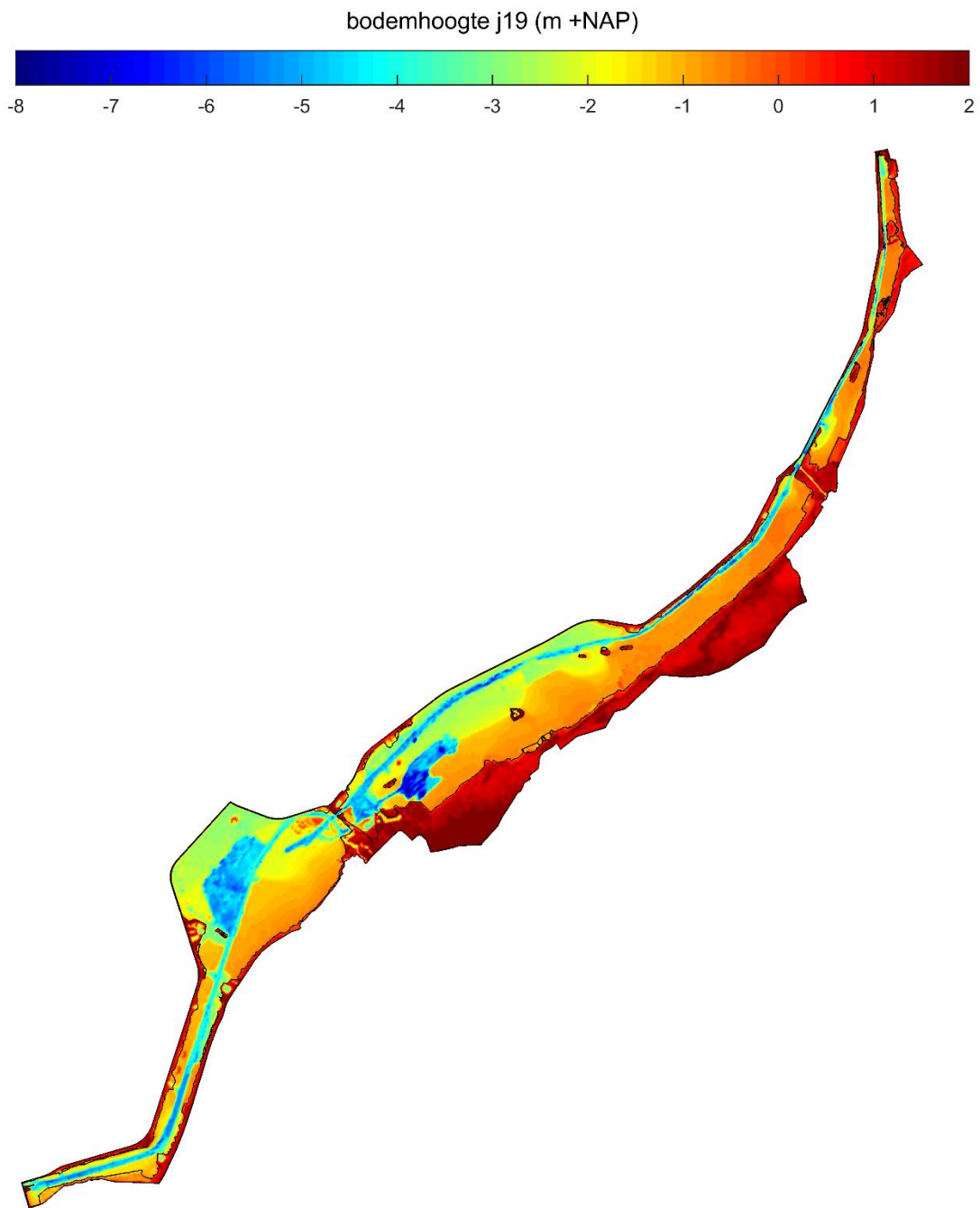
	2DH	3D, 5	3D, 10 σ lagen	3D, 5 σ + + Z, $\Delta Z = 0,25$ lagen
wall clock tijd (minuten per dag simulatie)				
1 E3-1276 v3 node met 4 cores	31	207	431	*

*) Bij deze modelinstelling met z-sigma lagen kon D-Flow FM de simulatie niet binnen een redelijke tijd afronden. Het duurde al 5 dagen om de eerste 6 uur van de simulatieperiode van 22 uur door te rekenen. De automatische rekentijdstep nam daarbij waarden aan tussen 0.0001 s en 0.004 s.

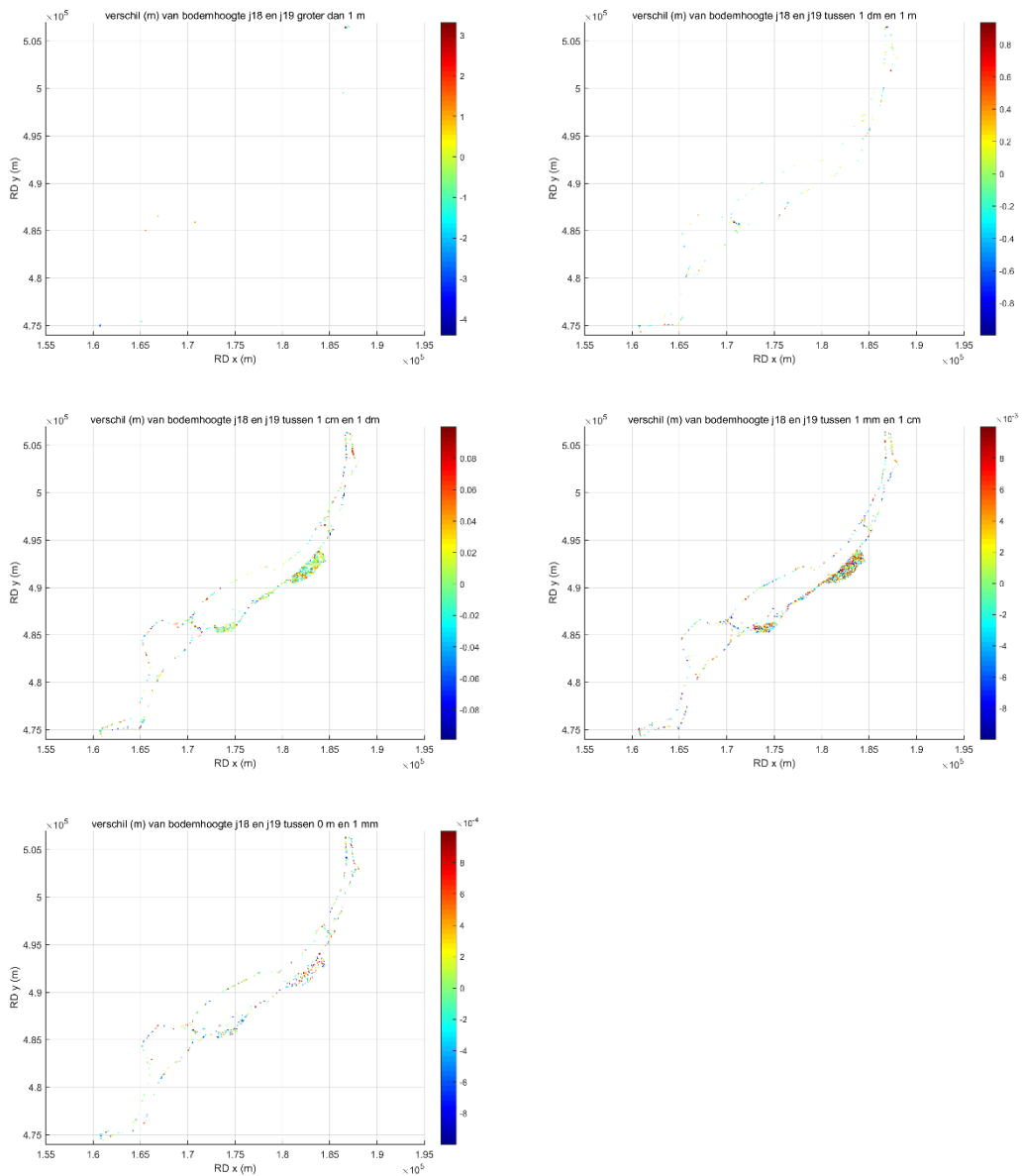
F Verschillen in invoerbestanden van D-Flow FM model van Veluwerandmeren voor versie j18 (gegenereerd vanuit Baseline 5) en versie j19 (gegenereerd vanuit Baseline 6)



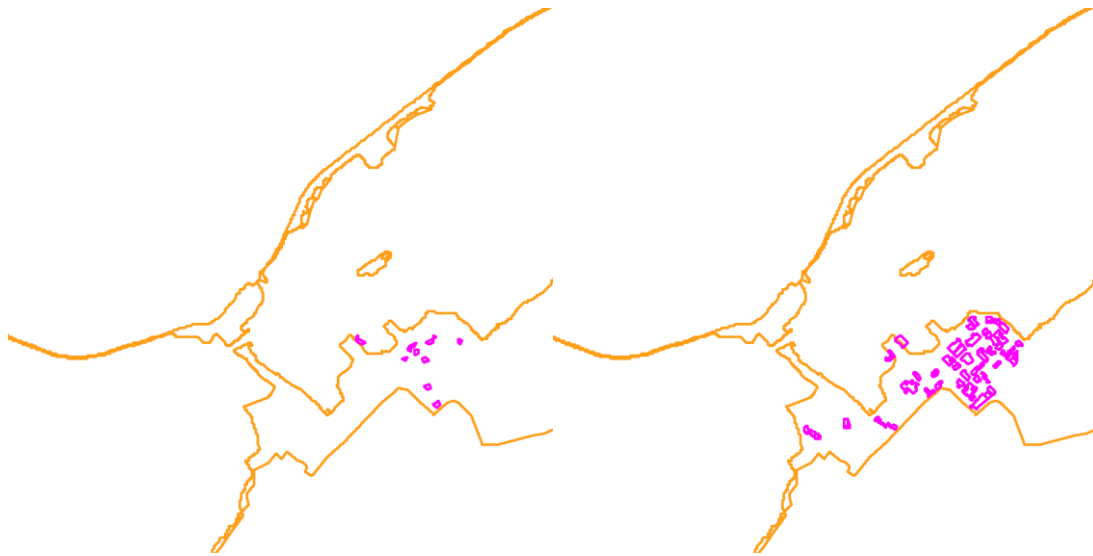
Figuur 27 Bodemhoogte (m +NAP) in D-Flow FM j18 model.



Figuur 28 Bodemhoogte (m +NAP) in D-Flow FM j19 model.



Figuur 29 *Verskil (m) van bodemhoogte van de j18 en j19 versie van het D-Flow FM model van de Veluwerandmeren ingedeeld in verschillende klassen (punten met verschil groter dan 1 m linksboven, punten met verschil tussen 1 dm en 1 m rechtsboven, punten met verschil tussen 1 cm en 1 dm midden links, punten met verschil tussen 1 mm en 1 cm midden rechts en punten met verschil tussen 0 m en 1 mm linksonder).*



Figuur 30 Geconstateerde verschillen (roze lijnen) in bestanden met dunne dammen (... thin_dams.pli) en droge gebieden (... dry_areas.pol) voor het D-Flow FM modelversie j18 (links) en j19 (rechts) van de Veluwerandmeren. Deze verschillen zijn bij Harderwijk.