

Jaarlijkse Actualisatie Modellen RMM 2024



Actualisatie Modellen Rijn-Maasmonding 2024
dflowfm2d-rmm_vzm-j24_6-v1a

Auteur(s)

Bas Gradussen
Tammo Zijlker

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	Erik van Rooijen
Referenties	
Trefwoorden	Rijn-Maasmonding, Baseline, D-HYDRO, Actualisatie, j24

Documentgegevens	
Versie	1.0
Datum	13-09-2024
Projectnummer	11210333-004
Document ID	11210333-004-ZWS-0006
Pagina's	58
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)	
	Bas Gradussen
	Tammo Zijlker

Samenvatting

Dit document bevat een beschrijving van de actualisatie van het tweedimensionale, hydrodynamische D-HYDRO-model van de Rijn-Maasmonding (RMM) naar dflowfm2d-rmm-vzm-j24_6-v1a. Als basis voor de actualisatie is uitgegaan van het Baselinemodel Baseline-nl-j24_6-v1, waarin 6 actualisatiemaatregelen zijn opgenomen die zijn aangeleverd door Rijkswaterstaat WNZ. Bij de projectie is gebruik gemaakt van het identieke rekenrooster als dat van de in 2022 gepubliceerde voorganger dflowfm2d-rmm-vzm-j19_6-v2d.

Een aantal nabewerkingsstappen is uitgevoerd voor het D-HYDRO model. Zo zijn zoutriolen toegevoegd, zijn enkele handmatige wijzigingen toegepast om de werking van de Volkeraksluizen te garanderen, is het formaat van de modeluitvoer gereduceerd en is de stabiliteit van het model gevalideerd met D-HYDRO-release 2024.03.

De resultaten van het geactualiseerde model zijn vergeleken met de resultaten van voorganger dflowfm2d-rmm-vzm-j19_6-v2d. Ten behoeve van deze vergelijking zijn de zes standaardsommen uitgevoerd waarbinnen wordt gevarieerd in rivierafvoer, meteorologische condities en het open- of dicht staan van keringen en sluizen. Deze standaardsommen hebben de volgende naamgeving: testberekening (tb-) a tot en met f.

Het verschil in gemodelleerde maximale waterstand op de LMW-stations is voor standaardsommen tba, tbb, tbc kleiner dan 5 cm ten opzichte van dflowfm2d-rmm-vzm-j19_6-v2d. Verschillen zijn vooral af te leiden naar de actualisatie van de Voordelta, waardoor het verval over- en het spuidebiet door de Haringvlietsluizen wijzigt. Voor scenario's tbd, tbe en tbf (waarbij de keringen sluiten en Volkeraksluizen openen) is de maximale waterstand op de LMW-stations over het algemeen groter, maar uiterlijk 7 cm. Het feit dat voor scenario's tbd, tbe en tbf een groter verschil in gemodelleerde maximale waterstand wordt waargenomen is het resultaat van de wijziging in instellingen van de Volkeraksluizen ten opzichte van dflowfm2d-rmm-vzm-j19_6-v2d. Hierdoor stroomt er onder extreme condities relatief minder water het Volkerak in. Dit heeft een merkbare invloed op de maximale waterstanden in het hele model: testberekeningen tonen aan dat dit verschil één tot enkele centimeters bedraagt. Het was noodzakelijk om de instellingen van de Volkeraksluizen te wijzigen om een stabiele simulatie te garanderen. In een volgende actualisatie moet deze handmatige ingreep worden voorkomen door een verbeterde schematisatie van de Volkeraksluizen en een geoptimaliseerd rekenrooster op te nemen.

De actualisatie van de bathymetrie van de Voordelta en de resulterende afname in spuidebiet door de Haringvlietsluizen leidt ook tot een bias van het waterstandstandsignaal en een toename in minimale waterstanden van enkele centimeters op de riviertrajecten bovenstrooms van de Haringvlietsluizen ten opzichte van dflowfm2d-rmm-vzm-j19_6-v2d.

De resultaten van de berekeningen en de vergelijking tussen dflowfm2d-rmm-vzm-j24_6-v1a en dflowfm2d-rmm-vzm-j19_6-v2d worden in meer detail gepresenteerd en geanalyseerd in deze rapportage.

Het eindproduct van de gerapporteerde werkzaamheden is de geactualiseerde modelschematisatie dflowfm2d-rmm-vzm-j24_6-v1a. Na goedkeuring van deze rapportage, worden de bijhorende factsheet en het PvO opgeleverd. Met de afronding van deze twee laatstgenoemde documenten, is het modelinstrumentarium gereed voor operationeel gebruik.

Inhoud

Samenvatting	4	
1	Inleiding	7
1.1	Achtergrond	7
1.2	Doel	7
1.3	Aanpak	7
1.4	Leeswijzer	8
2	Modelopzet	9
2.1	Introductie	9
2.2	Baselineschematisatie	9
2.2.1	Baseline	9
2.2.2	rm_rdam_geh_a1_j24	10
2.2.3	rm_rd_ha23_a1	10
2.2.4	rm_bo_960l_a1	13
2.2.5	rm_cor_bod23_a1	13
2.2.6	rm_nw24_a1	16
2.2.7	rmm_bathymetrie2023_b1	16
2.3	Handmatige wijzigingen aan geometrie	19
2.3.1	Zoutriolen	19
2.3.2	Projectie van overlaten rondom de Volkeraksluizen	20
2.4	Modelrooster	22
2.5	Randvoorwaarden standaardsommen	22
2.6	Overige aandachtspunten	23
2.6.1	Modeltests ten behoeve van numerieke stabiliteit	23
2.6.1.1	Aanleiding	23
2.6.1.2	Analyse van minimale tijdstap	24
2.6.1.3	Analyse van fluctuaties in de tijdstap en waterstand	24
2.6.2	Coördinatenprojectie	27
2.6.3	Verschillende model enclosures	27
2.6.4	Reductie bestandgrootte modeloutput	27
2.6.5	Uitgebreide statistische modeluitvoer	28
2.6.6	Diagnostisch rekenen	29
3	Resultaten	30
3.1	Introductie	30
3.2	Waterstandstijdreeksen op LMW-stations	30
3.2.1	Beoordelingsvariabelen	30
3.2.2	Analyse	30
3.3	Langsprofielen maximale waterstanden	40
3.4	Stroombeelden Noordwaard Polder (TBA)	47

4	Conclusies en aanbevelingen	49
4.1	Introductie	49
4.2	Conclusies	49
4.3	Aanbevelingen	50
5	Referenties	53
A	Bijlage 1: Handmatig aangepaste fixed weirs rond spuisluisen Volkerak	54
B	Bijlage 2: Locaties waar de oriëntatie van het rekenrooster optimalisatie behoeft	55
B.1	Ter plaatse van maatregel rm_rdam_geh_a1_j24	55
B.2	Ter plaatse van maatregel rm_rd_ha23_a1	56

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In 2022 is het zesde-generatie tweedimensionale (2D) D-HYDRO model van de Rijn-Maasmonding (RMM) in gebruik genomen (Van der Wijk et al., 2022). Deze modelschematisaties zijn afgeleid van Baseline-nl-j19_6-v2. De resulterende modelschematisaties (j19- en beno19) zijn bedoeld voor inzet ten behoeve van beheer en onderhoud en vergunningverlening in het gebied. Ten slotte is de hr2023-schematisatie in gebruik genomen, die is toegepast door het programma Beoordelings- en Ontwerp Instrumentarium primaire waterkeringen (BOI 2023).

Inmiddels is er een geactualiseerde versie van de Baselineschematisatie (Baseline-nl-j24_6-v1) beschikbaar, waarin een zestal door Rijkswaterstaat WNZ aangeleverde Baselinemaatregelen zijn opgenomen. Met deze nieuwe Baselineschematisatie kan het 2D-model van de RMM worden geactualiseerd. Dit jaar wordt enkel het operationele model geactualiseerd, resulterend in de schematisatie dflowm2d-rmm-vzm-j24_6-v1a. Het beno-model wordt dit jaar niet geactualiseerd.

1.2 Doel

Het doel van deze rapportage is om de geactualiseerde D-HYDRO modelschematisatie van het operationele tweedimensionale RMM-model toe te lichten (dflowm2d-rmm-vzm-j24_6-v1a). Zowel de actualisatiestappen als de resultaten van de standaardsommen worden toegelicht.

1.3 Aanpak

Als basis wordt uitgegaan van een clip van de Baselineschematisatie Baseline-nl-j24_6-v1. Daarin zijn de volgende actualisatiemaatregelen opgenomen die van toepassing zijn op het RMM-model:

- rm_rdam_geh_a1_j24
- rm_rd_ha23_a1
- rm_nw24_a1
- rm_cor_bod23_a1
- rm_bo_960l_a1
- rmm_bathymetrie2023_b1

Met behulp van de clip_contour_rmm_vzm_j24_6_v1 is het Baselinemodel van het RMM-domein afgeleid: Baseline-rmm-j24_6-v1.

Op basis van de resulterende Baselineschematisatie wordt de nieuwe input voor het tweedimensionale D-HYDRO-model geëxporteerd, gebruikmakend van het identieke modelrooster van het j19-model. Hierdoor wordt een nieuwe kallibratie- en validatieslag niet als noodzakelijk geacht mits de verschillen tussen de modellen te verklaren zijn door aanpassingen aan de schematisatie.

Een aantal nabewerkingsstappen is uitgevoerd voor het D-HYDRO model. Zo zijn zoutriolen toegevoegd, zijn enkele handmatige wijzigingen toegepast om de werking van de Volkeraksluizen te garanderen, is het formaat van de modeluitvoer gereduceerd en is de stabiliteit van het model gevalideerd met D-HYDRO-release 2024.03.

Ten slotte zijn de zes standaardsommen uitgevoerd met het geactualiseerde RMM-model, waarvan de resultaten zijn vergeleken met de j19_v2d-schematisatie.

Voor de actualisatie is gebruik gemaakt van de volgende softwareversies:

Onder Windows:

D-HYDRO Suite 2022.01 (enkel voor visuele inspectie in de GUI)

Baseline version 6.3.2.2739

ArcGIS version 10.6.1.9270

BAS2FM 1.0.26

Rekenharten op Linux:

DIMR 2.26.75.79023 (correspondeert met 2024.03rc01)

D-RTC 1.6.1.1227

1.4 Leeswijzer

De modelopzet wordt besproken in Hoofdstuk 2, waarin wordt ingegaan op de Baselineschematisatie, zoutriolen, de Volkeraksluizen, het modelrooster en diverse aandachtspunten.

Hoofdstuk 3 behandelt de resultaten van de zes standaardsommen van het j24_v1a-model. Ook worden de resultaten vergeleken met de resultaten van het j19_v2d-model.

Ten slotte komen in Hoofdstuk 4 de conclusies en aanbevelingen aan bod.

2 Modelopzet

2.1 Introductie

Dit hoofdstuk behandelt de modelopzet van het geactualiseerde j24_v1a-model van de Rijn-Maasmonding (RMM). Ten eerste wordt de Baselineschematisatie besproken in paragraaf 2.2, waarin de door Rijkswaterstaat WNZ aangeleverde maatregelen worden toegelicht. Een aantal handmatige wijzigingen in de modelinvoer komt aan bod in paragraaf 2.3. Paragraaf 2.4 behandelt het modelrooster. Paragraaf 2.5 gaat in op de randvoorwaarden van de standaardsommen. Ten slotte bevat paragraaf 2.6 overige aandachtspunten waarmee rekening is gehouden bij de actualisatie van het operationele model.

2.2 Baselineschematisatie

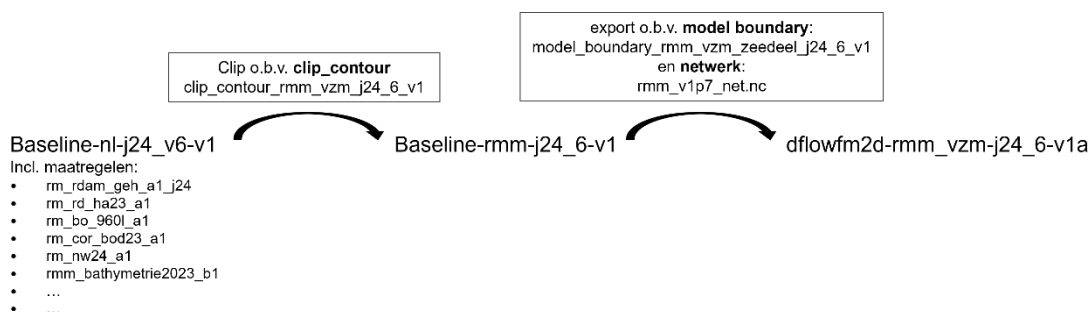
2.2.1 Baseline

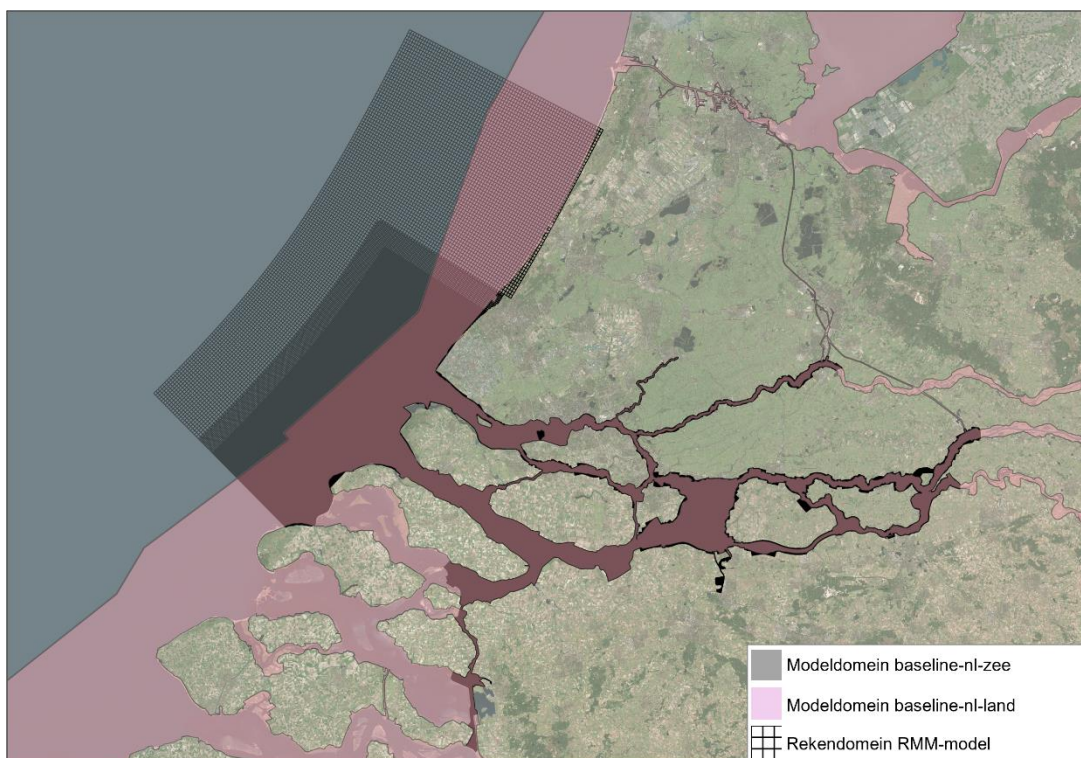
Als basis voor het geactualiseerde model van de Rijn-Maasmonding dient de meest actuele Baselineschematisatie Baseline-nl-j24_6-v1, bestaande uit Baseline-nl-land en Baseline-nl-zee. Het rekendomein van het RMM-model beslaat zowel het domein van baseline-nl-land als baseline-nl-zee (Figuur 2.1). In deze Baselineschematisatie zijn alle actualisatiemaatregelen opgenomen. Voor het deelgebied Rijn-Maasmonding heeft Rijkswaterstaat WNZ daarvoor de volgende 6 maatregelen aangeleverd:

- rm_rdam_geh_a1_j24
- rm_rd_ha23_a1
- rm_bo_960l_a1
- rm_cor_bod23_a1
- rm_nw24_a1
- rmm_bathymetrie2023_b1

Van Baseline-nl-j24_v6-v1 is een clip gemaakt van het relevante domein waarvoor de D-HYDRO-schematisatie van de Rijn-Maasmonding is afgeleid. Dit is gedaan op basis van clip_contour_rmm_vzm_j24_6_v1, resulterende in de Baselineschematisatie Baseline-rmm-j24_6-v1.

Ten slotte is deze schematisatie geëxporteerd naar de D-HYDRO-schematisatie aan de hand van model_boundary_rmm_vzm_zeedeel_j24_6_v1 in combinatie met het netwerk rmm_v1p7_net.nc. De naamgeving van de hieruit volgende D-HYDRO-schematisatie is dflowfm2d-rmm_vzm-j24_6-v1a. De stappen zijn weergegeven in onderstaand schema:





Figuur 2.1 Rekendomein van het RMM-model ten opzichte van baseline-nl-zee en baseline-nl-land welke onderdeel uit maken van baseline-nl-j24_6-v1.

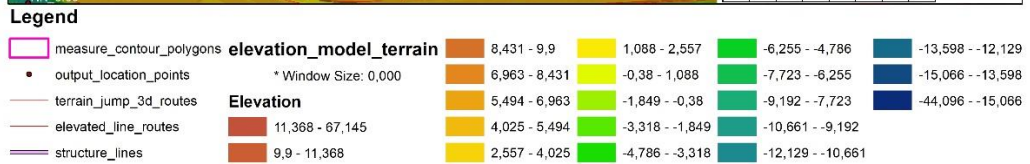
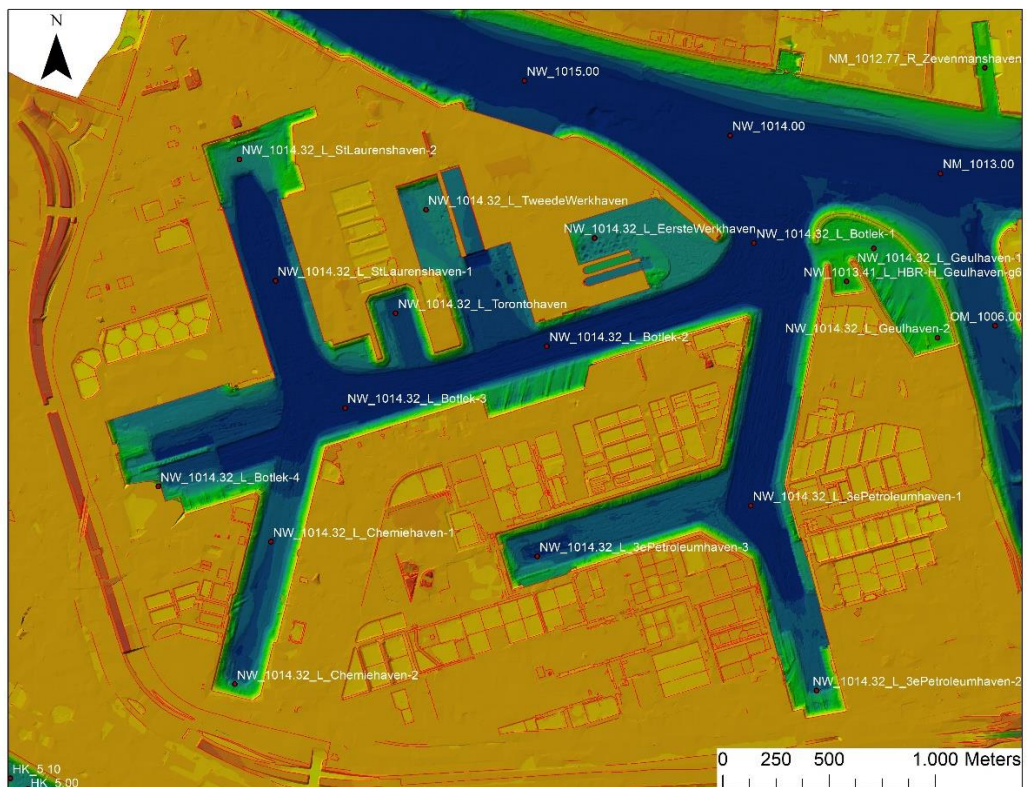
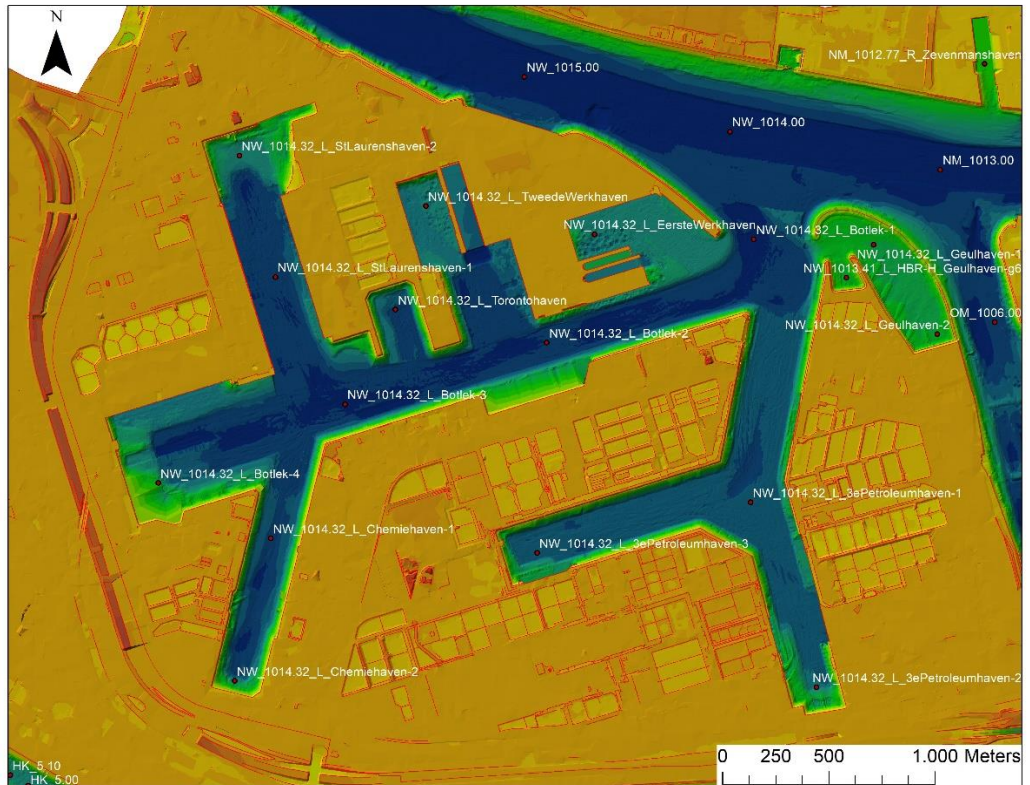
De hiervoor besproken actualisatiemaatregelen worden hieronder toegelicht. De actuele Baselineschematisatie Baseline-rmm-j24_6-v1 wordt vergeleken met voorganger Baseline-rmm-j19_6-v2.

2.2.2 **rm_rdam_geh_a1_j24**

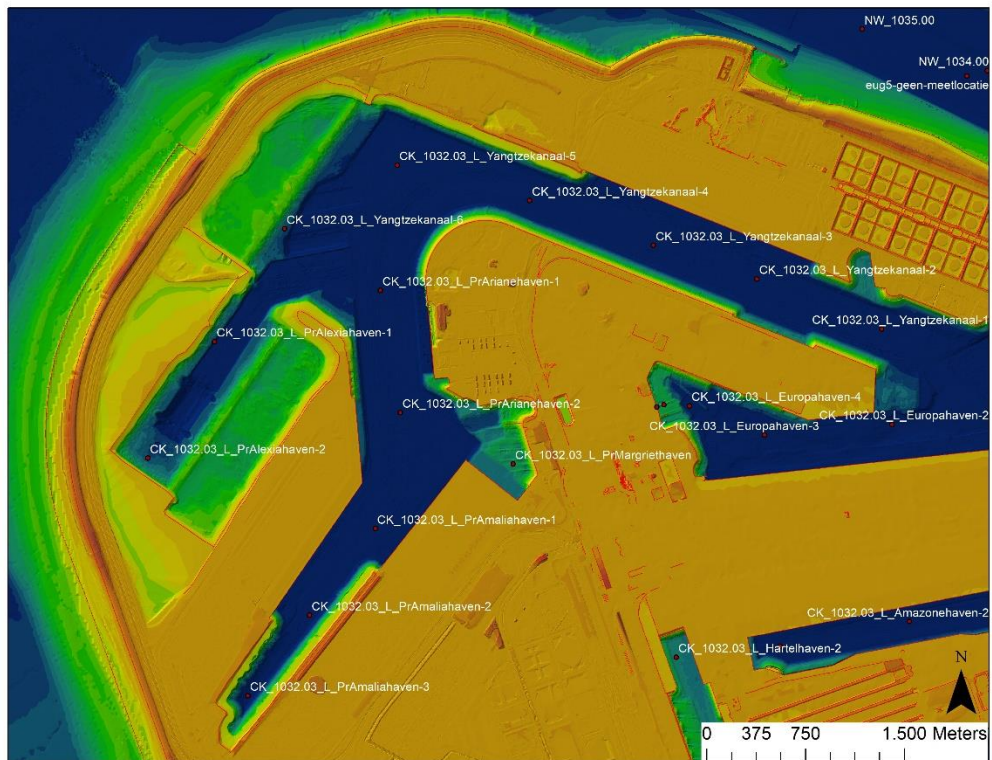
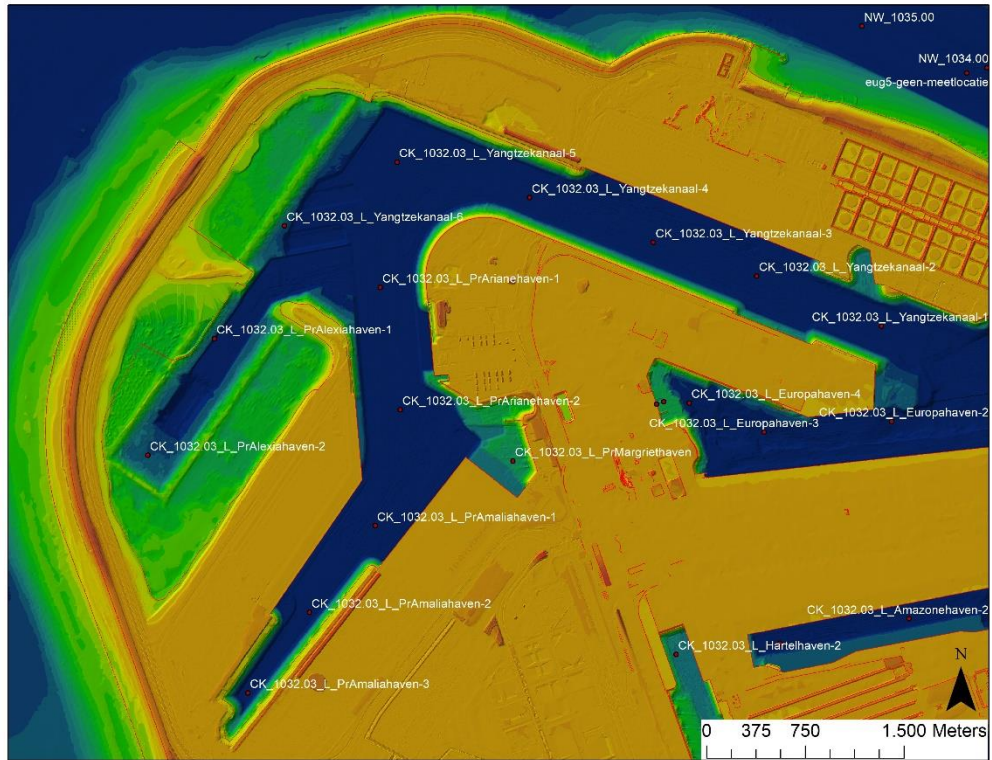
Deze maatregel betreft een actualisatie van de Botlek. Het gaat om een aanpassing van de ligging van de kademuuren in het westelijke-, en in het noordelijke deel van het gebied. Daarnaast is de bodemhoogte van de havenkom gewijzigd. De bodemhoogte is hier gewijzigd naar ongeveer -16,5 m NAP. Het hoogtemodel rondom het Botlekgebied voor- en na de actualisatie naar j24 is weergegeven in Figuur 2.1.

2.2.3 **rm_rd_ha23_a1**

Deze maatregel betreft een update van het havengebied van de Haven van Rotterdam. Op diverse locaties is de positie van de kademuur gewijzigd en is de bodemhoogte aangepast. De grootste wijzigingen zijn zichtbaar binnen Maasvlakte II. De verschillen in het hoogtemodel in Baseline van voor- en na de actualisatie naar j24 worden getoond in Figuur 2.2. Door deze maatregel volgt het rekenrooster niet overal de oriëntatie van de kademuur. De locaties waar dit duidelijk zichtbaar is zijn toegevoegd in bijlage B. In een volgende actualisatie moet hier op geanticipeerd worden.



Figuur 2.2 Baselinehoogtemodel rondom maatregel *rm_rdam_geh_a1_j24* in schematisatie *Baseline-rmm-j19_6-v2* (boven) en *Baseline-rmm-j24_6-v1* na het inmiken van de maatregel (onder)



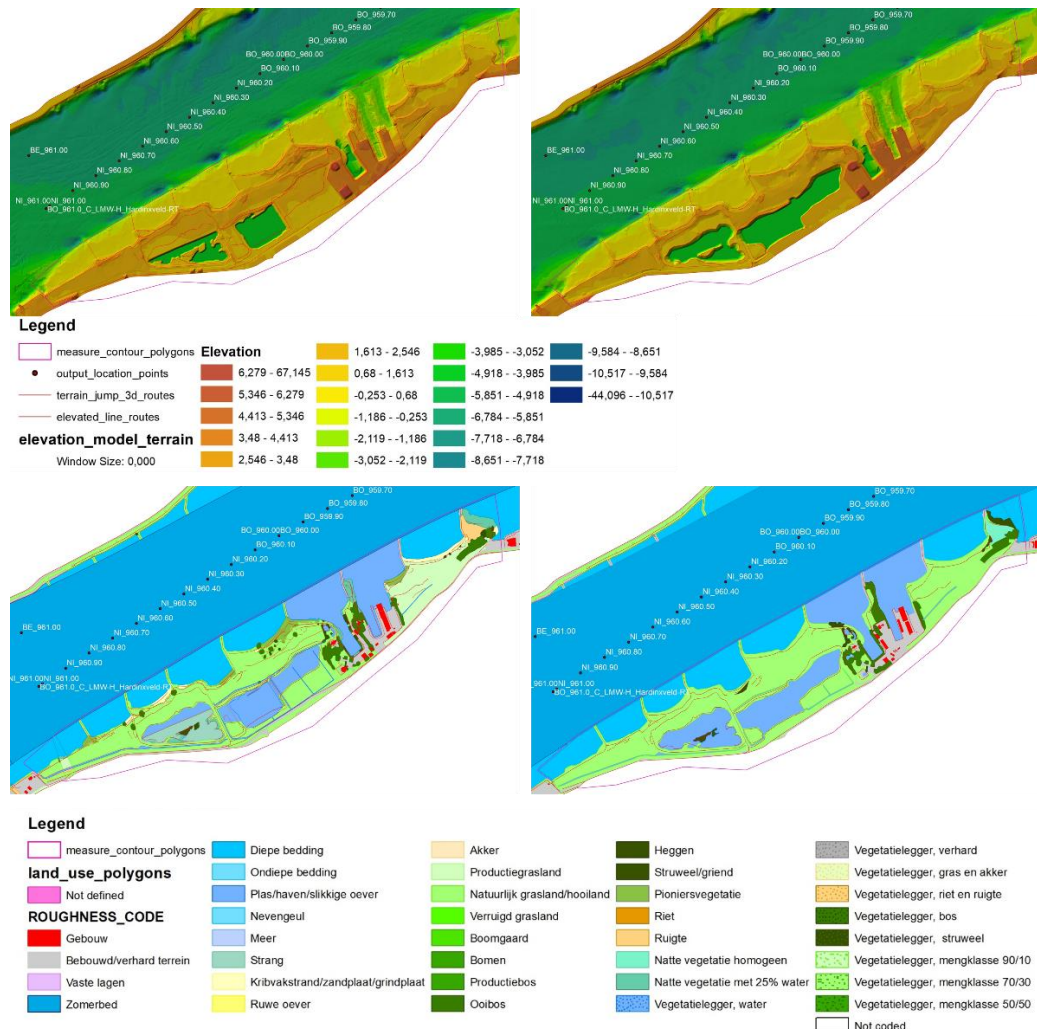
Legend

measure_contour_polygons	elevation_model_terrain	8,431 - 9,9	1,088 - 2,557	-6,255 - -4,786	-13,598 - -12,129
output_location_points	* Window Size: 0,000	6,963 - 8,431	-0,38 - 1,088	-7,723 - -6,255	-15,066 - -13,598
terrain_jump_3d_routes	Elevation	5,494 - 6,963	-1,849 - -0,38	-9,192 - -7,723	-44,096 - -15,066
elevated_line_routes	11,368 - 67,145	4,025 - 5,494	-3,318 - -1,849	-10,661 - -9,192	
structure_lines	9,9 - 11,368	2,557 - 4,025	-4,786 - -3,318	-12,129 - -10,661	

Figuur 2.3 Baselinehoogtemodel rondom maatregel *rm_rd_h23_a1* in schematisatie *Baseline-rmm-j19_6-v2* (boven) en *Baseline-rmm-j24_6-v1* na het inmixen van de maatregel (onder)

2.2.4 rm_bo_960I_a1

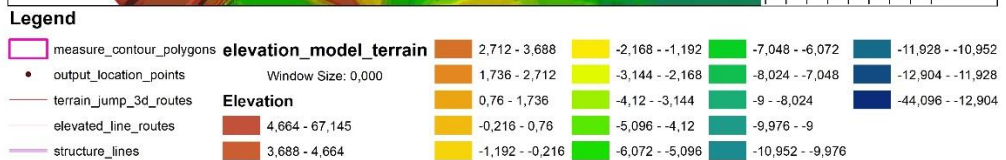
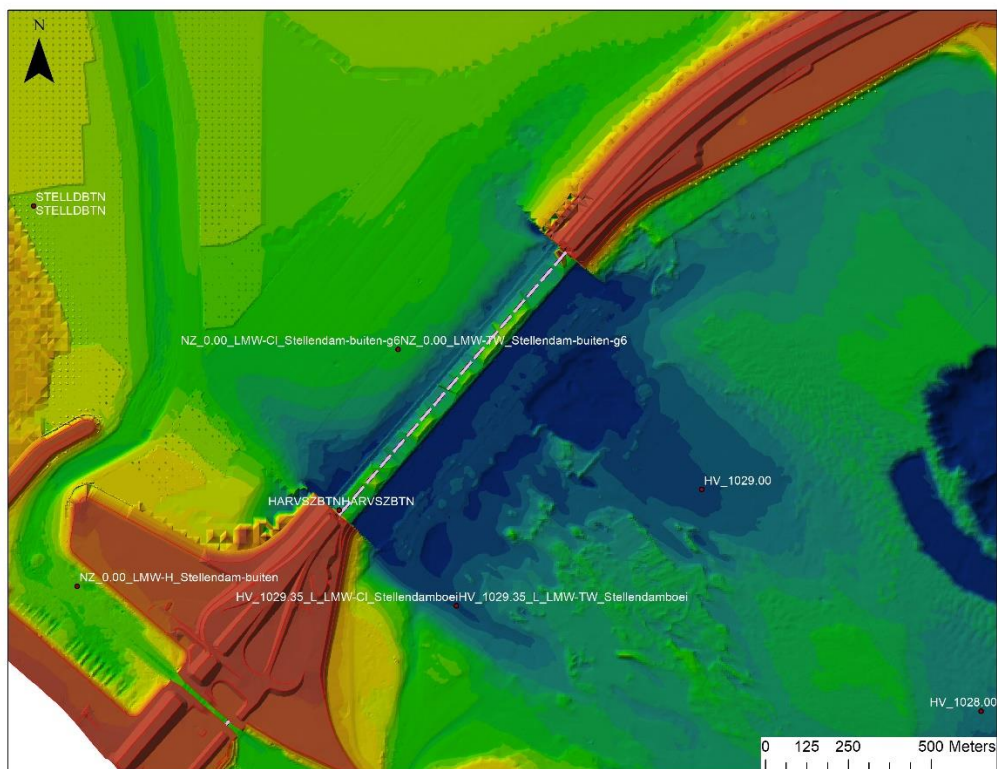
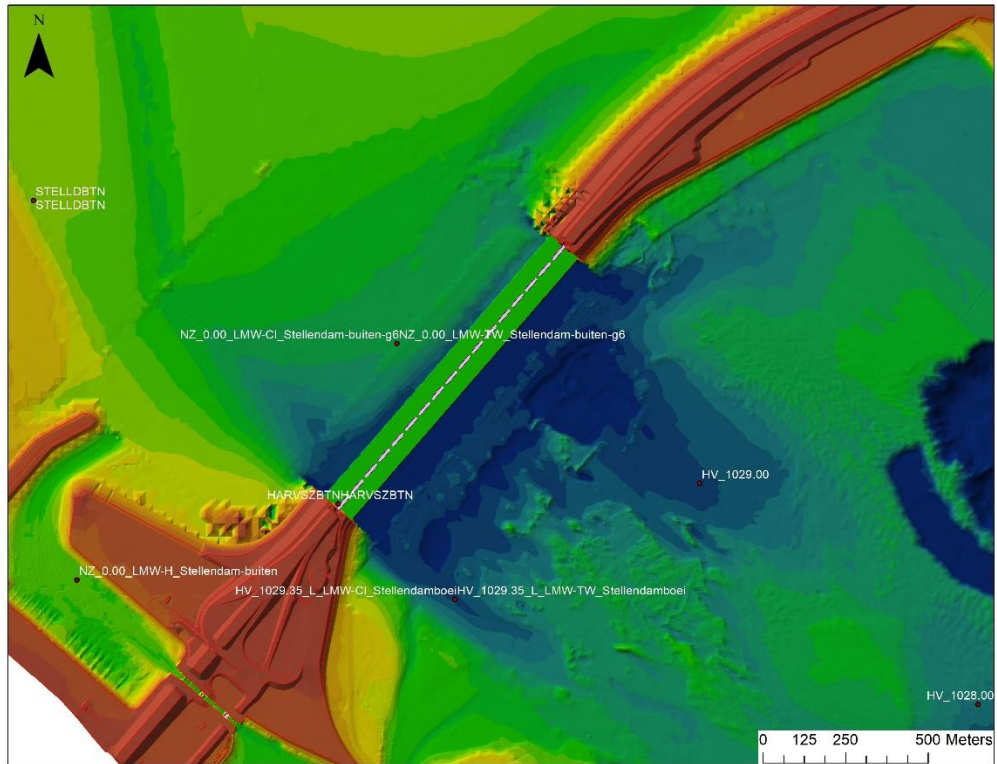
De volgende maatregel die onderdeel uit maakt van de actualisatie naar j24_v1a betreft de Cloppenwaard, langs de linkeroever van de Boven-Merwede ter hoogte van rivierkilometer 960. Zowel het hoogte- als ruwheidsmodel wijzigt binnen het gebied. Figuur 2.4 toont de hoogte- en ruwheidskaarten zoals opgenomen in de Baselineschematisaties.



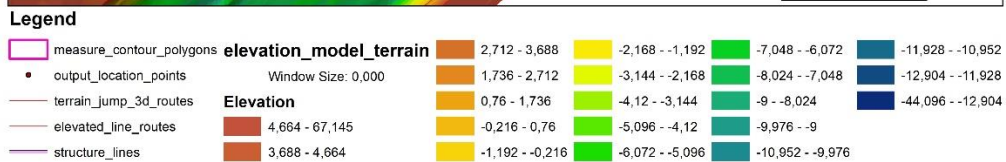
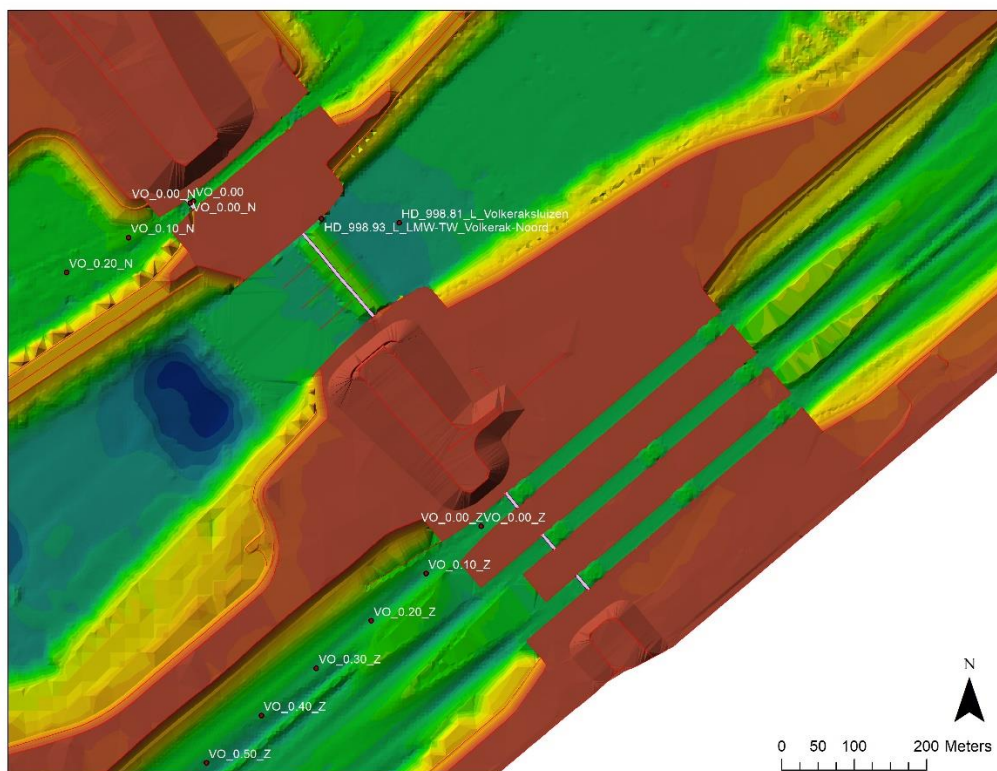
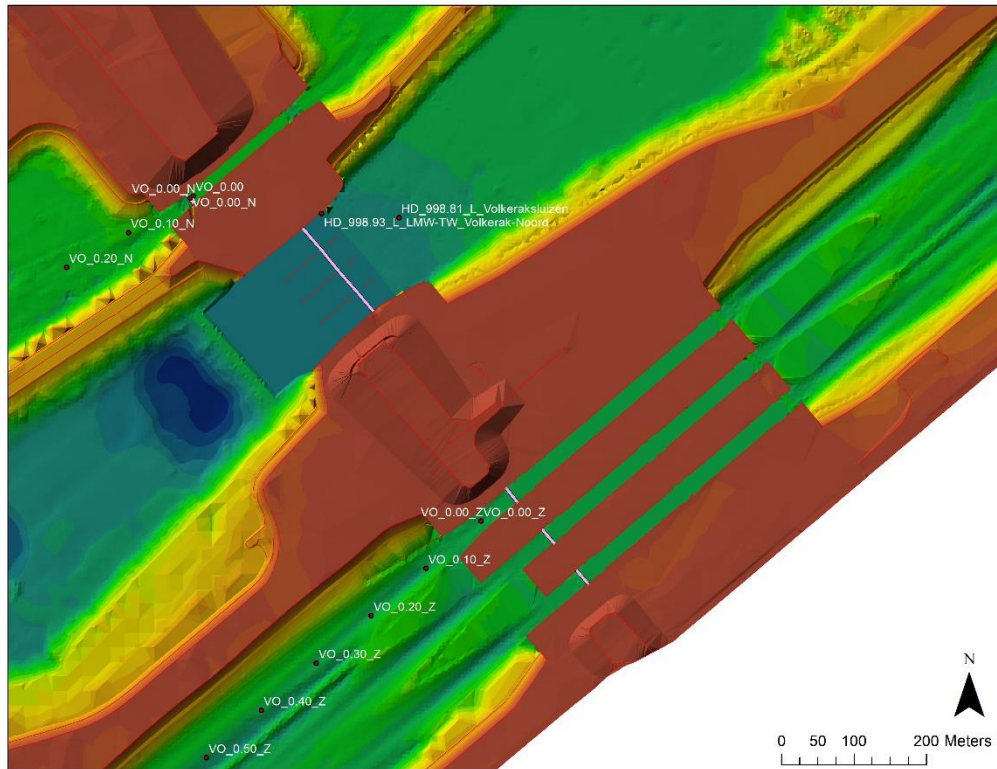
Figuur 2.4 Baselinehoogtemodel (boven) en -ruwheidsmodel (onder) rondom de maatregel rm_cor_bod23_a1 in schematisatie Baseline-mmm-j19_6-v2 (links) en Baseline-mmm-j24_6-v1 na het inmiken van de maatregel (rechts)

2.2.5 rm_cor_bod23_a1

Op diverse locaties is de bathymetrie lokaal gewijzigd. Het betreft hier de aanpassing van een set bodempunten ter plaatse van de Haringvlietsluizen (Figuur 2.5) en de Volkeraksluizen (zie Figuur 2.6). Daarnaast bevat de maatregel een aantal correcties met betrekking tot *waterbody_bedlevel_points* voor de Bakkerskil.



Figuur 2.5 Baselinehoogtemodel rondom de Haringvlietsluizen in schematisatie Baseline-rmm-j19_6-v2 (boven) en Baseline-rmm-j24_6-v1 (onder) na het innemen van de maatregel



Figuur 2.6 Baselinehoogtemodel rondom de Volkeraksluizen in schematisatie Baseline-rmm-j19_6-v2 (boven) en Baseline-rmm-j24_6-v1 (onder) na het inmiken van de maatregel

2.2.6 **rm_nw24_a1**

Deze maatregel is veruit met meest ingrijpend voor deze actualisatie. Het betreft een update van de Noordwaard Polder, waarin het detailniveau van het hoogtemodel van het gebied is verhoogd. In het j19_v2d-model is dit gebied grotendeels geschematiseerd volgens de ontwerpmaatregel. De nieuwe schematisatie sluit beter aan bij de werkelijke situatie.

Met name de inlaten, de geulen en hoogwatervrije vlaktes zijn gedetailleerder uitgewerkt met behulp van kades, hoogteverschillijnen en bodemhoogtepunten. Het verschil in detailniveau wordt duidelijk uit de vergelijking in Baselinehoogtemodel voor- en na de actualisatie naar j24, zie Figuur 2.7.

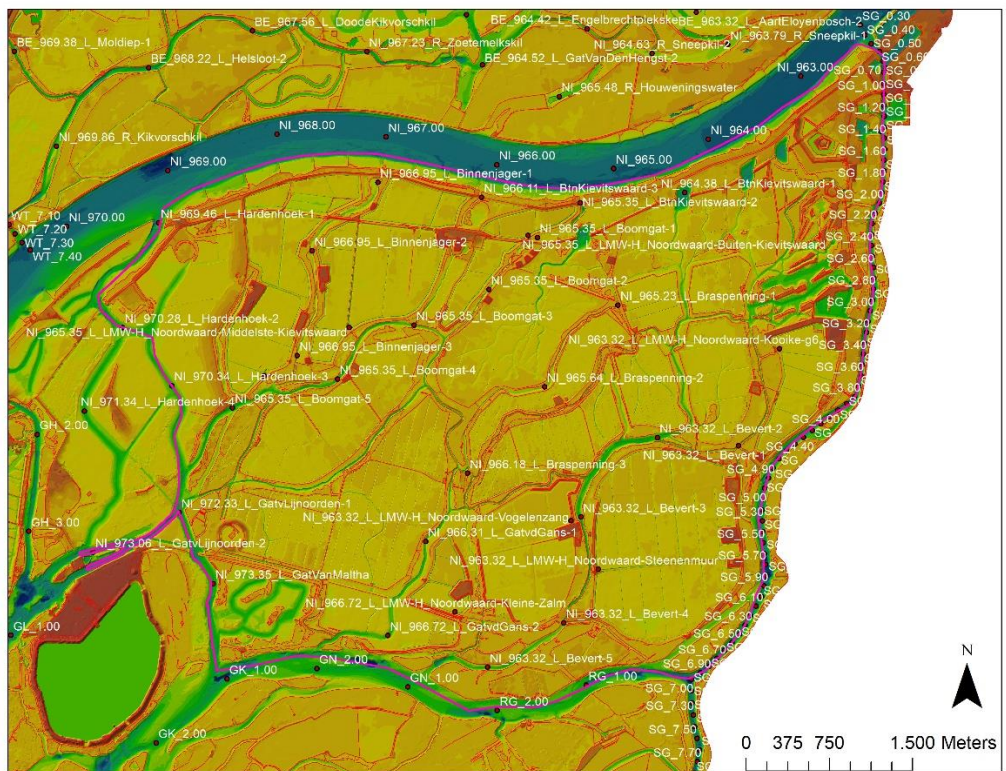
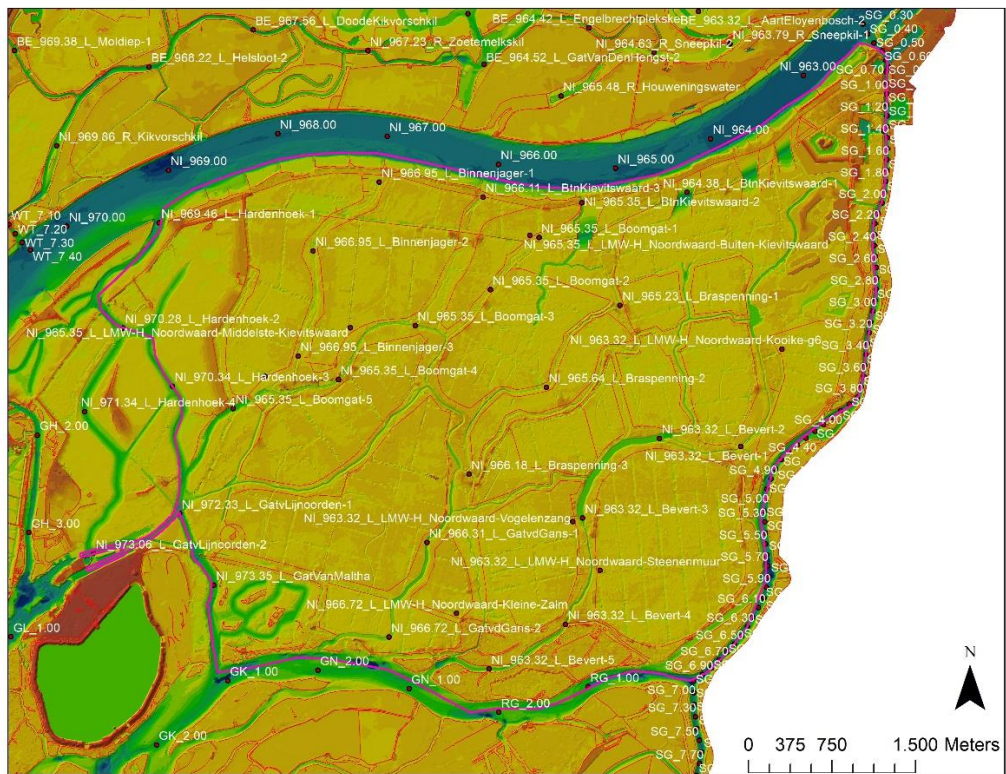
Met het toevoegen van meer detail aan de Noordwaard Polder, zijn er in het D-HYDRO model meer overlaten (fixed weirs). Het verschil in de locaties van overlaten tussen D-HYDRO modelversie j19_v2d en j24_v1a is weergegeven in Figuur 2.8. Met name rondom de geulen en langs de oevers van de plassen neemt het aantal overlaten toe. Veel van de geulen zijn minder dan een cel breed en zullen dus niet goed gemodelleerd worden. Daarnaast staan overlaten loodrecht op de geulen waardoor de stromingsweerstand door het gebied onbedoeld wordt vergroot. Aanbevelingen om de schematisatie te verbeteren zijn opgenomen in paragraaf 4.3.

Wat opvalt in het Baselinemodel is dat de naamgeving van de observatiepunten in de Noordwaard Polder niet logisch is. Zo bevatten observatiepunten bijvoorbeeld een verwijzing naar de Nieuwe Merwede.

Daarnaast is de hoeveelheid cross-secties binnen de Noordwaard Polder gering. Om inzicht te krijgen in (veranderingen van) de debietverdeling over het geulensysteem, is het waardevol meer cross-secties toe te voegen.

2.2.7 **rmm_bathymetrie2023_b1**

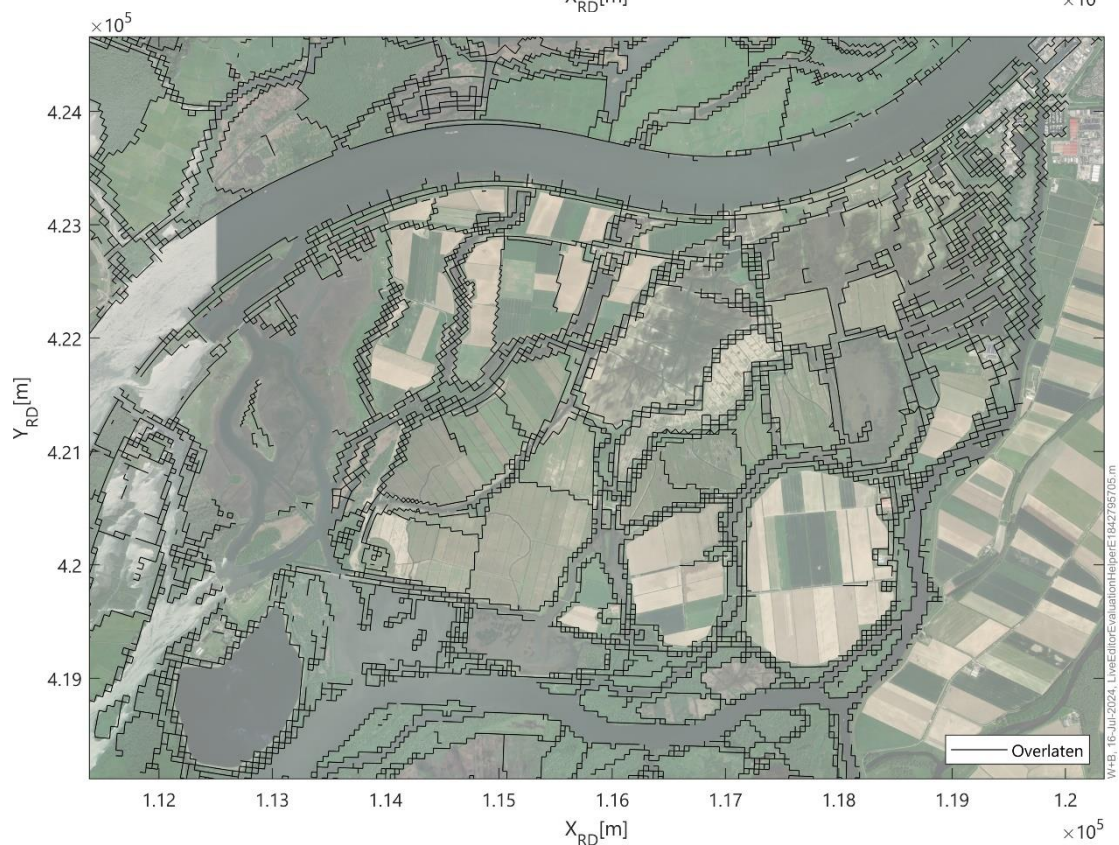
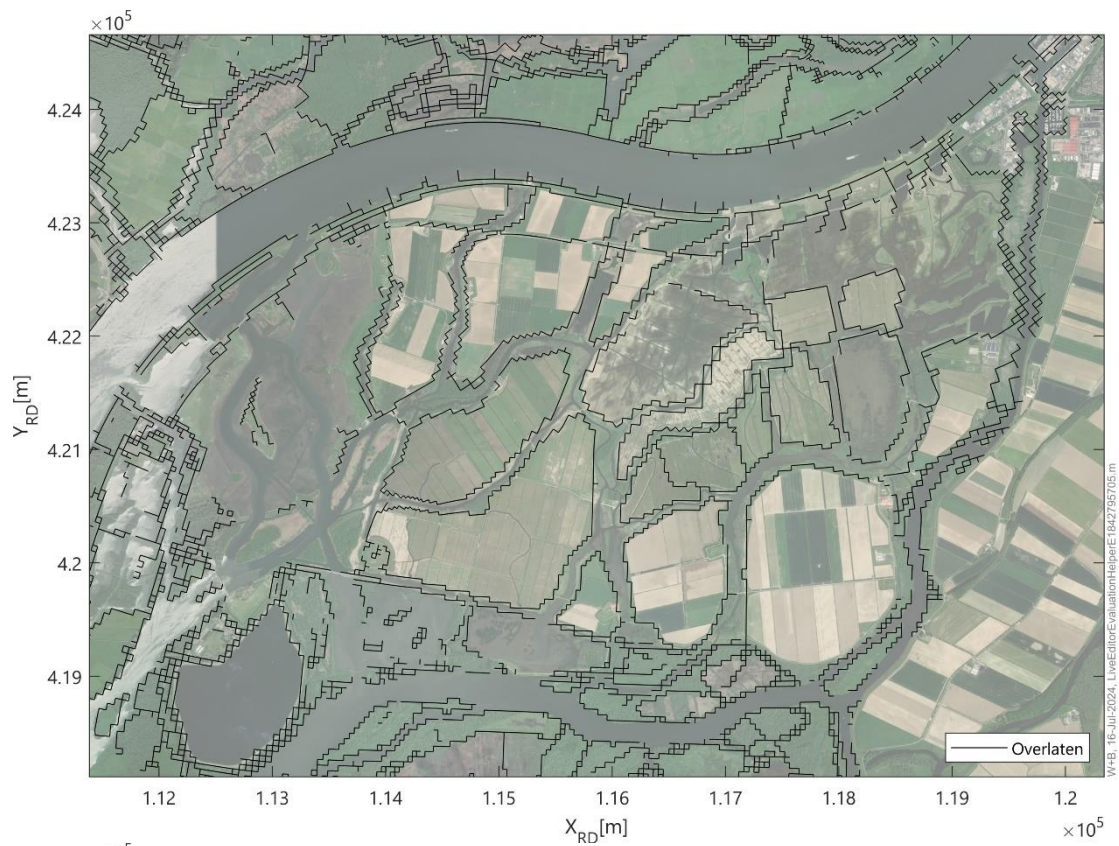
Een globale update van de zomerbedhoogtepunten vindt plaats door middel van het inmixen van de maatregel rmm_bathymetrie2023_b1. Deze maatregel is gebaseerd op meetgegevens (lodingen) uit 2023 en actualiseert bedlevel_points en waterbody_bedlevel_points rondom de Amer, Zuiddiepje, Beneden- en Nieuwe Merdwede, Dordtsche Kil, Hollandsche IJssel, Noord, Oude- en Nieuwe Maas, Spui en aanlegplaatsen in de Rotterdamse Havens. De lodingen zijn verkregen uit rasters met een resolutie van 5x5 m.



Legend

measure_contour_polygons	elevation_model_terrain	3,076 - 3,661	0,154 - 0,738	-2,769 - -2,184	-5,691 - -5,107
output_location_points	* Window Size: 0,000	2,492 - 3,076	-0,431 - 0,154	-3,353 - -2,769	-6,276 - -5,691
terrain_jump_3d_routes	Elevation	1,907 - 2,492	-1,015 - -0,431	-3,938 - -3,353	-44,096 - -6,276
elevated_line_routes	4,245 - 67,145	1,323 - 1,907	-1,6 - -1,015	-4,522 - -3,938	
structure_lines	3,661 - 4,245	0,738 - 1,323	-2,184 - -1,6	-5,107 - -4,522	

Figuur 2.7 Baselinehoogtemodel rondom maatregel *rm_nw24_a1* in schematisatie *Baseline-rmm-j19_6-v2* (boven) en *Baseline-rmm-j24_6-v1* (onder)



Figuur 2.8 Geprojecteerde fixed weirs (overlaten), resulterende uit de schematisatie Baseline-rmm-j19_6-v2 (boven) en Baseline-rmm-j24_6-v1 (onder)

2.3 Handmatige wijzigingen aan geometrie

2.3.1 Zoutriolen

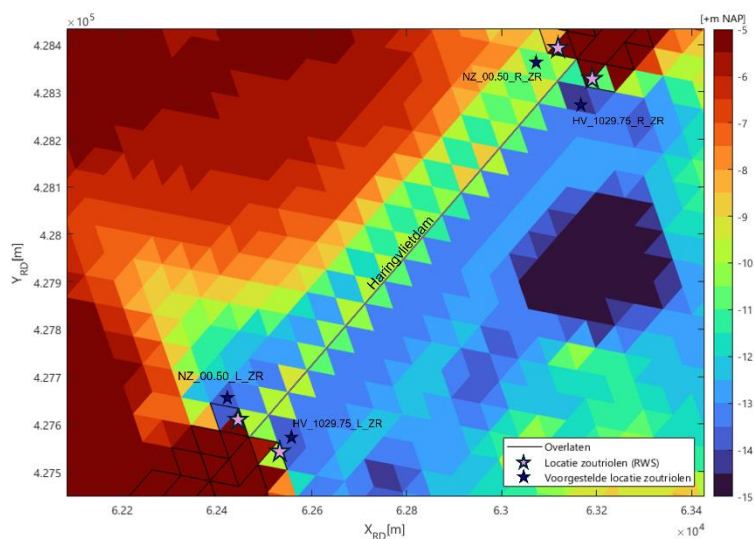
Visser (2023) schrijft voor zoutriolen toe te voegen aan het model rondom de Haringvlietsluizen. Ter plaatse van de Haringvlietsluizen zijn 4 daarom puntbronnen toegevoegd: 2 punten liggen aan de Voordeltazijde en twee punten liggen in het Haringvliet. De puntbronnen zijn direct toegevoegd aan het D-HYDRO-model, op een vergelijkbare manier als de bestaande lateralen in het model.

De locaties en de bijbehorende coördinaten zijn gebaseerd op de werkelijke ligging van de zoutriolen. Echter zijn de punten maximaal één roostercel opgeschoven, zodat deze in een relatieve diepe roostercel zijn geplaatst. Dit laatste is het resultaat van het rooster dat niet-curved is en de oriëntatie van de kademuren niet goed volgt.

De voorgestelde locaties van de zoutriolen zoals opgenomen in het model zijn weergegeven in Figuur 2.9 De x- en y-coördinaten van de puntbronnen zijn samengevat in Tabel 2-1.

De zoutriolen in het j24-model zijn niet actief (debiet = 0 m³/s), omdat er op het moment van actualisatie nog geen tijdreeksen beschikbaar waren. In een toekomstige toepassing, anders dan de standaardssommen, kunnen de zoutriolen worden voorzien van een tijdreeks. De zoutriolen zullen bij lagere debieten relatief meer invloed hebben op de hydrodynamica van de Rijn-Maasmonding. In de toekomst bestaat er ook de mogelijkheid om de zoutriolen te voorzien van een RTC-koppeling.

Analoog aan de andere puntbronnen in het model, zijn de locaties van- en tijdreeksen horende bij de zoutriolen opgenomen in de bestanden RMM_bnd_{tba-tbf}.ext.



Figuur 2.9 Locaties van de zoutriolen rondom de Haringvlietsluizen

Tabel 2-1: Locaties van de zoutriolen rondom de Haringvlietsluizen

Naam puntbron	x-coördinaat [m RDn]	y-coördinaat [m RDn]
HV_1029.75_L_ZR	62.555,69	427.573,80
HV_1029.75_R_ZR	63.169,92	428.272,68
NZ_00.50_L_ZR	62.419,85	427.658,45
NZ_00.50_R_ZR	63.067,55	428.367,18

2.3.2 Projectie van overlaten rondom de Volkeraksluizen

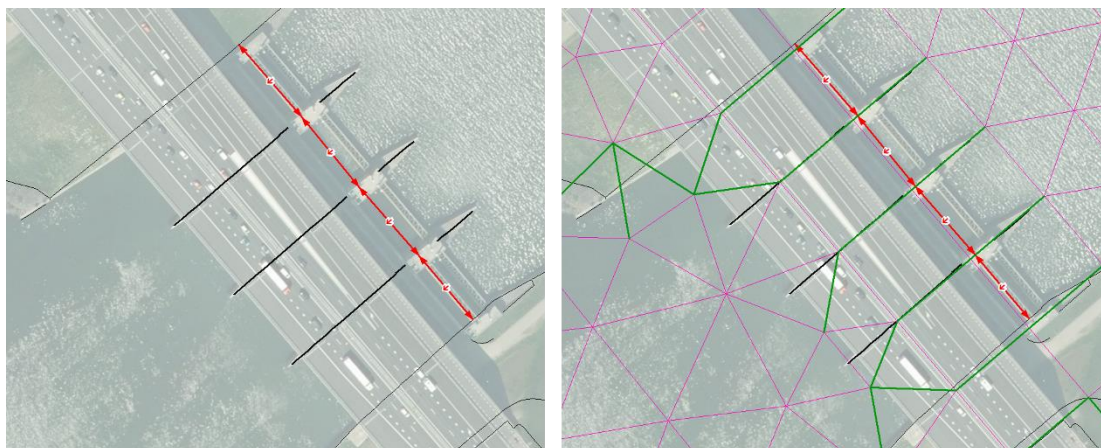
De Volkeraksluizen en het achterliggende Volkerak-Zoommeer vormen belangrijke elementen met betrekking tot de borging van hoogwaterveiligheid. Bij extreme condities worden de Volkeraksluizen geopend waardoor het Volkerak-Zoommeer wordt ingezet als retentiegebied (Rijkswaterstaat, 2023). Specifiek openen de Volkeraksluizen onder het tegelijk optreden van de volgende condities (Rijkswaterstaat, 2015):

- De sluiting van de Europoortkering is gaande
- Het is (vrijwel) zeker dat de waterstand bij Rak-Noord in de komende uren de waarde van NAP +2,60 m overschrijdt, als de Volkeraksluizen niet geopend zouden worden.

Dit komt voor in standaardsommen tbd, tbe en tbf (zie paragraaf 2.5).

Bij de actualisatie naar het j19_v2d-model bleek al dat de projectie van overlaten rondom de Volkeraksluizen slecht overeenkwam met de werkelijkheid (Van der Wijk et al., 2022). De actualisatiemaatregelen voor j24_v1a bevatten geen verbeteringen op dit vlak. Ook is het modelrooster rondom de Volkeraksluizen niet aangepast, waardoor dit probleem ook bij de projectie van j24_v1a speelt.

De roosterresolutie rondom de Volkeraksluizen is relatief grof ten opzichte van de afmetingen van de sluizen. Daarnaast volgt het rooster de richting van de stroming door de Volkeraksluizen niet goed. Daardoor worden de kades ongunstig op de celgrenzen geprojecteerd als fixed weirs, waardoor stroming door de meest noordelijke en zuidelijke spuisluizen niet langer mogelijk is. De ongunstige projectie is weergegeven in Figuur 2.10. De geprojecteerde fixed weirs hebben een kruinhoogte van ongeveer 4,95 m. Hierdoor is stroming door de noordelijke en zuidelijke sluis niet mogelijk.

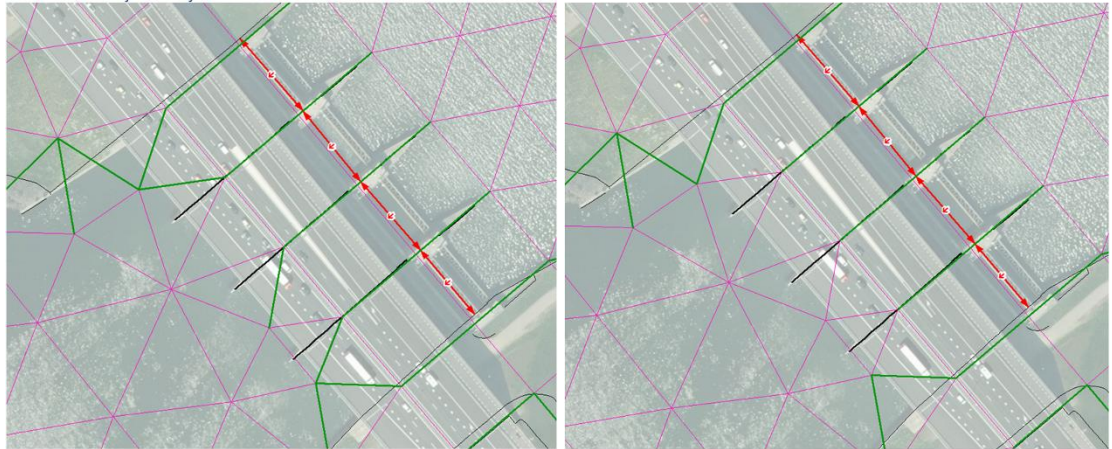


Figuur 2.10 Links: de kades rondom de Volkerakspuisluizen (zwart) en de openingen van de Volkeraksluizen zoals in Baseline j24 (rood). Rechts: de combinatie van het rekenrooster (magenta) en de geprojecteerde kades op het rekenrooster in D-HYDRO (groen). Dit is de situatie zonder handmatige aanpassingen aan het fixed weir bestand.

Daarom zijn er, analoog aan het j19_v2d-model, voor j24_v1a opnieuw handmatige aanpassingen gedaan aan het fixed weirs bestand, zodat stroming door de meest noordelijke en zuidelijke sluizen mogelijk is.

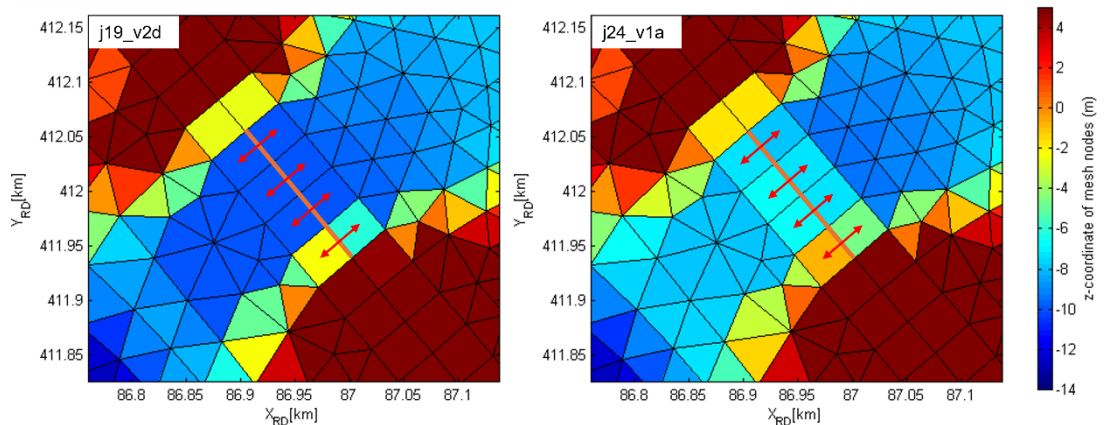
Wanneer een toekomstige gebruiker van het RMM-model een nieuwe Baselinevariant projecteert op het rekenrooster (e.g. voor een variantstudie), dienen deze handmatige aanpassingen in het fixed weirs bestand ook doorgevoerd te worden.

Deze aanpassing wordt het eenvoudigst gerealiseerd door een aanpassing van het fixed weir bestand: **rmm_vzm-j24_6-v1a_fwx.pliz**. Drie fixed weirs (6330_1, 6331_1 en 6333_1) moeten worden aangepast, de correcte en ingekorte fixed weirs staan opgenomen in bijlage A. De geprojecteerde fixed weirs voor- en na de projectie op het rekenrooster zijn weergegeven in Figuur 2.11.



Figuur 2.11 De combinatie van het rekenrooster (magenta) en de geprojecteerde kades op het rekenrooster in D-HYDRO (groen) voor (links) en na (rechts) de handmatige aanpassingen aan het fixed weir bestand.

Bij het uitvoeren van testberekeningen met het model waarin het fixed weirs bestand handmatig is aangepast, ontstonden er rondom de zuidelijke Volkeraksluis modelinstabiliteiten. Vermoedelijk komen deze voort uit lokale bodemaanpassingen in de actualisatiemaatregel voor j24 rondom de (zuidelijke) Volkeraksluis, zie Figuur 2.12. Omdat handmatige wijzigingen van de lokale modelbodem bewerkelijk en ongewenst zijn voor toekomstig gebruik, is besloten de zuidelijke Volkeraksluis op non-actief te zetten, waardoor alleen de drie noordelijke Volkeraksluizen actief zijn.



Figuur 2.12 Bodemhoogte (D-HYDRO) in het j19_v2d (links) en j24_v1a (rechts) model rondom de Volkeraksluizen

Het resulterende verlies in doorstroomoppervlak door het sluiten van de meest zuidelijke Volkeraksluis, wordt deels gecompenseerd door de doorstroombreedte van de drie actieve noordelijke Volkeraksluizen te vergroten van 30 m naar 35 m.

Om in te schatten hoe deze wijzigingen in de werking van de Volkeraksluizen de maximale waterstanden in het RMM-model beïnvloeden, zijn enkele testberekeningen uitgevoerd. De maximale waterstanden worden met één tot enkele centimeters overschat ten opzichte van het model waarbij alle vier de Volkeraksluizen wel opereren.

2.4 Modelrooster

Binnen de modelactualisatie naar j24_v1a, heeft geen wijziging in het modelrooster plaatsgevonden. Bij een roosteraanpassing hoort in principe een herkalibratie van het model. Een dergelijke herkalibratie is niet voorzien in deze modelactualisatie.

Uit voorgaande paragraaf volgt dat zowel het modelrooster als de lokale bathymetrie rondom de Volkeraksluizen herzien dient te worden, zodat hier niet langer instabiliteiten optreden. Daarnaast dient gecontroleerd te worden of de Haringvlietsluizen wel naar behoren opereren. Haringvlietsluizen 1 en 17 hebben ook een ongunstige ligging ten opzichte van het rekenrooster. Een vierkant rekenrooster dat de stroming volgt is hier gewenst.

Tijdens de actualisatie naar j24_v1a zijn diverse andere punten aan het licht gekomen waarop bij een volgende modelactualisatie, wanneer ook roosterwijzigingen worden voorzien, moet worden geanticipeerd. Hierop wordt in de aanbevelingen aan het einde van deze rapportage op gereflecteerd (hoofdstuk 4).

2.5 Randvoorwaarden standaardsommen

De randvoorwaarden zijn niet gewijzigd ten opzichte van de j19_v2d-versie van het model. De belangrijkste randvoorwaarden zijn samengevat in Tabel 2-2. Ook de tijdreeksen voor de (zes) lateralen zijn één-op-één overgenomen uit j19_v2d.

De zes scenario's voor de standaardsommen hebben de naamgeving 'testberekening (tb-)a - f' en zijn als volgt te beschrijven:

Open Hartel- en Maeslantkering, dichte Volkeraksluizen:

- tba: extreme afvoer, normale waterstand
- tbb: hoge afvoer, hoge opzet
- tbc: gemiddelde afvoer, extreme opzet

Sluitende Hartel- en Maeslantkering, open Volkeraksluizen:

- tbd: extreme afvoer, verhoogde waterstand
- tbe: zeer hoge afvoer, extreme opzet
- tbf: hoge afvoer, hoge opzet

In scenario's tba, tbb, tbd, tbe en tbf stroomt de Noordwaard Polder mee. Bij scenario tbc is de afvoer relatief laag en stroomt de Noordwaard Polder vol vanaf de benedenstroomse rand zodra de windopzet zich ontwikkelt. Zodra de wind gaat liggen, stroomt de Noordwaard Polder weer leeg. Door de tijdelijk toegenomen waterstand op de Nieuwe Merwede stroomt in de eerste uren na het hoogtepunt van de windopzet een deel van de afvoer ook door de Noordwaard Polder.

Voor het testen van de modelstabiliteit is ook het BOI-scenario 'run 10' doorgerekend. Hiervoor zijn de randvoorwaarden ook toegevoegd aan Tabel 2-2.

Tabel 2-2: Randvoorwaarden passende bij de zes standaardsommen (Van der Wijk, 2016)

Case	Keringen (MSK&HK)	Afvoer Rijn	Afvoer Waal	Afvoer Lek	Afvoer Maas (Lith)	Waterst. Maasmond	Wind-richting	Wind-snelheid
		m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m +NAP		m/s
tba	Open	16.000	10.165	3.376	3.504	1,75	WNW	11,38
tbb	Open	9.000	5.885	1.825	1.861	3,00	WNW	19,38
tbc	Open	3.000	2.049	529	452	3,75	WNW	23,22
tbd	Dicht	16.000	10.165	3.376	3.504	2,50	WNW	16,49
tbe	Dicht	11.500	7.379	2.412	2.448	4,50	WNW	27,41
tbf	Dicht	9.000	5.885	1.825	1.861	3,50	WNW	22,03
Run 10	Dicht		8.376	2.732	2.918	8,00	WZW	31,70

Voor een uitgebreide toelichting op de randvoorwaarden wordt verwezen naar Van der Wijk (2016) en Van der Wijk et al., (2022).

2.6 Overige aandachtspunten

2.6.1 Modeltests ten behoeve van numerieke stabiliteit

2.6.1.1 Aanleiding

Bij de ingebruikname van het j19_v2d-model voor het doorrekenen van de BOI-scenario's traden modelinstabiliteiten op (bij 'run 10'). Daardoor ontstond de noodzaak om het initiële waterstandsveld handmatig aan te passen om badkuipjes tussen de kademuren en de bodempunten aan de droge zijde van de kademuren te voorkomen. Daarnaast zijn stabiliserende dammen ('thin dams') toegevoegd rondom enkele kunstwerken. Met name de handmatige wijziging van de initiële waterstandsvelden bleek effectief in het beperken (c.q. voorkomen) van de modelinstabiliteiten (Van der Kaaij, 2021; Veenstra et al., 2022).

Bij de ontwikkeling van D-HYDRO zijn in de afgelopen jaren enkele verbeteringen doorgevoerd die de stabiliteit van de software vergroten en dergelijke instabiliteitskwesaties verminderen, zonder dat er handmatige aanpassingen aan de initiële waterstandsvelden nodig zijn.

De toepassing van D-HYDRO versie 2024.03 (Linux) is daarom getest voor het BOI-scenario waarvoor eerder instabiliteiten aan het licht kwamen. Hetzelfde j19_v2d-model van de Rijnmaasmonding is doorgerekend voor een set validatiesommen. De instellingen die zijn getest zijn samengevat in Tabel 2-3.

Tabel 2-3 Overzicht van modelinstellingen (j19_v2d) ten behoeve van het testen van modelinstabiliteiten

test	Versie D-HYDRO	Initieel waterstandstandsveld	Thin dams langs kunstwerken	Min Δt [s]
7d	2024.03	Ongewijzigd	Niet toegevoegd	0,330 s
7e	2021.04	Ongewijzigd	Niet toegevoegd	0,008 s
7f	2021.04	Gewijzigd	Niet toegevoegd	0,278 s
7g	2021.04	Gewijzigd	Toegevoegd	0,159 s
7h	2021.04	Ongewijzigd	Toegevoegd	0,178 s

2.6.1.2 Analyse van minimale tijdstap

Modeltest 7d (doorgerekend met D-HYDRO versie 2024.03, zonder handmatige aanpassingen aan de modelinvoer) heeft de grootste minimale tijdstap van 0,33 seconden gedurende de simulatie.

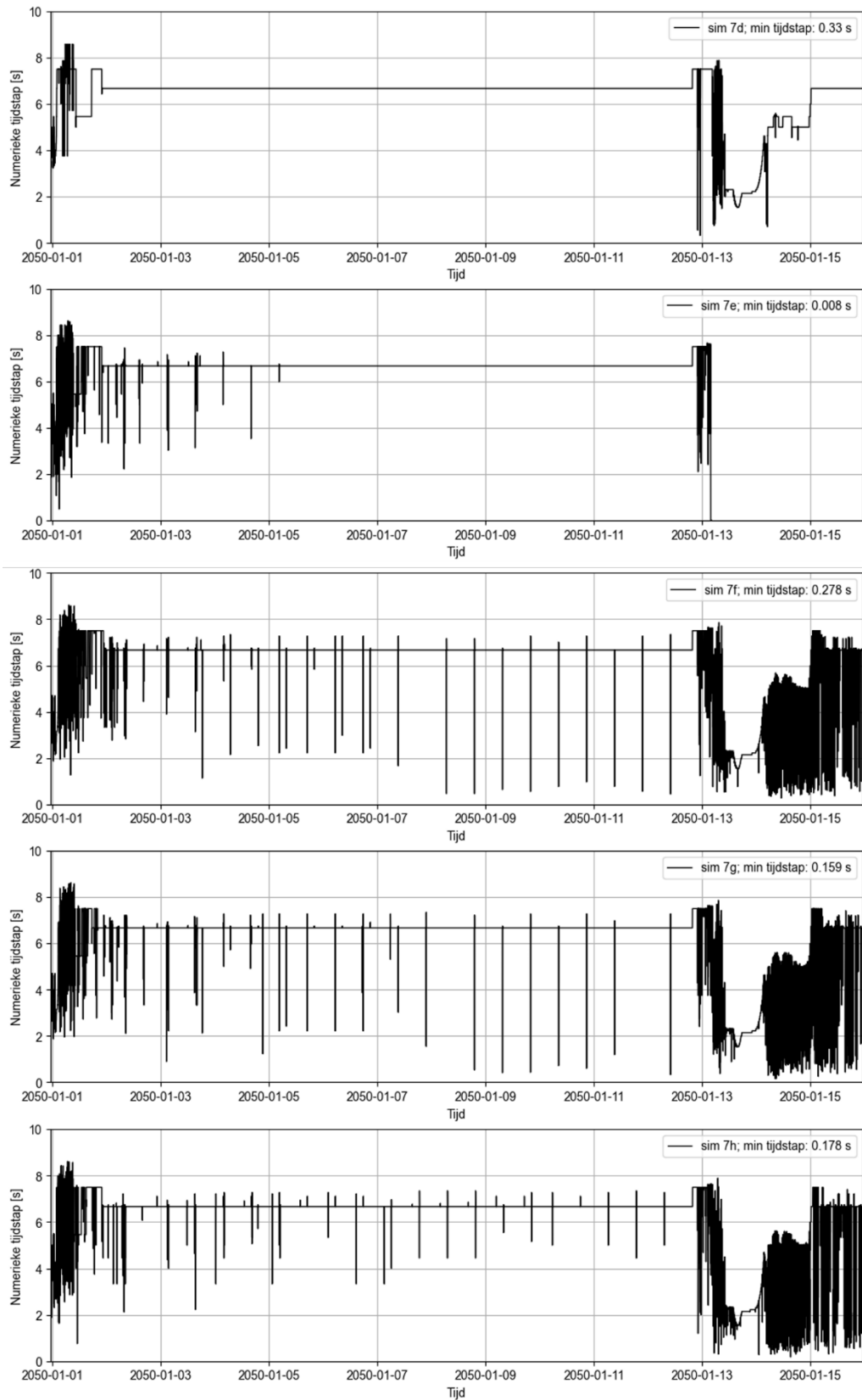
Test 7e is vergelijkbaar, maar uitgevoerd met een oudere D-HYDRO-versie (2021.04). Deze simulatie wordt instabiel zodra de windsnelheden toenemen (de tijdstap zakt naar 0,008 seconden), waarna de simulatie handmatig is afgebroken.

De overige drie testscenario's (doorgerekend met D-HYDRO versie 2021.04) blijven stabiel gedurende de simulatie met een minimale tijdstap variërend tussen 0,159 en 0,278 seconden, maar vereisen alle drie handmatige aanpassingen in de modelinvoer. De minimale tijdstap blijft groter voor test 7d, bij het gebruik van D-HYDRO versie 2024.03 en waarvoor geen handmatige aanpassingen aan de modelinvoer zijn doorgevoerd.

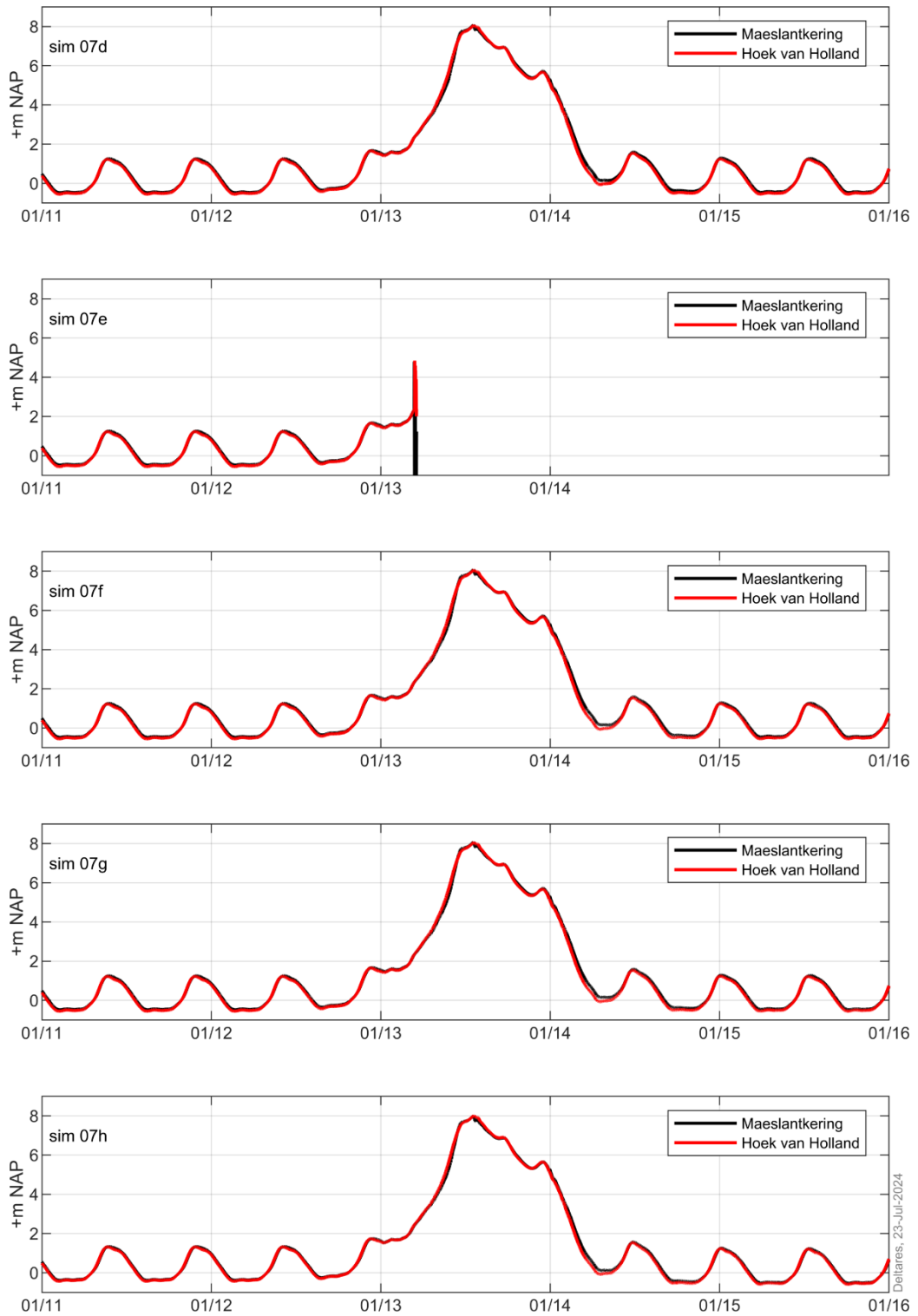
2.6.1.3 Analyse van fluctuaties in de tijdstap en waterstand

Daarnaast is de tijdstap in test 7d gedurende de simulatie stabielier ten opzichte van de andere testscenario's (Figuur 2.13). Waar testscenario's 7e–h verschillende piekjes in de tijdstap vertonen tussen de periode waarin het model is ingespeeld (2 januari) en de start van de storm (13 januari), is de tijdstap in scenario 7d constant. Ook is de tijdstap tijdens de inspeelperiode, tijdens de storm, en na de storm significant stabielier ten opzichte van de overige testscenario's. Uit deze analyse volgt dat het gebruik van D-HYDRO 2024.03 leidt tot een stabielere simulatie met een relatief grotere minimale tijdstap, waarvoor het handmatig wijzigen van de modelinvoer geen vereiste is. De tijdseries van de berekende waterstand bij de Hoek van Holland en Maeslantkering buiten zijn weergegeven in Figuur 2.14. Met uitzondering van simulatie 7e, zijn de waterstandssignalen vergelijkbaar.

Om de berekeningen in de toekomst te versnellen, is het zinvol in een vervolgonderzoek te analyseren welke rekencellen bepalend zijn voor de tijdstap waarmee het model rekent. Kleine aanpassingen aan deze cellen kunnen zo mogelijk tot kortere rekentijden leiden.



Figuur 2.13 Analyse van de numerieke tijdstap gedurende de simulatie van het BOI-scenario ('run 10')



Figuur 2.14 Analyse van de waterstanden ter plaatse van de Maeslantkering en de Hoek van Holland gedurende de simulatie van het BOI-scenario ('run 10')

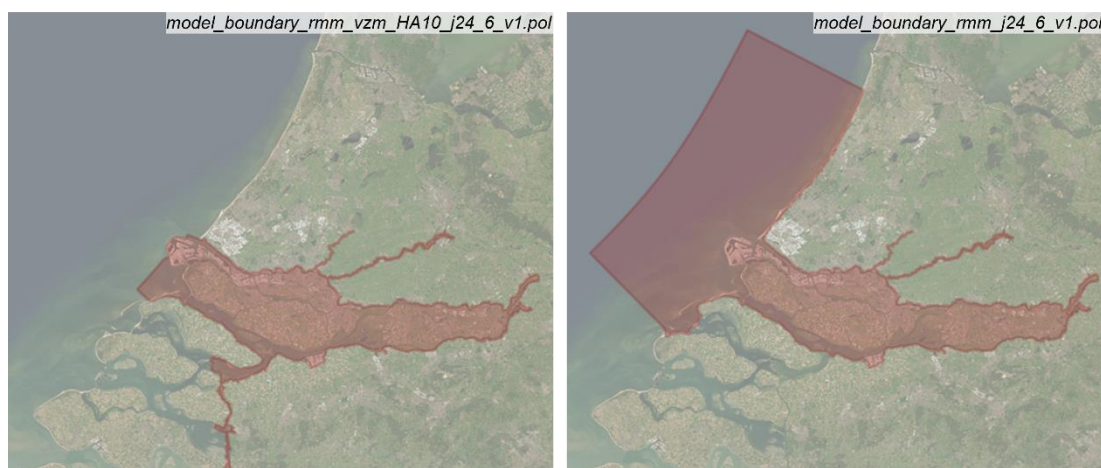
2.6.2 Coördinatenprojectie

Het RMM-model is opgegeven in een cartesisch coördinatenstelsel, met coördinatenprojectie Rijksdriehoek Amersfoort New (EPSG: 28992). Bij projectie van het Baselinemodel op het modelnetwerk, wordt deze coördinatenreferentie automatisch doorgevoerd in de modelinvoer. Door een softwarebug werkt het additioneel wegschrijven van lat-lon coördinaten niet met de gebruikte softwareversie van D-HYDRO (2024.03). Dit mdu-keyword is daarom uitgeschakeld.

2.6.3 Verschillende model enclosures

Het RMM-model wordt voor diverse toepassingen gebruikt. Daarom zijn er in de loop der jaren meerdere model enclosures opgezet. In principe wordt voor de standaardsommen gerekend met de volgende enclosure: *model_boundary_rmm_vzm_HA10_j24_6_v1.pol*. Voor deze model enclosure zijn de randvoorwaarden ook meegeleverd om de standaardsommen te kunnen simuleren. Ter volledigheid wordt ook een tweede enclosure meegeleverd, *model_boundary_rmm_j24_6_v1¹*. Deze enclosure hoort bij de kalibratie- en validatiesommen zonder Volkerak-Zoommeer maar met het grote zeedomein. De bijbehorende randvoorwaarden voor dit domein worden niet standaard geleverd bij het model. De twee meegeleverde model enclosures zijn weergegeven in Figuur 2.15.

De grootste verschillen tussen de enclosures is de aanwezigheid van het Volkerak-Zoommeer en de afwezigheid van het uitgestrekte Noordzeedomein in het geval van *model_boundary_rmm_vzm_HA10_j24_6_v1.pol*.



Figuur 2.15 Overzicht van (links) de model enclosure zoals toegepast binnen de standaardsommen en (rechts) een tweede model enclosure zoals toegepast voor validatie- en kalibratiesommen en het 3D model.

2.6.4 Reductie bestandsgrootte modeloutput

Door het dynamische karakter van de modelsimulaties die met het RMM-model worden uitgevoerd en de grootte van het modeldomein, loopt de bestandsgrootte van de modeluitvoer voor een standaard simulatie met het j19_v2d-model op tot ongeveer 48 Gb, waarvan zo'n 46 Gb map-output en 2 Gb aan his-output.

Bij de introductie van D-HYDRO versie 2024.03 is het mogelijk om het formaat van de netcdf-output te verkleinen. Dit is gedaan met behulp van de instellingen in het .mdu-bestand zoals samengevat in Tabel 2-4.

¹ Dit is de gewenste enclosure voor het RMM3D model

Tabel 2-4 Overzicht van de instellingen voor de netcdf-uitvoerbestanden

Instellingen j19_v2d-model		Instellingen j24_v1a-model	
MapFormat	= 4	MapFormat	= 4 (NetCDF-UGRID)
NcFormat	= 3	NcFormat	= 4 (NetCDF4+HDF5)
		NcMapDataPrecision	= single
		NcHisDataPrecision	= single
		dataNcCompression	= on

Deze instellingen resulteren in een bestandsgrootte van 8 Gb voor de map-uitvoer en ongeveer 1 Gb voor de his-uitvoer. Dit betekent een totale reductie van de uitvoerbestanden van 39 Gb (83%) ten opzichte van de j19_v2d-instellingen.

De wijziging van double precision naar single precision leidt ertoe dat de nauwkeurigheid (c.q. aantal decimalen) van de opgeslagen data afneemt naar 7 tot 8. De nauwkeurigheid van de gemodelleerde variabelen bij single precision opslag nog steeds voldoende voor de doeleinden waarvoor het model wordt toegepast.

Een andere maatregel om de hoeveelheid modeluitvoer te beperken, is door de default-instellingen van de his-uitvoer en map-velden dusdanig te wijzigen, dat een aantal variabelen niet meer standaard wordt weggeschreven, zie Tabel 2-5.

Tabel 2-5 Overzicht van parameters die niet langer standaard worden weggeschreven in de modeluitvoer

Keyword in mdu-bestand	Beschrijving
Wrihis_structure_pump	Variabelen pompen (tijdreeks)
Wrihis_structure_bridge	Variabelen bruggen (tijdreeks)
Wrihis_wind	Windsnelheden (tijdreeks)
Wrihis_rain	Neerslag (tijdreeks)
Wrimap_horizontal_viscosity_viu	Ruimtelijke horizontale viscositeit
Wrimap_horizontal_diffusivity_diu	Ruimtelijke horizontale diffusiviteit
Wrimap_calibration	Ruimtelijke kalibratiefactoren voor de zomerbedruwheid
Wrimap_salinity	Ruimtelijk zoutgehalte
Wrimap_temperature	Ruimtelijke temperatuur
Wrimap_wind	Ruimtelijke windsnelheid (opgelegde wind is uniform)
Writek_CdWind	Ruimtelijke windwrijvingscoëfficiënten
Wrimap_DTcell	Tijdstap per rekencel, gebaseerd op de CFL-conditie
Wrimap_internal_tides_dissipation	Energiedissipatie door opwekking intern getij

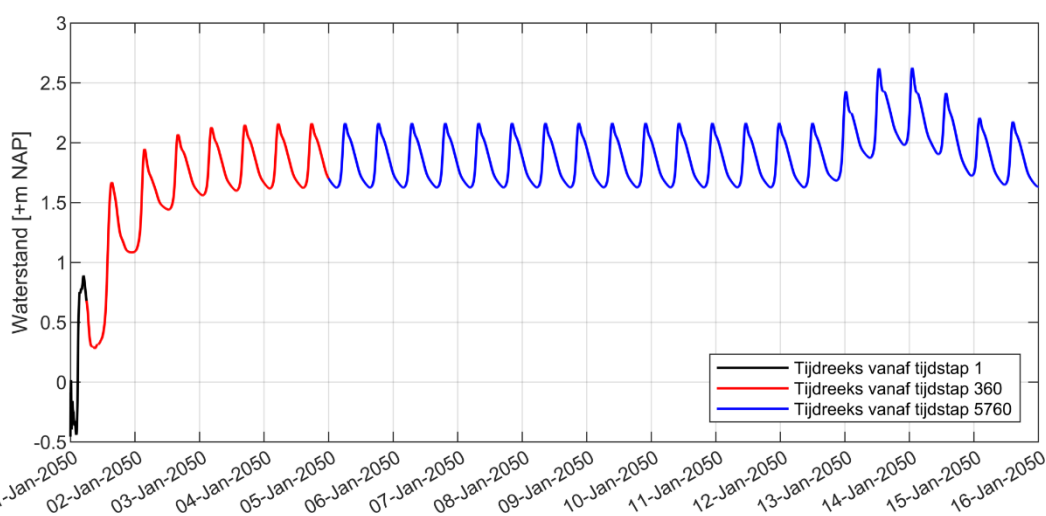
2.6.5 Uitgebreide statistische modeluitvoer

Statistische modeluitvoer kan worden weggeschreven met behulp van de Fourier-output. Het j19-model bevatte enkel maximale waterstanden. Het j24_v1a-model is voorzien van instellingen waarmee de volgende ruimtelijke, statistische eigenschappen van de simulatie worden weggeschreven:

- Maximale waterstanden en de tijd waarop de maxima optreden
- Minimale waterstanden en de tijd waarop de minima optreden
- Maximale magnitude van de stroomsnelheid en de tijd waarop de maxima optreden
- Magnitude van de stroomsnelheid ten tijde van de maximale waterstanden
- Maximale x-component van de stroomsnelheid en de tijd waarop de maxima optreden

- Maximale y-component van de stroomsnelheid en de tijd waarop de maxima optreden
- X-component van de stroomsnelheid ten tijde van de maximale waterstanden
- Y-component van de stroomsnelheid ten tijde van de maximale waterstanden
- X-component van de stroomsnelheid ten tijde van de maximale stroomsnelheidsmagnitude
- Y-component van de stroomsnelheid ten tijde van de maximale stroomsnelheidsmagnitude
- Maximum afvoer door de flow links en de tijd waarop de maxima optreden
- Afvoer door de flow links ten tijde van de maximale waterstanden.

In tegenstelling tot de statistische instellingen voor het j19_v2d-model, wordt de statistische bepaling niet vanaf de tijdstap 360 (na 6 uur vanaf start simulatie) bepaald, maar vanaf tijdstap 5760 (na 4 dagen vanaf start simulatie). Op diverse locaties in het model is het inspeleeffect nog zichtbaar tot 3 à 4 dagen. Deze wijziging had met name invloed op de statistisch bepaalde minimale waterstanden, en beoordelingsvariabelen die in paragraaf 3.2 van de resultaten worden geanalyseerd. Een voorbeeld van een locatie waar dit goed zichtbaar is, is het LMW-station te Hellevoetsluis, zie Figuur 2.16.



Figuur 2.16 Gesimuleerde waterstanden ter plaatse van LMW-station te Hellevoetsluis voor standaard som tba

2.6.6 Diagnostisch rekenen

In het tweedimensionale RMM-model wordt (net als voorheen) diagnostisch gerekend. In de simulaties is het zoutveld ruimtelijk variabel, maar constant in de tijd (Zijlker et al., 2023). Er zijn enkel aanpassingen gedaan aan modelinstellingen en niet aan het initiële zoutveld.

Vanwege verandering in softwareversie van D-HYDRO moet vanaf heden met behulp van de mdu-keyword *DiagnosticTransport* worden aangegeven dat er diagnostisch wordt gerekend. In het j19_v2d werd gebruik gemaakt van de modelinstelling 'TransportMethod = 2'. Deze instelling is voor j24_v1a vervangen door '*DiagnosticTransport* = 1'.

3 Resultaten

3.1 Introductie

In dit hoofdstuk worden de verschillen in modelresultaten tussen het j19_v2d- en het j24_v1a-model besproken aan de hand van de 6 standaardsommen tba t/m tbf. De j19_v2d-modelschematisatie die hiervoor is gebruikt is *dflowfm2d-rmm_vzm-j19_6-v2d*.

Ten eerste worden de berekende waterstanden vergeleken. Voor alle LMW-stations is de Bias, de RMSE en het verschil in max13 en min13 bepaald in paragraaf 3.2. Ten tweede worden de maximale waterstandsverschillen op de rivieras geanalyseerd in paragraaf 3.3. Ten slotte worden de verschillende stroombeelden in de Noordwaard Polder getoond voor modelversies j19_v2d en j24_v1a in paragraaf 3.4.

3.2 Waterstandstijdreeksen op LMW-stations

3.2.1 Beoordelingsvariabelen

Deze paragraaf toont de verschillen in gemodelleerde waterstanden ter plaatse van de LMW-stations. De verschillen zijn in kaart gebracht aan de hand van vier variabelen:

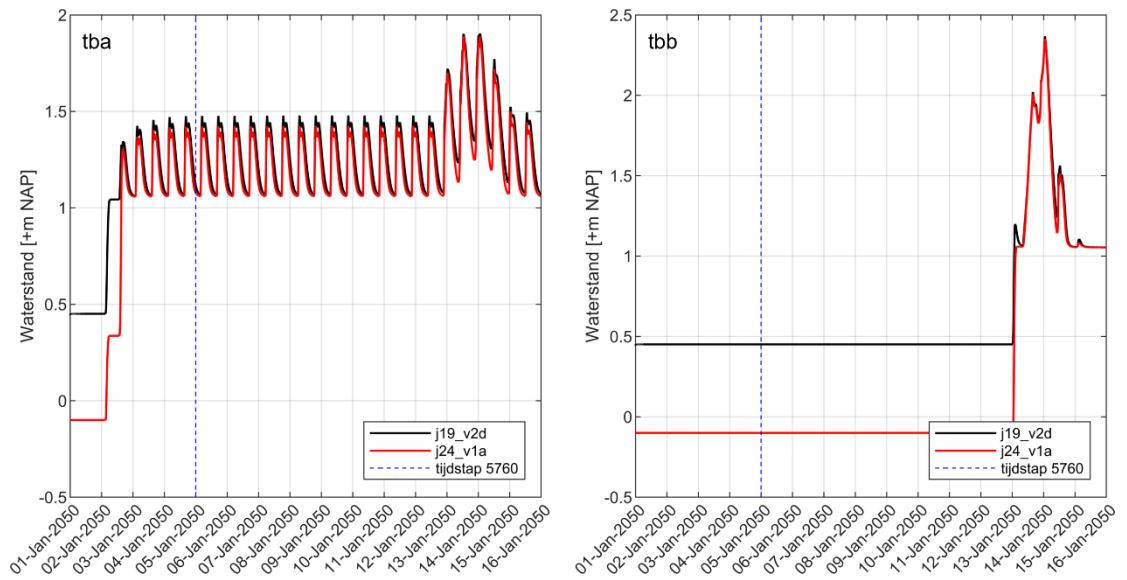
- Bias: het verschil in gemiddelde tussen de reeksen
- RMSE: de root mean square error
- Δ_{min13} : verschil in minimale waterstand (op basis van een running mean over 13 tijdstappen)
- Δ_{max13} : verschil in maximale waterstand (op basis van een running mean over 13 tijdstappen).

Voor de uitgevoerde analyses worden de eerste 5760 tijdstappen (4 dagen) van de simulatie niet meegenomen, om rekening te houden met inspeleffecten aan het begin van de simulatie. Deze keuze is toegelicht in paragraaf 2.6.5.

3.2.2 Analyse

De grootste verschillen in bias treden op ter plaatse van het station *HV_1024.04_R_LMW-H_Hellevoetsluis-g6* voor standaardsommen tbb, tbc en tbf. Ook de RMSE is hier het grootst. Het is zeer waarschijnlijk dat deze twee variabelen nauw samenhangen met een relatief groot verschil in minimale waterstand (Δ_{min13}) van enkele decimeters op dit LMW-station. De toename in maximale waterstand (Δ_{max13}) op deze locatie is namelijk fors lager en in de orde van centimeters. De drie standaardsommen tbb, tbc en tbf bevatten relatief lage rivierafvoeren. De locatie van het LMW-punt ligt in de haven van Hellevoetsluis. Door de relatief grove roostermaat leidt de bodeminterpolatie tot een kunstmatige drempel die pas overstroomt zodra de waterstand hoger wordt dan het drempelniveau. Voor standaardsommen tbb, tbc en tbf is de rivierafvoer dusdanig laag, dat dit pas gebeurt tijdens de stormopzet. Tot die tijd bepaalt de initiële waterstand het tijdsignaal van de waterstand en dus de statistiek op deze locatie (Figuur 3.1). Het wordt aanbevolen de positie van dit meetpunt in een volgende actualisatie aan te passen.

Doordat de initiële waterstanden in het j19_v2d-model handmatig zijn aangepast (ten behoeve van modelstabiliteit), verschillen deze ook ter plaatse van dit LMW-station van het initiële waterstandsveld in het j24_v1a-model.



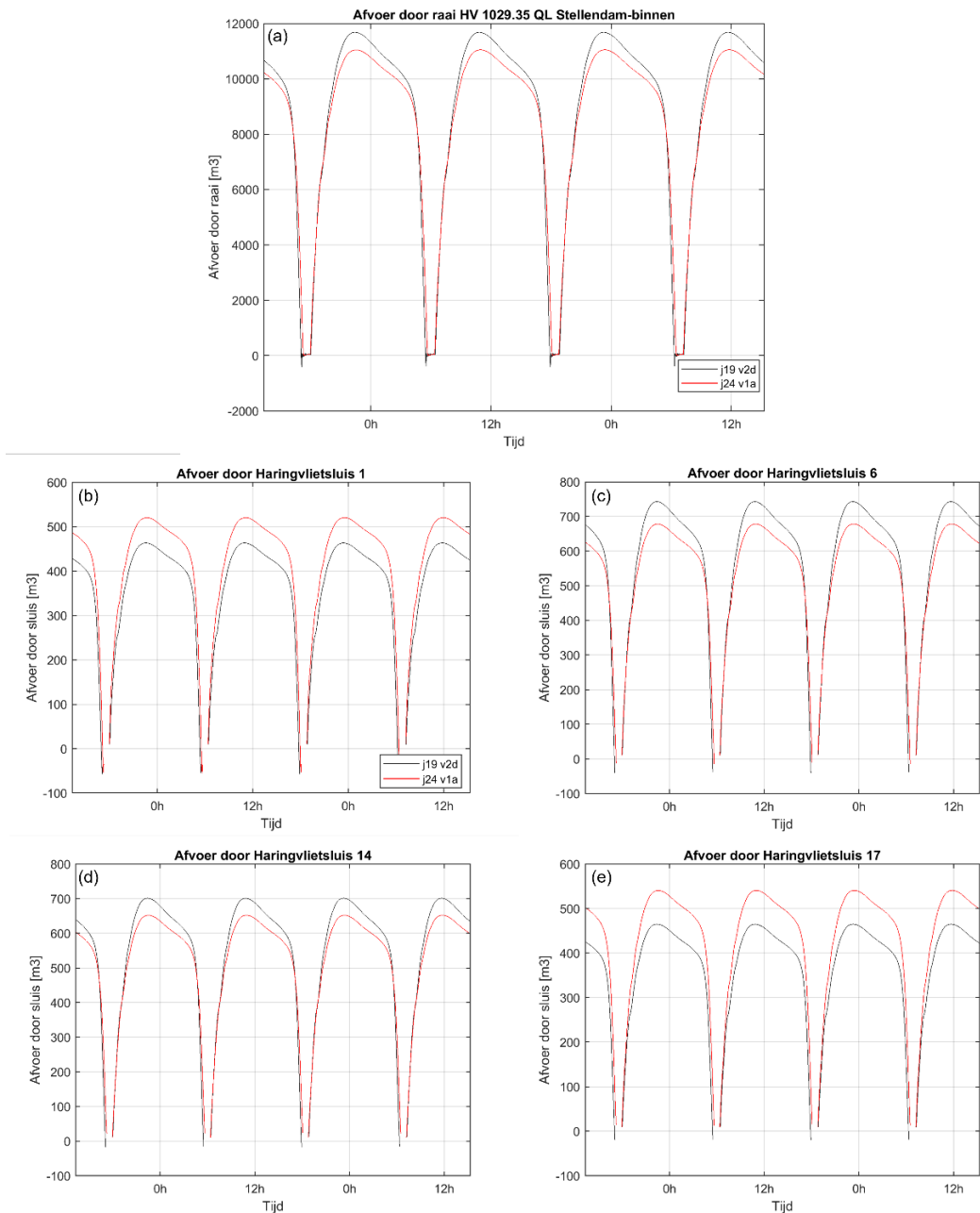
Figuur 3.1 Gesimuleerde waterstanden ter plaatse van LMW-station te Hellevoetsluis voor standaardssom tba (links) en tbb (rechts)

De min13 neemt tijdens scenario tbc het meest af ter plaatse van *MA_202.37_L_LMW-H_Lith-dorp* (orde 4 – 5 cm). De oorzaak voor deze afname zit in de actualisatie van de bodem van de Maas. Rondom het LMW-station neemt de hoogte van het zomerbed over een lengte van enkele kilometers af met maximaal 2 meter. De invloed van de gewijzigde bodemhoogte is het meest merkbaar bij relatief lage afvoeren. Daarom is de afname in min13 voor scenario tbc het grootst en neemt deze af voor scenario's met hogere afvoeren.

Opvallend is dat voor alle scenario's de minimale waterstand toeneemt op een aantal takken: Maas, Steurgat, Hollands Diep, Waal, Boven-Merwede, Hollands Diep, Haringvliet, Oude Maas en het Spui. De toename in minimale waterstand komt overeen met een positieve bias en een vergelijkbare RMSE, wat erop duidt dat deze drie variabelen nauw verbonden zijn. Niet enkel de minima veranderen, maar de volledige tijdreeks wordt beïnvloed.

Deze verandering in (minimale) waterstanden wordt niet veroorzaakt door de Volkeraksluizen, omdat deze tijdens de laagste waterstanden zijn gesloten. Een nadere analyse van de werking van de Haringvlietssluis toont aan dat de toename in min13 hoogstwaarschijnlijk wordt veroorzaakt door het spuidebiet van de Haringvlietssluis. Tijdreeksen van de afvoer door de Haringvlietssluis worden getoond in Figuur 3.2.

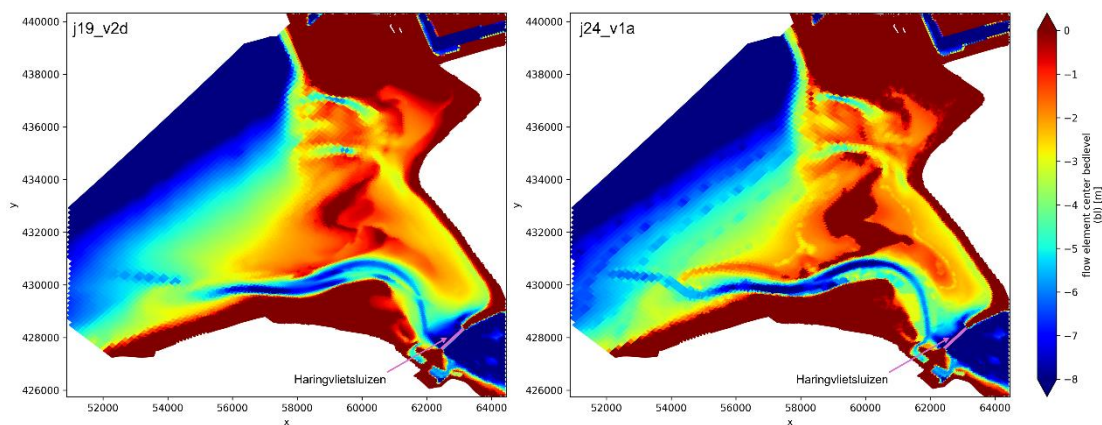
Het spuidebiet door sluis 1 en 17 neemt toe doordat het doorstroomoppervlak door de sluis toeneemt als gevolg van de actualisatie van de bathymetrie rondom de sluis. Daarentegen neemt het spuidebiet door de tussenliggende sluis 2 – 16 af, waardoor het totale spuidebiet door de sluis ook afneemt. Deze afname vindt waarschijnlijk zijn oorsprong in de actualisatie van de bathymetrie van de Voordelta (Figuur 3.3).



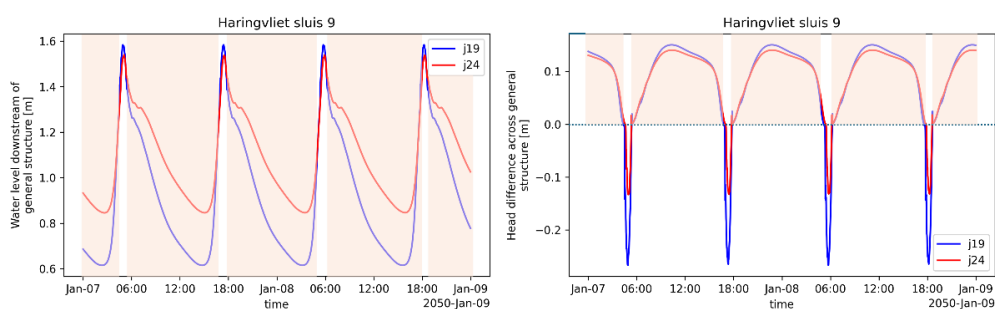
Figuur 3.2 Gesimuleerde debiet door de Haringvlietsluizen voor scenario tba: (a) totaal spuidebiet door de sluisen, (b) spuidebiet door sluis 1, (c) spuidebiet door sluis 6, (d) spuidebiet door sluis 14 en (e) spuidebiet door sluis 17. Zwart: j19_v2d, rood: j24_v1a

Door de verandering van de bathymetrie in de Voordelta verandert de stromingsweerstand, waardoor het gedrag en de amplitude van de getijdegolf wijzigt. De amplitude van het getijdesignaal aan de buitenzijde van de Haringvlietsluizen neemt af, en het vallen en stijgen van de waterstand geschiedt langzamer (Figuur 3.6, links). Hierdoor neemt het verval over de Haringvlietsluizen af tijdens de momenten waarop de sluisen open staan (Figuur 3.6, rechts). De actualisatie van de bodemhoogte van de drempel van de Haringvlietsluizen kan hier ook een rol in spelen. Het resultaat is een kleiner spuidebiet door de Haringvlietsluizen.

Het getijdesignaal aan de buitenzijde van de Haringvlietsluizen wijzigt aanzienlijk na de actualisatie naar j24_v1a. Daarom wordt het geadviseerd met behulp van een historische validatiesom in te schatten hoe goed dit signaal overeenkomt met metingen in het gebied.



Figuur 3.3 Bathymetrie (D-HYDRO) van de Voordelta in (links) j19_v2d en (rechts) j24_v1a



Figuur 3.4 Waterstanden aan de Voordeltazijde van de Haringvlietsluizen (links) en het verval over de haringvlietsluizen (rechts) voor j19_v2d en j24_v1a tijdens gemiddelde condities in scenario tba

Doordat het totale spuidebiet door de Haringvlietsluizen afneemt, verlaat minder water het Haringvliet, waardoor de (laag-)waterstanden toenemen in het j24_v1a-model ten opzichte van j19_v2d. Dit effect werkt door in bovenstroomse richting.

De afname in spuidebiet door de Haringvlietsluizen resulteert ook in een toename van de maximale waterstanden (van enkele centimeters) in de takken bovenstrooms van de Haringvlietsluizen. Het grootste verschil in gemodelleerde maximale waterstand ($\Delta_{\max 13}$) op deze takken is voor standaardsommen tba, tbb, tbc (met open keringen en gesloten Volkeraksluizen) niet groter dan 5 cm.

Voor scenario's tbd, tbe en tbf (met gesloten keringen en open Volkeraksluizen) is de $\Delta_{\max 13}$ op de trajecten bovenstrooms van de Haringvlietsluizen over het algemeen groter dan in scenario's tba, tbb en tbc: maximaal 7 cm. Naast de kleinere spuidebieten door de Haringvlietsluizen heeft de gewijzigde sturing van de Volkeraksluizen, waardoor er onder extreme condities minder water het Volkerak instroomt, een merkbare invloed heeft op de maximale waterstanden in het hele model.

Doordat de veranderde debieten door de Haringvlietsluizen en de Volkeraksluizen een relatief grote invloed hebben op de gemodelleerde waterstanden, is het niet vanzelfsprekend hoe groot de bijdrage van de Noordwaard Polder is aan de verschillen in modelresultaten. Wel is deze bijdrage waarschijnlijk kleiner dan de bijdrage die wordt geleverd door de veranderde debieten door de sluisen.

Tabel 3-1 Overzicht van de statistiek van de verschillen in waterstanden tussen j24_v1a en j19_v2d voor alle LMW-stations voor standaard som **tba** (extreme afvoer, normale waterstand).

Naam LMW-station	bias [m]	RMSE [m]	Δ max13 [m]	Δ min13 [m]
MA_202.37_L_LMW-H_Lith-dorp	0.048	0.048	0.048	0.048
MA_230.61_L_LMW-H_Heesbeen	0.007	0.007	0.005	0.007
MA_247.60_R_LMW-H_Keizersveer	0.03	0.03	0.016	0.035
SG_0.90_L_LMW-H_Werkendam-buiten-g6	0.045	0.045	0.026	0.049
WL_913.3_R_LMW-H_Tiel-Waal-g6	0.029	0.029	0.029	0.029
WL_934.8_L_LMW-H_Zaltbommel	0.036	0.036	0.034	0.036
WL_951.8_R_LMW-H_Vuren	0.004	0.004	0.001	0.004
BO_961.0_C_LMW-H_Hardinxveld-RT	0.026	0.026	0.017	0.028
HD_984.55_L_LMW-H_Moerdijk-g6	0.052	0.055	0.006	0.073
HD_998.15_L_LMW-H_Rak-noord	0.06	0.064	0.007	0.086
HV_1024.04_R_LMW-H_Hellevoetsluis-g6	0.053	0.06	0.015	0.009
OM_976.25_L_LMW-H_Dordrecht-g6	0.031	0.032	0.019	0.041
OM_992.53_L_LMW-H_Goidschaloord-g6	0.031	0.033	0.007	0.042
OM_996.15_L_LMW-H_Beerenplaat-g6	0.04	0.044	0.014	0.058
OM_1003.04_L_LMW-H_Spijkenisse	0.012	0.013	0.017	0.016
SP_1007.13_R_LMW-H_Zuidland-g6	0.062	0.066	0.037	0.088
CK_1017.95_R_LMW-H_Rozenburgsesluis	0.001	0.006	-0.008	0.004
CK_1028.42_R_LMW-H_Scheurhaven-g6	0.001	0.003	-0.002	0.003
CK_1031.52_L_LMW-H_Beerkanaal	0.001	0.003	0.002	0.004
CK_1032.03_L_LMW-H_Europahaven	0.001	0.004	-0.002	0.004
CK_1032.03_L_LMW-H_Mississippihaven	0	0.004	-0.004	0.002
HK_1.58_R_LMW-H_Hartelbrug	0.015	0.016	0.017	0.021
HK_10.38_L_LMW-H_Harmsenbrug	0.014	0.016	0.013	0.018
HK_15.01_R_LMW-H_Hartel-Kuwait	0.021	0.026	0.002	0.026
LE_947.1_R_LMW-H_Hagestein-beneden	0.033	0.033	0.032	0.034
LE_971.6_R_LMW-H_Schoonhoven	0.013	0.013	0.011	0.015
LE_988.7_R_LMW-H_Krimpen-aan-de-Lek-g6	0.005	0.008	0.005	0.006
NM_999.47_R_LMW-H_Rotterdam-g6	0.004	0.008	0.009	0.004
NM_1002.49_R_LMW-H_Parksluis-g6	0.002	0.007	0.008	-0.003
NM_1010.91_R_LMW-H_Vlaardingen-g6	0.006	0.007	0.011	0.007
NW_1018.75_R_LMW-H_Maassluis-g6	0.004	0.005	0.011	0.005
NW_1025.67_L_LMW-H_Maeslantkering-rivierzijde	0.003	0.004	0.008	0.003
NW_1025.67_R_LMW-H_Maeslantkering-rivierzijde	0.004	0.005	0.009	0.005
NW_1026.89_L_LMW-H_Maeslantkering-zeezijde	0.003	0.004	0.006	0.006
NW_1026.89_R_LMW-H_Maeslantkering-zeezijde	0.002	0.004	0.006	0.004
NW_1030.19_R_LMW-H_Hoek-van-Holland	0.003	0.004	-0.004	0.007
HY_0.86_R_LMW-H_Gouda-brug-g6	0.013	0.015	0	0.016
HY_17.99_R_LMW-H_Krimpen-ad-IJssel-g6	0.013	0.014	0.005	0.016

Tabel 3-2 Overzicht van de statistiek van de verschillen in waterstanden tussen j24_v1a en j19_v2d voor alle LMW-stations voor standaard som **tbb** (hoge afvoer, hoge opzet).

Naam LMW-station	bias [m]	RMSE [m]	$\Delta_{\max 13}$ [m]	$\Delta_{\min 13}$ [m]
MA_202.37_L_LMW-H_Lith-dorp	-0.008	0.008	-0.007	-0.009
MA_230.61_L_LMW-H_Heesbeen	0.003	0.009	-0.005	0.001
MA_247.60_R_LMW-H_Keizersveer	0.022	0.022	0.005	0.02
SG_0.90_L_LMW-H_Werkendam-buiten-g6	0.051	0.051	0.024	0.05
WL_913.3_R_LMW-H_Tiel-Waal-g6	0.007	0.007	0.008	0.007
WL_934.8_L_LMW-H_Zaltbommel	0.021	0.021	0.021	0.02
WL_951.8_R_LMW-H_Vuren	0.018	0.019	0.006	0.017
BO_961.0_C_LMW-H_Hardinxveld-RT	0.037	0.038	0.016	0.036
HD_984.55_L_LMW-H_Moerdijk-g6	0.045	0.047	0.007	0.057
HD_998.15_L_LMW-H_Rak-noord	0.05	0.053	0.01	0.065
HV_1024.04_R_LMW-H_Hellevoetsluis-g6	0.412	0.473	0.016	0.551
OM_976.25_L_LMW-H_Dordrecht-g6	0.029	0.031	0.008	0.039
OM_992.53_L_LMW-H_Goidschalxoord-g6	0.023	0.026	0.008	0.032
OM_996.15_L_LMW-H_Beerenplaat-g6	0.027	0.031	0.007	0.039
OM_1003.04_L_LMW-H_Spijkenisse	0.011	0.012	0.006	0.012
SP_1007.13_R_LMW-H_Zuidland-g6	0.047	0.051	0.012	0.063
CK_1017.95_R_LMW-H_Rozenburgsesluis	0.001	0.004	-0.005	-0.001
CK_1028.42_R_LMW-H_Scheurhaven-g6	0.001	0.003	-0.006	0
CK_1031.52_L_LMW-H_Beerkanaal	0.001	0.003	-0.002	0.001
CK_1032.03_L_LMW-H_Europahaven	0.001	0.004	-0.008	0.003
CK_1032.03_L_LMW-H_Mississippihaven	0	0.003	-0.007	0.003
HK_1.58_R_LMW-H_Hartelbrug	0.012	0.013	0.003	0.014
HK_10.38_L_LMW-H_Harmsenbrug	0.01	0.012	-0.006	0.014
HK_15.01_R_LMW-H_Hartel-Kuwait	0.012	0.018	-0.013	0.02
LE_947.1_R_LMW-H_Hagestein-beneden	0.015	0.015	0.014	0.018
LE_971.6_R_LMW-H_Schoonhoven	0.018	0.019	0.01	0.027
LE_988.7_R_LMW-H_Krimpen-aan-de-Lek-g6	0.01	0.013	0.004	0.014
NM_999.47_R_LMW-H_Rotterdam-g6	0.007	0.011	0.003	0.006
NM_1002.49_R_LMW-H_Parksluis-g6	0.005	0.01	0.002	0.004
NM_1010.91_R_LMW-H_Vlaardingen-g6	0.007	0.009	0.003	0.006
NW_1018.75_R_LMW-H_Maassluis-g6	0.004	0.007	0.002	0.005
NW_1025.67_L_LMW-H_Maeslantkering-rivierzijde	0.003	0.004	0.001	0.004
NW_1025.67_R_LMW-H_Maeslantkering-rivierzijde	0.003	0.005	0.001	0.005
NW_1026.89_L_LMW-H_Maeslantkering-zeezijde	0.003	0.004	-0.002	0.005
NW_1026.89_R_LMW-H_Maeslantkering-zeezijde	0.002	0.004	-0.003	0.003
NW_1030.19_R_LMW-H_Hoek-van-Holland	0.002	0.003	-0.003	0.004
HY_0.86_R_LMW-H_Gouda-brug-g6	0.012	0.016	0.005	0.018
HY_17.99_R_LMW-H_Krimpen-ad-IJssel-g6	0.013	0.015	0.004	0.017

Tabel 3-3 Overzicht van de statistiek van de verschillen in waterstanden tussen j24_v1a en j19_v2d voor alle LMW-stations voor standaard som **tbc** (gemiddelde afvoer, extreme opzet).

Naam LMW-station	bias [m]	RMSE [m]	Δ max13 [m]	Δ min13 [m]
MA_202.37_L_LMW-H_Lith-dorp	-0.034	0.037	-0.005	-0.043
MA_230.61_L_LMW-H_Heesbeen	0.004	0.007	0.014	0.002
MA_247.60_R_LMW-H_Keizersveer	0.006	0.008	0.008	0.003
SG_0.90_L_LMW-H_Werkendam-buiten-g6	0.007	0.01	0.013	0.004
WL_913.3_R_LMW-H_Tiel-Waal-g6	-0.016	0.016	-0.006	-0.017
WL_934.8_L_LMW-H_Zaltbommel	0.016	0.016	0.019	0.018
WL_951.8_R_LMW-H_Vuren	0.007	0.008	0.012	0.005
BO_961.0_C_LMW-H_Hardinxveld-RT	0.005	0.008	0.011	0.003
HD_984.55_L_LMW-H_Moerdijk-g6	0.007	0.008	0.018	0.003
HD_998.15_L_LMW-H_Rak-noord	0.007	0.008	0.011	0.003
HV_1024.04_R_LMW-H_Hellevoetsluis-g6	0.432	0.487	0.013	0.551
OM_976.25_L_LMW-H_Dordrecht-g6	0.004	0.006	0.008	0.004
OM_992.53_L_LMW-H_Goidschaloord-g6	0.004	0.005	0.018	0.003
OM_996.15_L_LMW-H_Beerenplaat-g6	0.01	0.012	0.023	0.013
OM_1003.04_L_LMW-H_Spijkenisse	0.003	0.004	0.008	0.002
SP_1007.13_R_LMW-H_Zuidland-g6	0.006	0.008	0.015	0.003
CK_1017.95_R_LMW-H_Rozenburgsesluis	0.001	0.006	0.003	-0.001
CK_1028.42_R_LMW-H_Scheurhaven-g6	0.001	0.004	0.004	0.001
CK_1031.52_L_LMW-H_Beerkanaal	0	0.003	-0.003	0.002
CK_1032.03_L_LMW-H_Europahaven	0	0.005	-0.014	0.003
CK_1032.03_L_LMW-H_Mississippihaven	0	0.004	0.009	0.002
HK_1.58_R_LMW-H_Hartelbrug	0.003	0.005	0.003	0.004
HK_10.38_L_LMW-H_Harmenbrug	0.003	0.008	-0.008	0.008
HK_15.01_R_LMW-H_Hartel-Kuwait	0.004	0.014	-0.015	0.016
LE_947.1_R_LMW-H_Hagestein-beneden	-0.003	0.005	-0.003	-0.006
LE_971.6_R_LMW-H_Schoonhoven	0.008	0.009	0.009	0.011
LE_988.7_R_LMW-H_Krimpen-aan-de-Lek-g6	0.002	0.006	0.009	0.001
NM_999.47_R_LMW-H_Rotterdam-g6	0.002	0.007	0.009	0.001
NM_1002.49_R_LMW-H_Parksluis-g6	0.002	0.007	0.009	0.001
NM_1010.91_R_LMW-H_Vlaardingen-g6	0.003	0.005	0.008	0.003
NW_1018.75_R_LMW-H_Maassluis-g6	0.002	0.003	0.004	0.001
NW_1025.67_L_LMW-H_Maeslantkering-rivierzijde	0.002	0.003	0.009	0.003
NW_1025.67_R_LMW-H_Maeslantkering-rivierzijde	0.002	0.003	0.008	0.004
NW_1026.89_L_LMW-H_Maeslantkering-zeezijde	0.001	0.003	-0.004	0.004
NW_1026.89_R_LMW-H_Maeslantkering-zeezijde	0.001	0.003	-0.004	0.003
NW_1030.19_R_LMW-H_Hoek-van-Holland	0.001	0.003	-0.003	0.003
HY_0.86_R_LMW-H_Gouda-brug-g6	0.002	0.006	-0.01	0.003
HY_17.99_R_LMW-H_Krimpen-ad-IJssel-g6	0.003	0.006	0.008	0.002

Tabel 3-4 Overzicht van de statistiek van de verschillen in waterstanden tussen j24_v1a en j19_v2d voor alle LMW-stations voor standaard som **tbd** (extreme afvoer, verhoogde waterstand).

Naam LMW-station	bias [m]	RMSE [m]	Δ max13 [m]	Δ min13 [m]
MA_202.37_L_LMW-H_Lith-dorp	0.049	0.049	0.05	0.048
MA_230.61_L_LMW-H_Heesbeen	0.008	0.008	0.018	0.007
MA_247.60_R_LMW-H_Keizersveer	0.031	0.031	0.041	0.035
SG_0.90_L_LMW-H_Werkendam-buiten-g6	0.045	0.045	0.035	0.049
WL_913.3_R_LMW-H_Tiel-Waal-g6	0.029	0.029	0.029	0.029
WL_934.8_L_LMW-H_Zaltbommel	0.036	0.036	0.035	0.036
WL_951.8_R_LMW-H_Vuren	0.004	0.004	0.008	0.004
BO_961.0_C_LMW-H_Hardinxveld-RT	0.026	0.026	0.029	0.028
HD_984.55_L_LMW-H_Moerdijk-g6	0.052	0.055	0.039	0.073
HD_998.15_L_LMW-H_Rak-noord	0.06	0.063	0.045	0.086
HV_1024.04_R_LMW-H_Hellevoetsluis-g6	0.053	0.06	0.03	0.009
OM_976.25_L_LMW-H_Dordrecht-g6	0.031	0.032	0.024	0.041
OM_992.53_L_LMW-H_Goidschalxoord-g6	0.031	0.033	0.019	0.042
OM_996.15_L_LMW-H_Beerenplaat-g6	0.041	0.044	0.019	0.058
OM_1003.04_L_LMW-H_Spijkenisse	0.013	0.014	0.026	0.016
SP_1007.13_R_LMW-H_Zuidland-g6	0.061	0.066	0.04	0.088
CK_1017.95_R_LMW-H_Rozenburgsesluis	0.001	0.007	-0.004	0.004
CK_1028.42_R_LMW-H_Scheurhaven-g6	0.001	0.004	-0.003	0.003
CK_1031.52_L_LMW-H_Beerkanaal	0.001	0.003	-0.002	0.004
CK_1032.03_L_LMW-H_Europahaven	0.001	0.004	-0.009	0.004
CK_1032.03_L_LMW-H_Mississippihaven	0	0.004	-0.008	0.002
HK_1.58_R_LMW-H_Hartelbrug	0.016	0.017	0.018	0.021
HK_10.38_L_LMW-H_Harmsenbrug	0.014	0.017	-0.031	0.018
HK_15.01_R_LMW-H_Hartel-Kuwait	0.021	0.026	-0.022	0.026
LE_947.1_R_LMW-H_Hagestein-beneden	0.033	0.033	0.033	0.033
LE_971.6_R_LMW-H_Schoonhoven	0.013	0.013	0.02	0.014
LE_988.7_R_LMW-H_Krimpen-aan-de-Lek-g6	0.005	0.008	0.011	0.006
NM_999.47_R_LMW-H_Rotterdam-g6	0.004	0.009	0.016	0.004
NM_1002.49_R_LMW-H_Parksluis-g6	0.002	0.008	0.018	-0.002
NM_1010.91_R_LMW-H_Vlaardingen-g6	0.006	0.008	0.019	0.007
NW_1018.75_R_LMW-H_Maassluis-g6	0.004	0.006	0.021	0.005
NW_1025.67_L_LMW-H_Maeslantkering-rivierzijde	0.004	0.006	0.018	0.003
NW_1025.67_R_LMW-H_Maeslantkering-rivierzijde	0.004	0.006	0.018	0.005
NW_1026.89_L_LMW-H_Maeslantkering-zeezijde	0.003	0.004	-0.001	0.007
NW_1026.89_R_LMW-H_Maeslantkering-zeezijde	0.002	0.004	-0.002	0.005
NW_1030.19_R_LMW-H_Hoek-van-Holland	0.003	0.004	-0.004	0.007
HY_0.86_R_LMW-H_Gouda-brug-g6	0.012	0.019	-0.003	0.016
HY_17.99_R_LMW-H_Krimpen-ad-IJssel-g6	0.014	0.015	0.015	0.016

Tabel 3-5 Overzicht van de statistiek van de verschillen in waterstanden tussen j24_v1a en j19_v2d voor alle LMW-stations voor standaard som **tbe** (zeer hoge afvoer, extreme opzet).

Naam LMW-station	bias [m]	RMSE [m]	$\Delta_{\max 13}$ [m]	$\Delta_{\min 13}$ [m]
MA_202.37_L_LMW-H_Lith-dorp	0.03	0.03	0.041	0.026
MA_230.61_L_LMW-H_Heesbeen	-0.003	0.011	0.038	-0.009
MA_247.60_R_LMW-H_Keizersveer	0.016	0.021	0.065	0.008
SG_0.90_L_LMW-H_Werkendam-buiten-g6	0.062	0.063	0.043	0.07
WL_913.3_R_LMW-H_Tiel-Waal-g6	0.014	0.015	0.015	0.014
WL_934.8_L_LMW-H_Zaltbommel	0.032	0.032	0.029	0.032
WL_951.8_R_LMW-H_Vuren	0.02	0.02	0.022	0.022
BO_961.0_C_LMW-H_Hardinxveld-RT	0.046	0.047	0.043	0.051
HD_984.55_L_LMW-H_Moerdijk-g6	0.041	0.045	0.064	0.058
HD_998.15_L_LMW-H_Rak-noord	0.046	0.051	0.063	0.067
HV_1024.04_R_LMW-H_Hellevoetsluis-g6	0.022	0.04	0.064	0.168
OM_976.25_L_LMW-H_Dordrecht-g6	0.029	0.032	0.056	0.041
OM_992.53_L_LMW-H_Goidschaloord-g6	0.024	0.027	0.055	0.033
OM_996.15_L_LMW-H_Beerenplaat-g6	0.031	0.035	0.053	0.044
OM_1003.04_L_LMW-H_Spijkenisse	0.012	0.015	0.046	0.013
SP_1007.13_R_LMW-H_Zuidland-g6	0.047	0.052	0.068	0.066
CK_1017.95_R_LMW-H_Rozenburgsesluis	0.001	0.011	0.008	0
CK_1028.42_R_LMW-H_Scheurhaven-g6	0.001	0.006	0.029	0.002
CK_1031.52_L_LMW-H_Beerkanaal	0.001	0.005	0.03	0.001
CK_1032.03_L_LMW-H_Europahaven	0	0.007	0.04	0.005
CK_1032.03_L_LMW-H_Mississippihaven	0	0.008	0.026	0.003
HK_1.58_R_LMW-H_Hartelbrug	0.014	0.017	0.043	0.016
HK_10.38_L_LMW-H_Harmsenbrug	0.01	0.015	0.001	0.015
HK_15.01_R_LMW-H_Hartel-Kuwait	0.015	0.022	-0.003	0.021
LE_947.1_R_LMW-H_Hagestein-beneden	0.022	0.022	0.023	0.022
LE_971.6_R_LMW-H_Schoonhoven	0.018	0.018	0.037	0.02
LE_988.7_R_LMW-H_Krimpen-aan-de-Lek-g6	0.01	0.014	0.049	0.012
NM_999.47_R_LMW-H_Rotterdam-g6	0.007	0.013	0.057	0.007
NM_1002.49_R_LMW-H_Parksluis-g6	0.005	0.013	0.059	0.001
NM_1010.91_R_LMW-H_Vlaardingen-g6	0.008	0.013	0.056	0.003
NW_1018.75_R_LMW-H_Maassluis-g6	0.006	0.011	0.041	0.004
NW_1025.67_L_LMW-H_Maeslantkering-rivierzijde	0.005	0.01	0.041	0.004
NW_1025.67_R_LMW-H_Maeslantkering-rivierzijde	0.006	0.011	0.041	0.005
NW_1026.89_L_LMW-H_Maeslantkering-zeezijde	0.002	0.006	0.047	0.005
NW_1026.89_R_LMW-H_Maeslantkering-zeezijde	0.002	0.006	0.047	0.004
NW_1030.19_R_LMW-H_Hoek-van-Holland	0.002	0.005	0.034	0.005
HY_0.86_R_LMW-H_Gouda-brug-g6	0.014	0.018	0.066	0.019
HY_17.99_R_LMW-H_Krimpen-ad-IJssel-g6	0.014	0.017	0.051	0.017

Tabel 3-6 Overzicht van de statistiek van de verschillen in waterstanden tussen j24_v1a en j19_v2d voor alle LMW-stations voor standaard som **tbf** (hoge afvoer, hoge opzet).

Naam LMW-station	bias [m]	RMSE [m]	$\Delta_{\max 13}$ [m]	$\Delta_{\min 13}$ [m]
MA_202.37_L_LMW-H_Lith-dorp	-0.007	0.008	0.004	-0.009
MA_230.61_L_LMW-H_Heesbeen	0.005	0.009	0.032	0.001
MA_247.60_R_LMW-H_Keizersveer	0.024	0.025	0.049	0.02
SG_0.90_L_LMW-H_Werkendam-buiten-g6	0.052	0.052	0.049	0.05
WL_913.3_R_LMW-H_Tiel-Waal-g6	0.007	0.007	0.008	0.007
WL_934.8_L_LMW-H_Zaltbommel	0.021	0.021	0.025	0.02
WL_951.8_R_LMW-H_Vuren	0.019	0.019	0.024	0.017
BO_961.0_C_LMW-H_Hardinxveld-RT	0.039	0.039	0.041	0.036
HD_984.55_L_LMW-H_Moerdijk-g6	0.046	0.048	0.058	0.057
HD_998.15_L_LMW-H_Rak-noord	0.051	0.053	0.059	0.065
HV_1024.04_R_LMW-H_Hellevoetsluis-g6	0.414	0.473	0.053	0.551
OM_976.25_L_LMW-H_Dordrecht-g6	0.03	0.032	0.049	0.039
OM_992.53_L_LMW-H_Goidschaloord-g6	0.025	0.028	0.056	0.032
OM_996.15_L_LMW-H_Beerenplaat-g6	0.029	0.032	0.058	0.039
OM_1003.04_L_LMW-H_Spijkenisse	0.012	0.015	0.06	0.012
SP_1007.13_R_LMW-H_Zuidland-g6	0.049	0.052	0.047	0.063
CK_1017.95_R_LMW-H_Rozenburgsesluis	0.001	0.008	-0.002	-0.001
CK_1028.42_R_LMW-H_Scheurhaven-g6	0.001	0.005	0.003	0.001
CK_1031.52_L_LMW-H_Beerkanaal	0.001	0.004	0.008	0.001
CK_1032.03_L_LMW-H_Europahaven	0.001	0.005	0.014	0.003
CK_1032.03_L_LMW-H_Mississippihaven	0	0.005	0.012	0.003
HK_1.58_R_LMW-H_Hartelbrug	0.014	0.016	0.057	0.014
HK_10.38_L_LMW-H_Harmsenbrug	0.01	0.014	-0.002	0.014
HK_15.01_R_LMW-H_Hartel-Kuwait	0.012	0.019	0	0.02
LE_947.1_R_LMW-H_Hagestein-beneden	0.016	0.016	0.023	0.018
LE_971.6_R_LMW-H_Schoonhoven	0.02	0.021	0.041	0.027
LE_988.7_R_LMW-H_Krimpen-aan-de-Lek-g6	0.013	0.016	0.052	0.014
NM_999.47_R_LMW-H_Rotterdam-g6	0.009	0.014	0.056	0.006
NM_1002.49_R_LMW-H_Parksluis-g6	0.007	0.013	0.055	0.004
NM_1010.91_R_LMW-H_Vlaardingen-g6	0.009	0.012	0.061	0.006
NW_1018.75_R_LMW-H_Maassluis-g6	0.006	0.01	0.052	0.005
NW_1025.67_L_LMW-H_Maeslantkering-rivierzijde	0.005	0.009	0.047	0.004
NW_1025.67_R_LMW-H_Maeslantkering-rivierzijde	0.005	0.009	0.047	0.005
NW_1026.89_L_LMW-H_Maeslantkering-zeezijde	0.003	0.005	0.002	0.005
NW_1026.89_R_LMW-H_Maeslantkering-zeezijde	0.002	0.004	0.002	0.003
NW_1030.19_R_LMW-H_Hoek-van-Holland	0.002	0.004	0.006	0.004
HY_0.86_R_LMW-H_Gouda-brug-g6	0.009	0.025	0.013	0.018
HY_17.99_R_LMW-H_Krimpen-ad-IJssel-g6	0.015	0.017	0.056	0.017

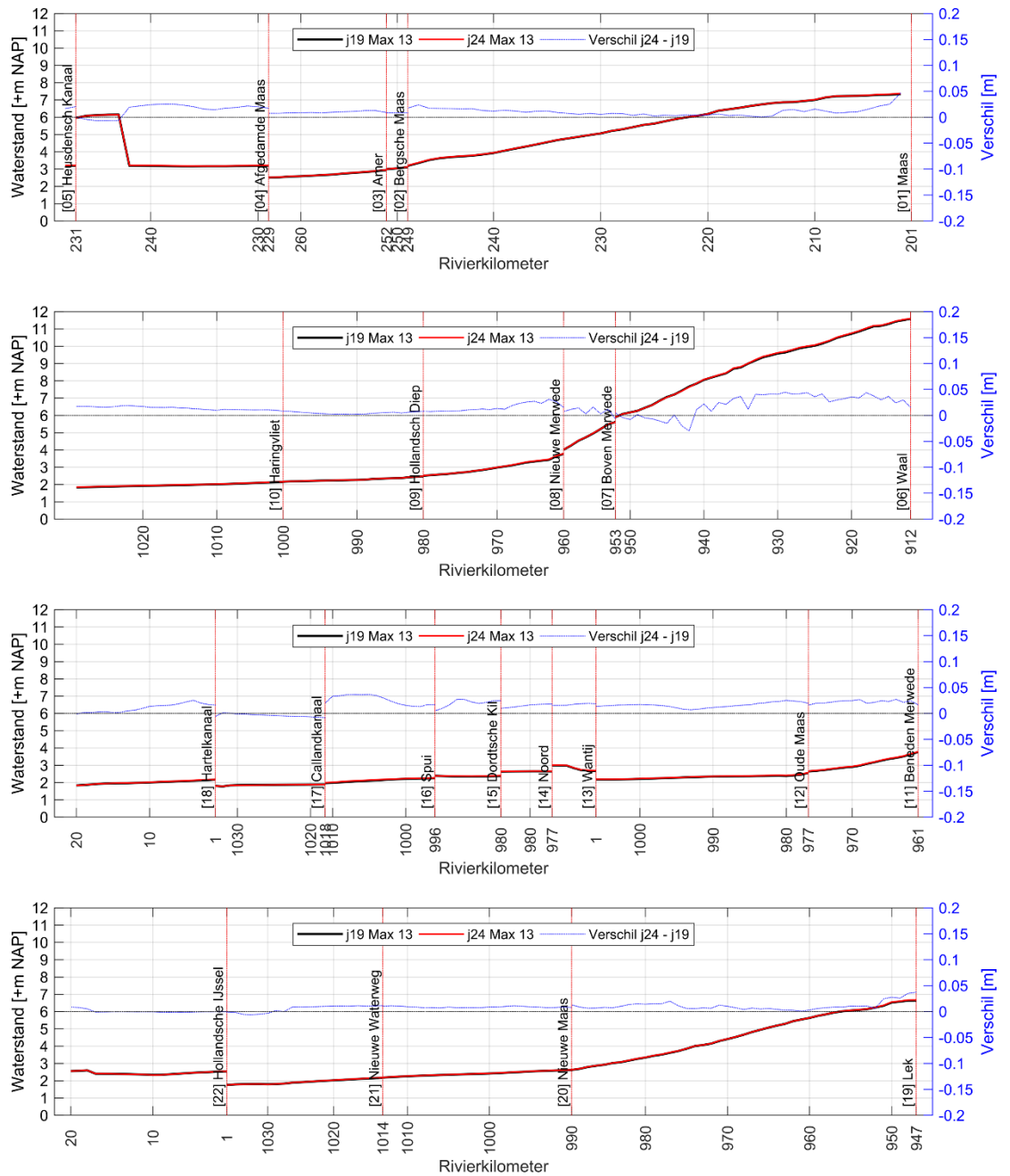
3.3 Langsprofielen maximale waterstanden

De langsprofielen waarin de maximale waterstanden op de rivieras worden vergeleken, zijn samengevat in Figuur 3.5 - Figuur 3.10.

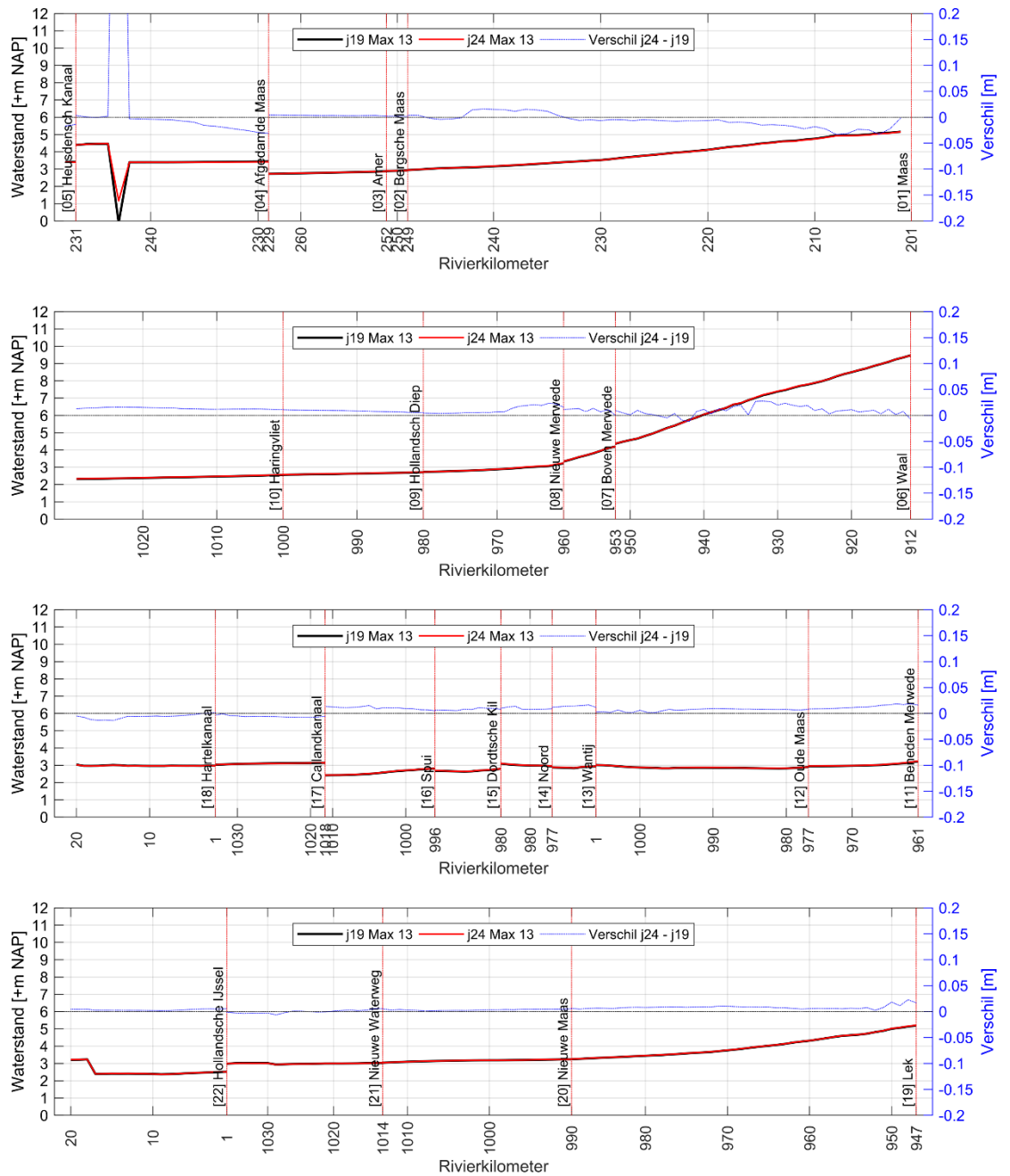
Op de meeste locaties in standaardsommen tba, tbb en tbc is het waterstandsverschil maximaal enkele centimeters. Dit verschil wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door wijzigingen in de bathymetrie, en een toename in afvoer die door de Noordwaard Polder richting het Hollands Diep stroomt.

Voor scenario's tbd, tbe en tbf is de invloed van de wijziging in werking van de Volkeraksluizen zichtbaar als stuwkromme effect dat doorwerkt op de trajecten bovenstrooms van de Volkeraksluizen. Bovenstrooms van de Volkeraksluizen is de toename in max13 het grootst, en deze invloed neemt stroomopwaarts af.

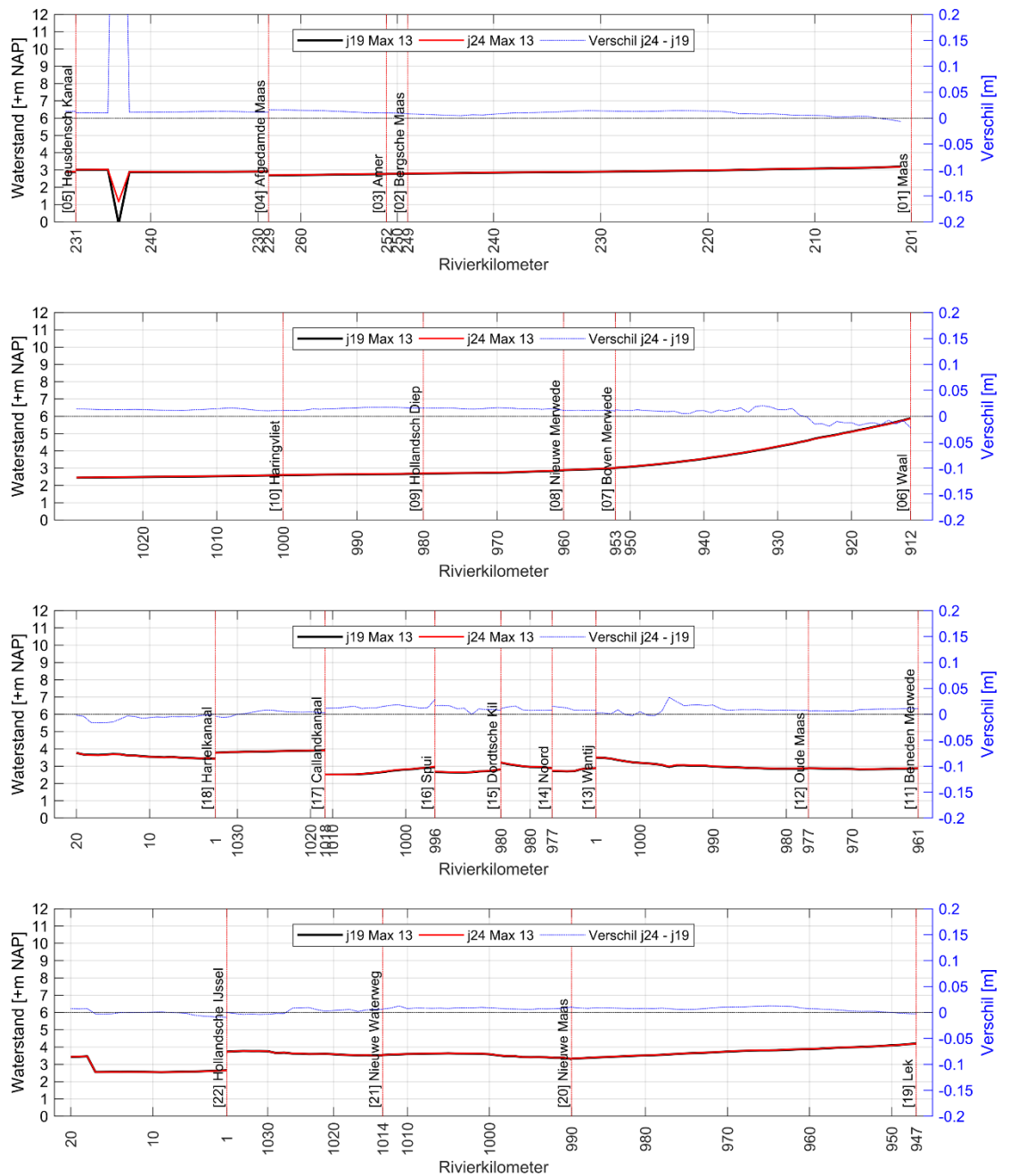
Voor standaardsommen tbb, tbc, tbe en tbf is op de Afdamde Maas (ter plekke van de Wilhelminasluis, AF_243.00) een ongewoon groot verschil te zien in maximale waterstand. De locatie van het betreffende observatiepunt wordt ingesloten tussen enerzijds fixed weirs (aan de noordzijde) en anderzijds een hoge bodemligging, waardoor er geen interactie plaatsvindt met de waterstanden op de Maas. Het verschil in $\Delta_{\max 13}$ is dus feitelijk het verschil in initiële waterstanden.



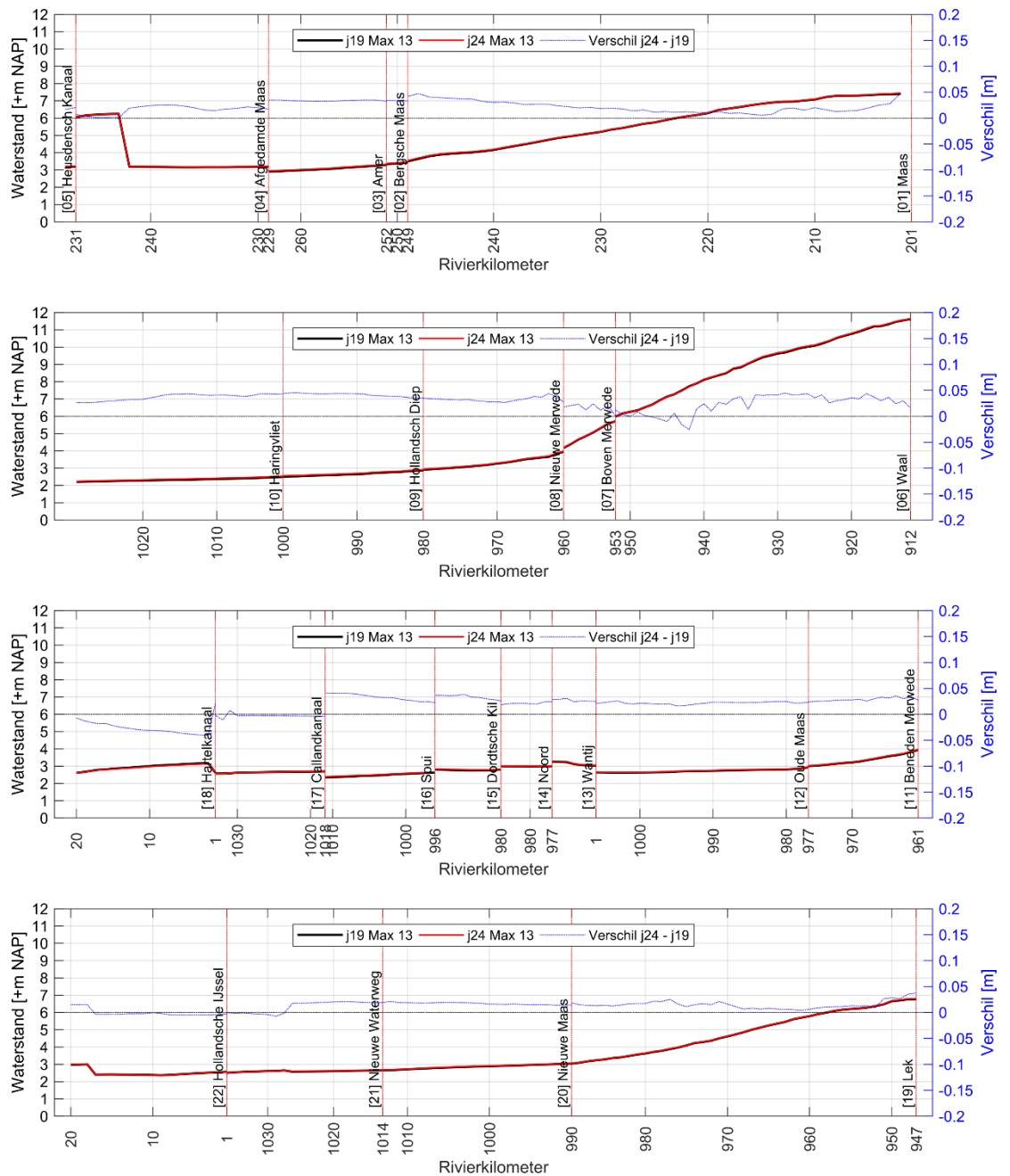
Figuur 3.5 Langsprofielen met de maximale waterstanden op de rivieras voor j19_v2d en j24_v1a, en het verschil tussen j24_v1a en j19_v2d voor scenario **tba** (extreme afvoer, normale waterstand).



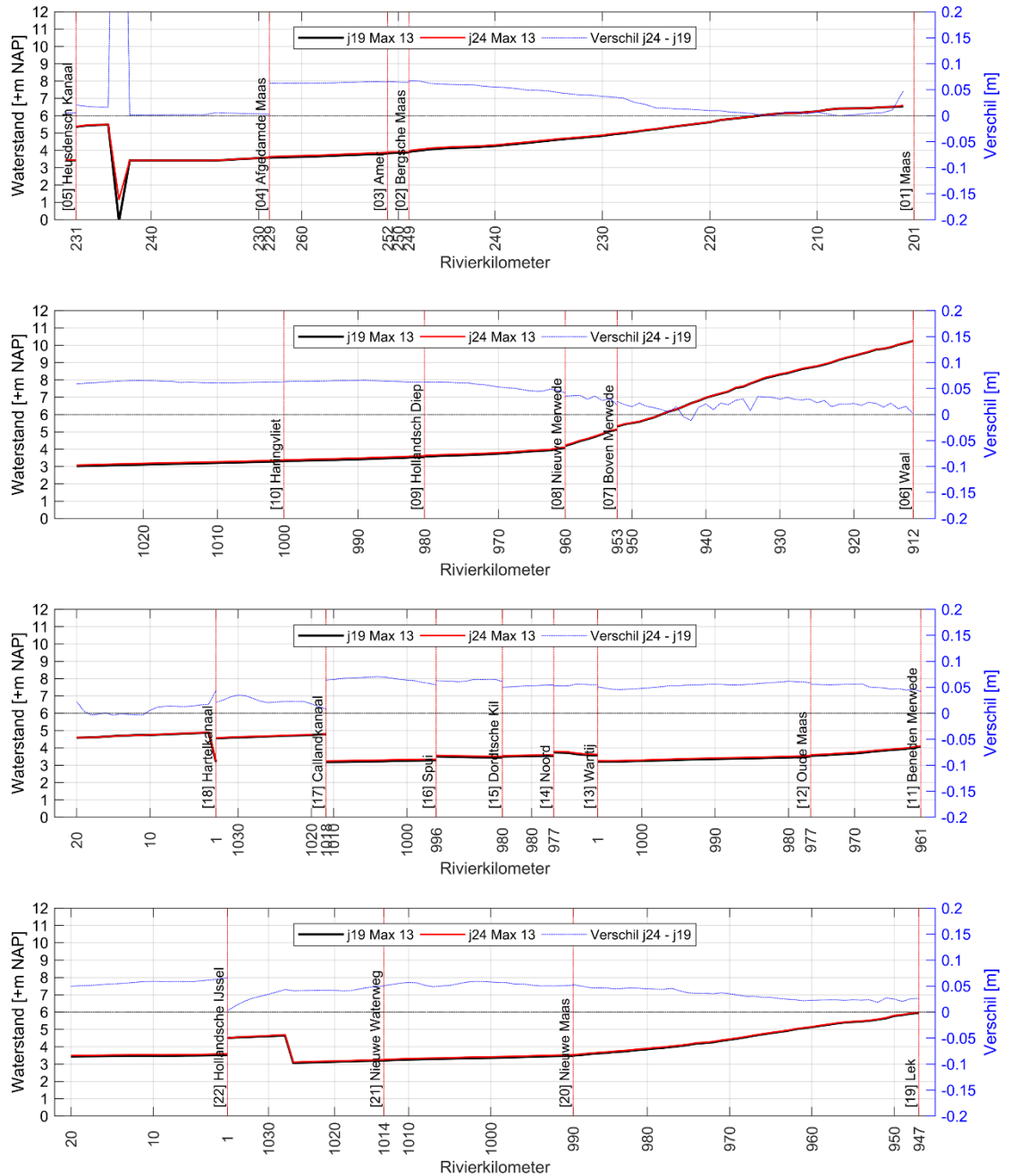
Figuur 3.6 Langsprofielen met de maximale waterstanden op de rivieras voor j19_v2d en j24_v1a, en het verschil tussen j24_v1a en j19_v2d voor scenario **tb** (hoge afvoer, hoge opzet).



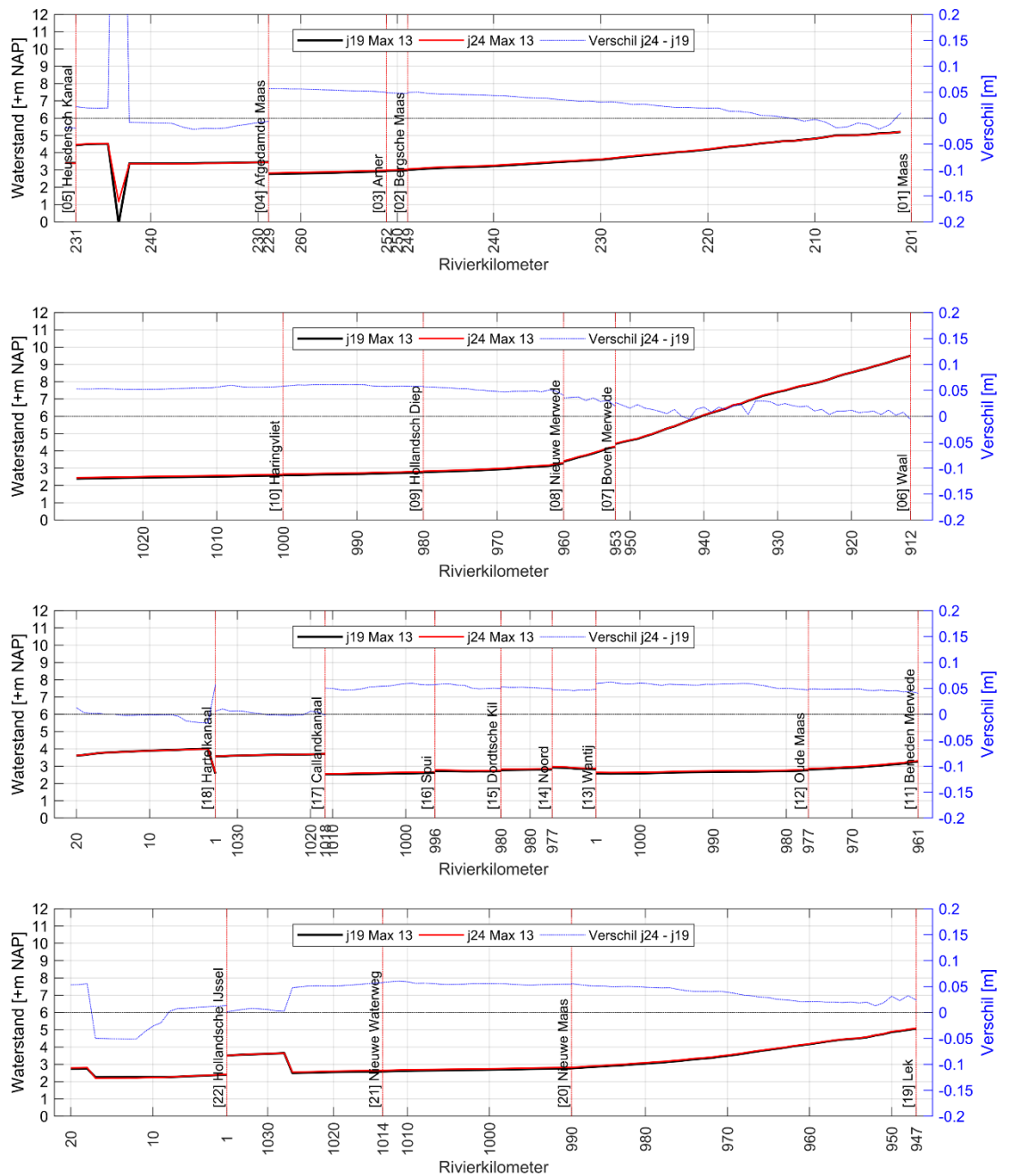
Figuur 3.7 Langsprofielen met de maximale waterstanden op de rivieras voor j19_v2d en j24_v1a, en het verschil tussen j24_v1a en j19_v2d voor scenario **tb** (gemiddelde afvoer, extreme opzet).



Figuur 3.8 Langsprofielen met de maximale waterstanden op de rivieras voor j19_v2d en j24_v1a, en het verschil tussen j24_v1a en j19_v2d voor scenario **tbd** (extreme afvoer, verhoogde waterstand).



Figuur 3.9 Langsprofilen met de maximale waterstanden op de rivieras voor j19_v2d en j24_v1a, en het verschil tussen j24_v1a en j19_v2d voor scenario **tbe** (zeer hoge afvoer, extreme opzet).



Figuur 3.10 Langsprofilen met de maximale waterstanden op de rivieras voor j19_v2d en j24_v1a, en het verschil tussen j24_v1a en j19_v2d voor scenario **tbf** (hoge afvoer, hoge opzet).

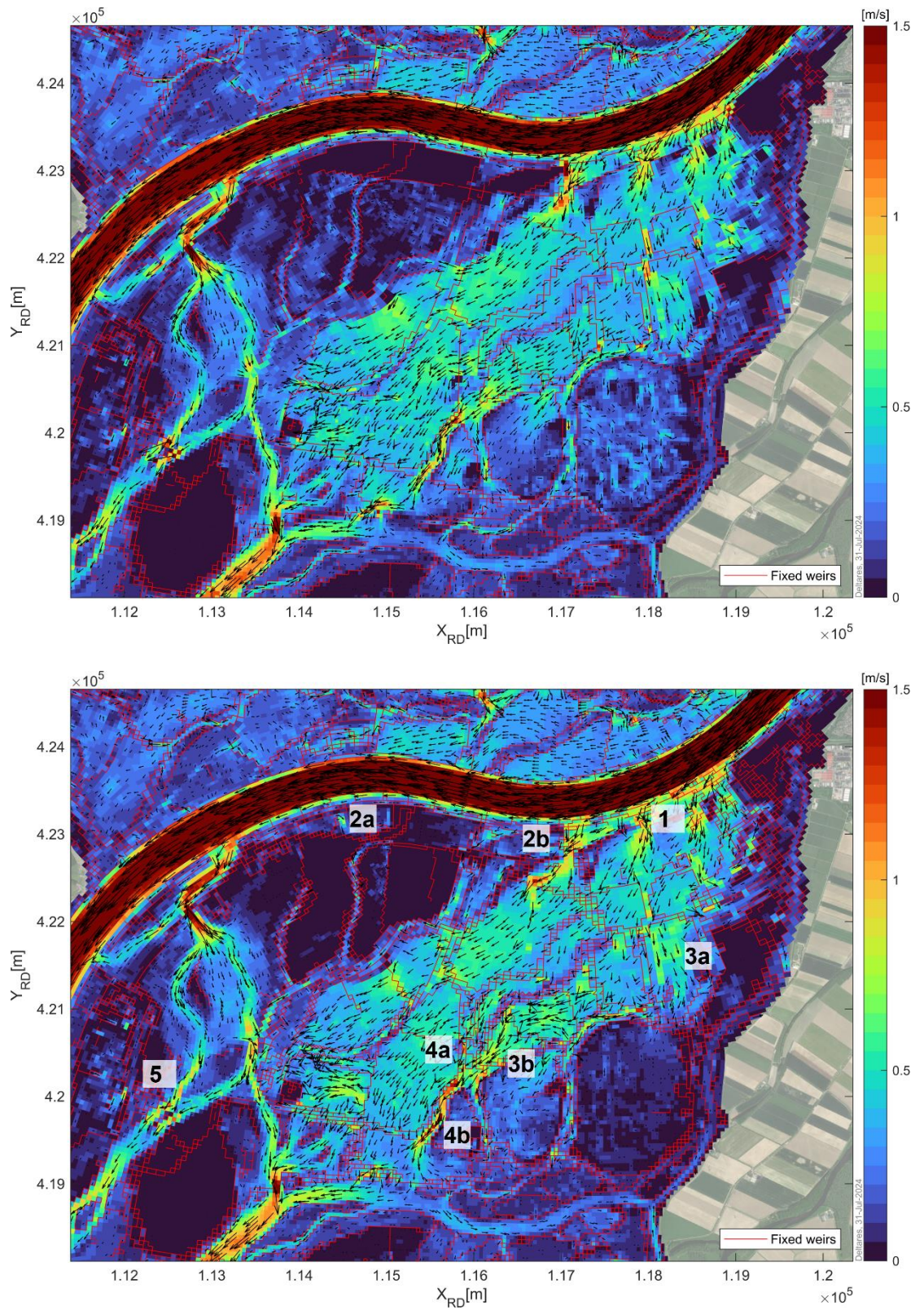
3.4 Stroombeelden Noordwaard Polder (TBA)

Door de actualisatiemaatregel is het aantal fixed weirs toegenomen binnen het model (zie paragraaf 2.2.6). Ook is de bodemligging in vrijwel de volledige Noordwaard Polder gewijzigd. Doordat er relatief veel wijzigingen in de geometrie hebben plaatsgevonden en het gebied een groot areaal beslaat, is het relevant de verandering in stroombeeld te vergelijken. In deze paragraaf worden daarom de maximale stroombeelden voor standaard som tba naast elkaar getoond (Figuur 3.11). Tijdens scenario tba stroomt er relatief veel water door de Noordwaard. De verschillen in stroombeeld zijn naar verwachting kleiner voor de andere scenario's.

Over het algemeen zijn de stroombeelden vergelijkbaar tussen j19_v2d en j24_v1a. De toevoeging van de overlaten en de lokale wijzigingen in bodempunten leidt vooral tot lokale veranderingen in het stroombeeld, maar niet tot een significante verschuiving in de verdeling over de geulen binnen de Noordwaard Polder. In enkele geulen wijzigt de stroomsnelheid, en op diverse plekken verandert de stroomsnelheid juist in de ondiepe delen. Een aantal specifieke bevindingen is genummerd in de onderste afbeelding in Figuur 3.11. Voor deze locaties worden de effecten hieronder kort omschreven.

1. De oriëntatie en geometrie van de 4 openingen in de noordoostelijke zijde van het gebied zijn gewijzigd. Hierdoor verandert het lokale stroombeeld. Over het algemeen nemen de stroomsnelheden wat toe. Met name verandering in stroombeeld ten zuiden van de meest westelijke opening is opvallend. Door de toename in stromingsweerstand langs de dominante stromingsroute in j19_v2d, verandert het lokale stroombeeld en wordt de stroming in westelijke richting gestuurd.
2. Deze delen (2a en 2b) waren droge cellen in j19_v2d. In j24_v1a zijn deze cellen niet langer droog, waardoor er ook stroming plaatsvindt met een snelheid van maximaal 0,5 m/s.
3. Door het toevoegen van extra overlaten langs de oevers van de geulen in het geval van j24_v1a, neemt de weerstand door de geulen toe (3a en 3b). Ook ontstaan er door de grove roosterresolutie trapvormige geulen met één tot twee cellen in breedte, waar de uitlijning en resolutie van het rooster de stroming door deze geulen bemoeilijkt. Hierdoor neemt de stroomsnelheid in enkele geulen af. Deels leidt dit tot een herverdeling van het water binnen de Noordwaard Polder. Dit houdt in dat er ook juist een toename in stroomsnelheid optreedt op diverse locaties, waaronder met name in de ondiepere delen tussen de geulen.

Ten (noord)westen van 3b verandert de stromingsrichting en neemt de stroomsnelheid lokaal toe. Hier is een eerdere fout in de schematisatie van hoogwatervrije lijnen en overlaten hersteld, waardoor de stroming zich lokaal anders verspreidt.
4. In de geul tussen het Gat van den Zalm (4a) en het Gat van de Noorderklip (4b) nemen de stroomsnelheden toe met meer dan 0,3 m/s.
5. Rondom het Biesboschmuseum neemt de stroomsnelheid af. De actualisatie van de Noordwaard Polder leidt tot een herverdeling van het water door het geulensysteem, waardoor er minder water door deze opening wordt geperst en de stroomsnelheden in het j24_v1a-model lager zijn dan in j19_v2d.



Figuur 3.11 Maximaal stroombeeld binnen- en rondom de Noordwaard Polder voor j19_v2d (boven) en j24_v1a (onder) voor standaardssom **tba** (extreme afvoer, normale waterstand)

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Introductie

Dit hoofdstuk bevat de conclusies en aanbevelingen die van toepassing zijn op de actualisatie van het tweedimensionale, hydrodynamische D-HYDRO-model van de Rijn-Maasmonding (RMM) naar **dflowfm2d-rmm-vzm-j24_6-v1a**.

Als basis voor de actualisatie is uitgegaan van het Baselinemodel **Baseline-nl_land-j24_6-v1**. Deze schematisatie bevat onder anderen 6 actualisatiemaatregelen binnen het deelgebied van de Rijn-Maasmonding. Deze maatregelen zijn aangeleverd door Rijkswaterstaat WNZ. Bij de projectie naar D-HYDRO-invoer is gebruik gemaakt van het rekenrooster van de in 2022 gepubliceerde voorganger **dflowfm2d-rmm-vzm-j19_6-v2d**.

Daarnaast zijn verschillende handmatige wijzigingen toegepast binnen de modelinstellingen, zoals het toevoegen van zoutriolen, het aanpassen van de werking van de Volkeraksluizen (ten behoeve van modelstabiliteit), het afstellen van de instellingen voor de modeluitvoer en het wijzigen van mdu-keywords om diagnostisch rekenen (net als in **je19_v2d**) met de nieuwste D-HYDRO-versie mogelijk te maken.

De conclusies en aanbevelingen volgen in de volgende respectievelijke hoofdstukken.

4.2 Conclusies

Het tweedimensionale hydrodynamische RMM-model is geactualiseerd. De resultaten van het geactualiseerde model zijn vergeleken met de resultaten van voorganger **dflowfm2d-rmm-vzm-j19_6-v2d**. Ten behoeve van deze vergelijking zijn de zes standaardsommen uitgevoerd waarbinnen wordt gevarieerd in rivierafvoer, meteorologische condities en de toestand van de Maeslant-, Hartelkering en Volkeraksluizen.

Binnen deze studie is bevonden dat simulaties, gebruikmakend van D-HYDRO-versie 2024.03, betere stabiliteit vertonen dan bij het gebruik van eerdere D-HYDRO-versies waarmee werd gerekend. Daarnaast biedt de nieuwe release mogelijkheden om de bestandsgrootte van de modeluitvoer te beperken, met behoud van voldoende temporele uitvoerresolutie.

De verschillen in waterstanden tussen **j19_v2d** en **j24_v1a** zijn toe te wijzen aan de verschillen in schematisatie en de daarbij horende wisselwerking met het rekenrooster. Vooral door de actualisatie van de Noordwaard Polder, de interactie met het Volkerak-Zoommeer en de actualisatie van de bathymetrie rondom de Haringvlietsluizen en van de Voordelta verschillen de waterstanden in de orde van centimeters tussen de modellen.

Het grootste verschil in gemodelleerde **maximale waterstand op de LMW-stations** is voor standaardsommen **tba**, **tbb**, **tbc** kleiner dan 5 cm. Omdat de Volkeraksluizen dicht staan voor deze scenario's, is dit effect vooral te wijten aan de actualisatie van de bathymetrie in de Voordelta en rondom de Haringvlietsluizen en (in mindere mate) de actualisatie van de Noordwaard Polder.

Voor scenario's **tbd**, **tbe** en **tbf** (waarbij de keringen sluiten en de Volkeraksluizen openen) is de maximale waterstand op de LMW-stations over het algemeen groter (maximaal 7 cm).

Deze grotere afwijking in waterstanden ten opzichte van scenario's tba, tbb en tbc is waarschijnlijk grotendeels het resultaat van de wijziging in instellingen van de Volkeraksluizen ten opzichte van dflowfm2d-rmm-vzm-j19_6-v2d, waardoor er onder extreme condities relatief minder water het Volkerak instroomt. Dit heeft een merkbare invloed op de maximale waterstanden in het hele model. Testberekeningen bevestigen dat dit resulteert in één tot enkele centimeters overschatting van de maximale waterstanden ten opzichte van de situatie waarin alle vier Volkeraksluizen (met een breedte van 30 m) naar behoren functioneren.

Minimale waterstanden op de LMW-stations langs de trajecten bovenstrooms van de Haringvlietsluizen nemen met enkele centimeters toe. Dit is het gevolg van de wijziging in bathymetrie van de Voordelta, waardoor het verval over de sluizen en de afvoer die het Haringvliet door de sluizen verlaat afneemt.

Voor standaardsommen tba, tbb en tbc zijn de verschillen in **maximale waterstanden op de rivieras** over het algemeen niet groter dan enkele centimeters, en lokaal maximaal 5 – 6 cm. Dit effect is vooral het resultaat van de verandering in spuidebiet door de Haringvlietsluizen. Standaardsommen tbd, tbe en tbf tonen grotere verschillen met lokale maxima van 7 – 8 cm. Het feit dat voor deze scenario's een groter verschil wordt waargenomen is ook het resultaat van de werking van de Volkeraksluizen die, op het moment van optreden van de maximale waterstanden, minder water afvoeren richting het Volkerak-Zoommeer dan in dflowfm2d-rmm-vzm-j19_6-v2d. Het verschil in maximale waterstanden neemt stroomopwaarts af, wat het gevolg is van een stuwkromme-effect, dat uitdooft in bovenstroomse richting.

4.3 Aanbevelingen

Gedurende de actualisatie van het RMM-model kwamen enkele zaken naar voren die bij een volgende actualisatie aandacht vereisen. Daarom wordt in deze paragraaf een aantal aanbevelingen gedaan.

In paragraaf 2.3.2 is uitgebreid ingegaan op de projectie van de overlaten rondom de **Volkeraksluizen** op het rekenrooster, en hoe deze diens werking beïnvloeden. Daarom is het essentieel in het vervolg **roosteroptimalisaties door te voeren rondom de Volkeraksluizen**, zodat hier niet langer handmatige aanpassingen vereist zijn. Het wordt geadviseerd om met **vierkante roostercellen te werken in de buurt van beweegbare keringen en sluizen**, enerzijds om ervoor te zorgen dat de gesnapte geometrie minder snel een obstructie vormt voor de stroming, en anderzijds omdat de richting van de stroming door de keringen en sluizen beter wordt gevolgd. Bij een volgende actualisatie moet de breedte van de Volkeraksluizen weer worden verkleind naar 30 m. Daarnaast moet na het verbeteren van het rekenrooster rondom de Haringvlietsluizen worden overwogen of de daadwerkelijke locaties van de zoutriolen kunnen worden gehanteerd.

Ook moet het rekenrooster ter plekke van de **Haringvlietsluizen** worden geoptimaliseerd zodat het rekenrooster de stromingsrichting en de lokale geometrie beter volgt. Het **getijdenesignaal** aan de buitenzijde van de Haringvlietsluizen is **na actualisatie van de Voordelta** aanzienlijk gewijzigd, wat leidt tot een afname in verval over de Haringvlietsluizen op momenten dat de sluizen open staan. De actualisatie van de bodemhoogte van de drempel van de Haringvlietsluizen kan hier ook een rol in spelen. Het wordt aanbevolen het gemodelleerde getijdenesignaal aan de buitenzijde van de Haringvlietsluizen te valideren met historische simulaties.

De mate van detail van de geactualiseerde **Baselineschematisatie van de Noordwaard Polder** worden afgewogen tegen de resolutie van het rekenrooster. Het huidige rooster is namelijk te grof om de hoge mate van detail in de j24 Baselineschematisatie van de Noordwaard Polder goed te kunnen representeren. Hierdoor wordt de stromingsweerstand, met name door de geulen binnen het gebied, onbedoeld verhoogd: de geulen hebben vaak een breedte die overeenkomt met de breedte van één à twee roostercellen, waardoor een trapjespatroon ontstaat in het stroombeeld en overlaten langs de oevers van de geulen zelfs dwars op de oriëntatie van de geul worden geprojecteerd. Een mogelijke oplossingsrichting is roosterverfijning en/of -uitlijning. Hierbij dient opgemerkt te worden dat met meer detail in het rooster de rekentijd kan toenemen. Met name op de locaties van overgangszones tussen roosterresoluties kunnen beperkende rekencellen voor de rekentijd ontstaan. Ook bestaan er reeds verfijnde (deel)modellen voor RMM en de Noordwaard Polder die ingezet kunnen worden om de gedetailleerde stromingsdynamiek in de Noordwaard te modelleren. Een mogelijke andere oplossingsrichting is het schematiseren van de oevers met breuklijnen zodat overlaten niet onbedoeld de stromingsweerstand in het D-HYDRO-model vergroten.

Als uitbreiding op deze aanbeveling is de aanwezigheid van cross-secties van belang zodat de debietverdeling kan worden geanalyseerd. In de huidige schematisatie is de hoeveelheid cross-secties binnen de Noordwaard Polder echter gering. Om inzicht te krijgen in (veranderingen van) de debietverdeling over het geulensysteem, is het daarom waardevol **meer cross-secties** toe te voegen in zowel de Noordwaard Polder als de Nieuwe Merwede.

Door de actualisatie van het havengebied in Rotterdam, volgt het rekenrooster in de havenbekkens op diverse locaties niet langer de oriëntatie van de kademuren. Deze locaties zijn opgenomen in bijlage B. Bij het bestuderen van operationele condities in de havenbekkens is het juist gewenst om een nauwkeurig stromingsbeeld langs de kademuren te krijgen. Hoe beter het rekenrooster de oriëntatie van de kades volgt, hoe beter de kwaliteit van de simulatie. Het kunnen **volgen van de kades met het rooster** was een belangrijke verbetering in de overstap naar D-HYDRO en een duidelijk uitgangspunt in het maken van het rooster. In deze actualisatie is het rooster niet opnieuw uitgelijnd omdat dit mogelijk om een herkalibratie vraagt. Het opstellen van een te volgen aanpak voor wijzigingen in het havengebied is sterk aan te bevelen. Ook geldt de aanbeveling **vast te leggen hoe frequent** een dergelijke actualisatie van de kademuren gewenst is.

Daarnaast hebben tussen de publicatie van dflowfm2d-rmm-vzm-j19_6-v2d en de huidige actualisatie naar dflowfm2d-rmm-vzm-j24_6-v1a wijzigingen plaatsgevonden in het rekenrooster van het Rijntakken- en Maasmodel. Aangezien een deel van het RMM-model overlapt met het rekendomein van deze twee modellen, moet het rekenrooster van het RMM-model ook worden geüpdatet aan de hand van de **meest recente rekenroosters van het Rijntakken- en Maasmodel**. Dat is in deze actualisatie niet voorzien.

Om de berekeningen in de toekomst te versnellen, is het zinvol in een vervolgonderzoek te **analyseren welke rekencellen bepalend zijn voor de rekentijd**. Kleine aanpassingen aan deze cellen kunnen zo tot kortere rekentijden leiden.

Naast de huidige analyses die zijn uitgevoerd als onderdeel van de actualisatie, is het zinvol **in volgende actualisaties de afvoerverdeling te beschouwen**. Deze analyses kunnen worden uitgevoerd op basis van de aanpak zoals toegepast door Berends et al. (2023). We adviseren Key Performance Indicator (KPI) 11 over te nemen, waarvoor enkele sommen van de 54-punten ensembles relevant zijn (De Goederen, 2021). Dit zijn in totaal 9 sommen, waarbij de invloed van wind wordt genegeerd en de afvoerverdeling wordt gecorrigeerd zodat voor de invloed van getij wordt gecompenseerd. Dit leidt tot een analyse van de restdebieten.

We adviseren voor de volgende actualisatie de bestaande **standaardsommen uit te breiden met een extra set scenario's**, elk met een verschillend doel, zoals gepresenteerd in Tabel 4-1. Daarnaast adviseren we om voor de naamgeving van de scenario's de conventie over te nemen zoals deze is gehanteerd bij de actualisatie van het OVD-/IJVD-model (Fujisaki, 2004). Het voorstel van de namen van de bestaande scenario's is ook tussen haakjes opgenomen in Tabel 4-1. De conventie luidt:

<Stationair rivierafvoer [S]><Waalafvoer><U windsnelheid><D windrichting><Keringen open [O] of dicht [D]>

Tabel 4-1 Overzicht van relevante modelscenario's met het doel dat elk scenario dient

Te dienen doel	Gemiddelde rivierafvoer	(Zeer) hoge rivierafvoer	Extreme rivierafvoer
Analyse gemodelleerde waterstanden	tbc (S02049U11D293O)	tbb (S05885U19D293O) tbe (S07379U27D293D) tbf (S05885U22D293D)	tba (S10165U11D293O) tbd (S10165U16D293D)
Analyseren afvoerverdeling (KPI 11)	Nog niet vastgesteld – voorstel: selectie uit 54 punten ensemble van De Goederen (2021)		
Testen modelstabiliteit	BOI run 10 (S08376U32D247D)		
Toetsen beno	Nog niet vastgesteld		
Toepassing vergunningverlening	Nog niet vastgesteld		
Toepassing BOI	BOI run 1 – 13		
Toetsen software	Nog niet vastgesteld		

Wat verder opvalt in het Baselinemodel is dat de **naamgeving van objecten als observatiepunten, bruggen, structures en in de Noordwaard Polder** niet logisch is. Zo bevatten observatiepunten bijvoorbeeld een verwijzing naar de Nieuwe Merwede. Het wordt geadviseerd de naamgeving van de observatiepunten te heroverwegen.

De **locatie van het LMW-station HV_1024.04_R_LMW-H_Hellevoetsluis-g6** moet heroverwogen worden. Door de grove roosterresolutie, in combinatie met de lokale bathymetrie, is de ligging van dit observatiestation ongelukkig waardoor pas bij extreme waterstanden merkbare getijdedynamiek optreedt. Het is raadzaam dit punt buiten de havenkom te positioneren. Een zelfde soort observatie wordt gedaan voor het **observatiepunt AF_243.00**, dat wordt ingesloten door gesnapte fixed weirs en een hoge bodemligging.

5 Referenties

Berends, K. (2023). Toetsing SOBEK 3 model binnen SRS v4.1.3 voor toepassing in BOS Maeslant- en Hartelkering, Deltares rapport. Referentie 11206851-017-DSC-0002

Fujisaki, A. (2024), *Standardsommen IJsselvechtdelta en Overijsselse Vecht*, Deltares rapport. Referentie 11210333-006-ZWS-0013

De Goederen, S. (2021). Randvoorwaardencombinaties voor toetsmodeltesten van het Sobek3 model voor BOS. Rijkswaterstaat Memo

Rijkswaterstaat (2015). Inzetprotocol Waterbeweging Volkerak-Zoommeer, versie 3.4, concept 9, d.d. november 2015

Rijkswaterstaat (2023). Operationeel Watermanagement. Volkerak-Zoommeer. Referentie WVVL0723ZB174M

Van der Kaaij, T. (2021) Stabiliteit/robuustheid RMM D-Hydro model onder extreme condities. Deltares memo. Referentie 11206813-006-ZWS-0010

Van der Wijk, R. (2016). Analyse van modelresultaten SOBEK 3 Rijnmaasmonding : vergelijking met SOBEK-j98 en WAQUA-j15. Delft: Deltares.

Van der Wijk, R., Van der Kraaij, T., Veenstra, J., Visser, T. (2022). Actualisatie van het 2D D-FLOW FM model van de Rijn-Maasmonding. Opzet van gebieds- en modelschematisaties: j19, beno19 en hr2023. Referentie 11208053-004-ZWS-0007

Veenstra, J., van der Kaaij, T., Visser, T., Becker, A., van der Wijk, R. (2022). Ontwikkeling zesde-generatie Rijn-Maasmonding-model. Referentie 11208053-004-ZWS-0003_v0.4.

Visser, T. (2023). Zoutriolen HVSL in SOBEK3d. Referentie 11209233-004-ZWS-0008

Zijlker, T., Veenstra, J., van der Wijk, R. (2023). Prognostisch versus diagnostisch rekenen in RMM2D - analyse van impact prognostisch rekenen op zoutvelden en waterstanden. Referentie 11208053-004-ZWS-0023

A Bijlage 1: Handmatig aangepaste fixed weirs rond spuisluizen Volkerak

De fixed weirs in de buurt van de Volkeraksluizen moeten worden vervangen door de onderstaande regels.

6330_1:type=local_embankment

6 9

86970.5084	411961.8296	4.95	4.61	4.87	3.0	4.0	4.0	0
86966.7321	411958.5525	16.4	16.32	16.32	3.0	4.0	4.0	0
86962.9558	411955.2754	4.95	4.85	4.87	3.0	4.0	4.0	0
86959.1796	411951.9984	4.95	4.87	4.87	3.0	4.0	4.0	0
86955.4031	411948.7213	4.95	4.87	4.87	3.0	4.0	4.0	0
86951.6269	411945.4443	4.95	4.87	4.87	3.0	4.0	4.0	0

6331_1:type=local_embankment

6 9

86946.1602	411990.5502	4.76	4.54	4.68	3.0	4.0	4.0	0
86942.3659	411987.2942	4.76	4.68	4.68	3.0	4.0	4.0	0
86938.5714	411984.038	4.76	4.68	4.68	3.0	4.0	4.0	0
86934.7769	411980.7819	4.76	4.68	4.68	3.0	4.0	4.0	0
86930.9826	411977.5258	21.16	0.28	13.64	3.0	4.0	4.0	0
86927.1881	411974.2697	19.37	19.01	17.82	3.0	4.0	4.0	0

6333_1:type=local_embankment

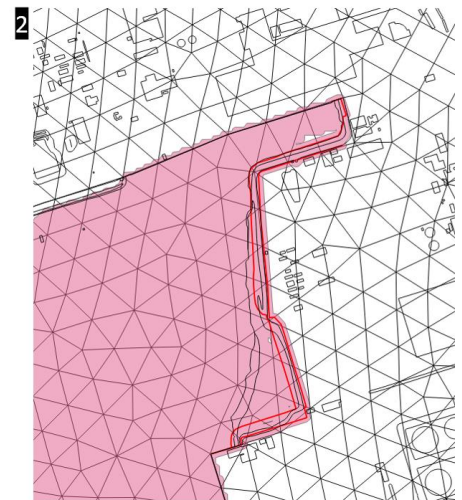
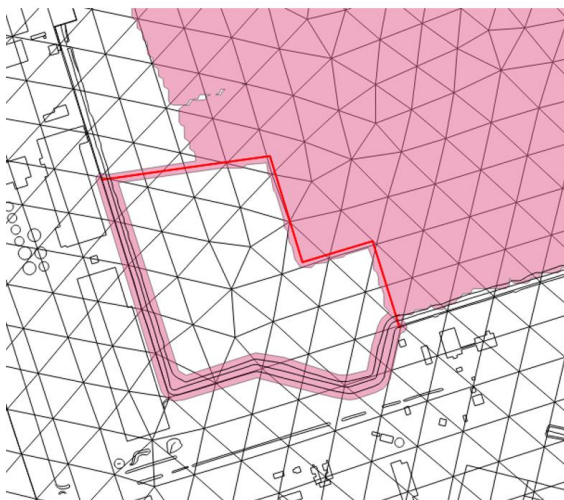
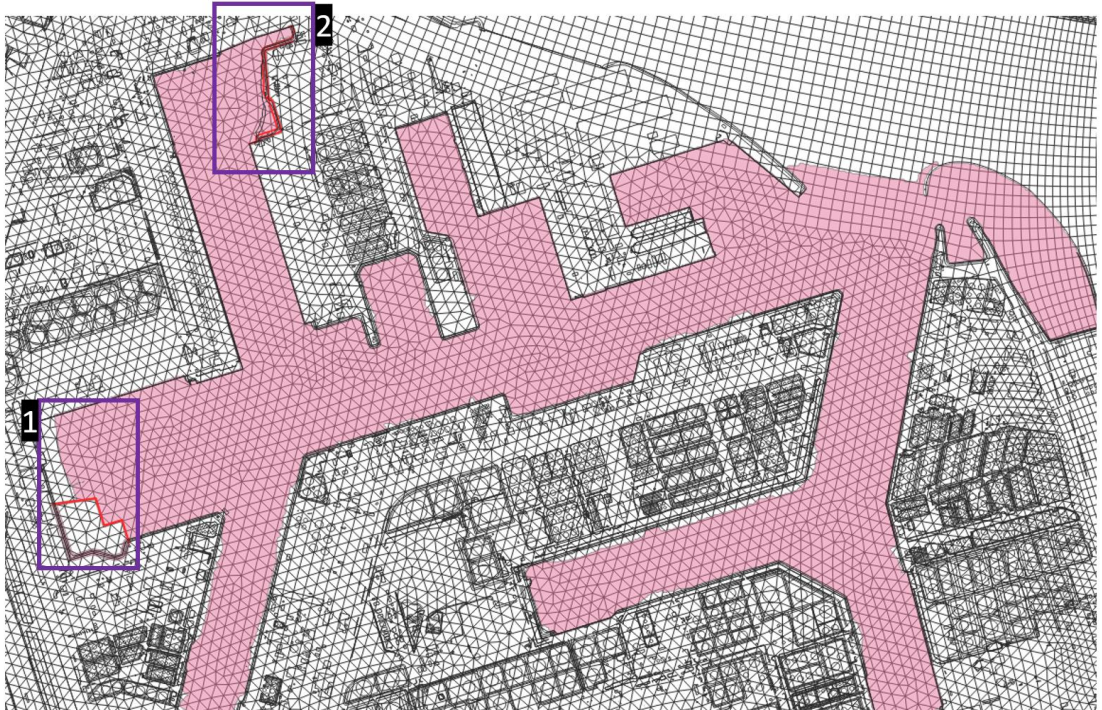
6 9

86921.8525	412019.6924	4.94	4.76	4.86	3.0	4.0	4.0	0
86918.0525	412016.4427	4.94	4.86	4.86	3.0	4.0	4.0	0
86914.2525	412013.1931	4.94	4.86	4.86	3.0	4.0	4.0	0
86910.4526	412009.9436	4.94	3.27	4.86	3.0	4.0	4.0	0
86906.6526	412006.694	18.67	0.0	18.59	3.0	4.0	4.0	0
86902.8527	412003.4444	4.94	4.86	4.86	3.0	4.0	4.0	0

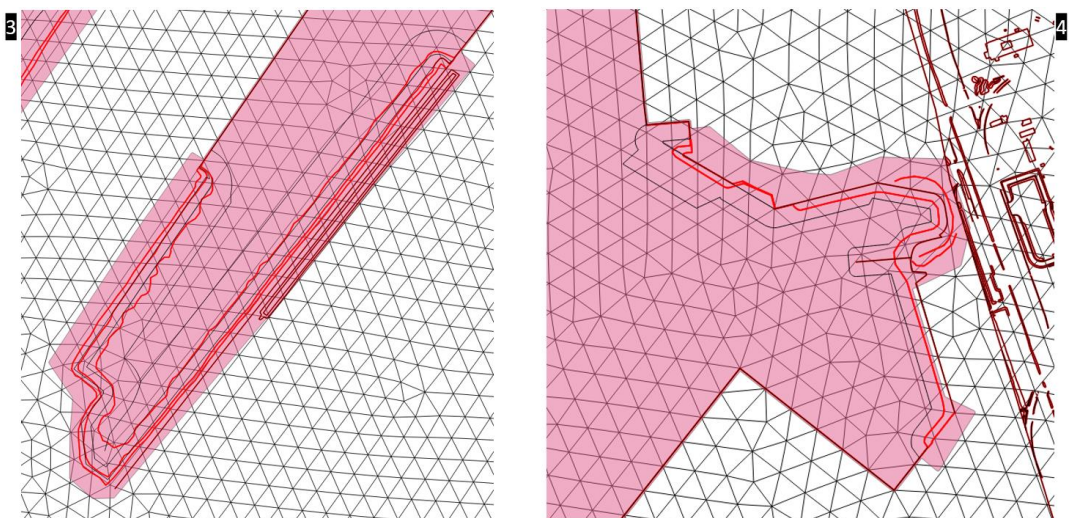
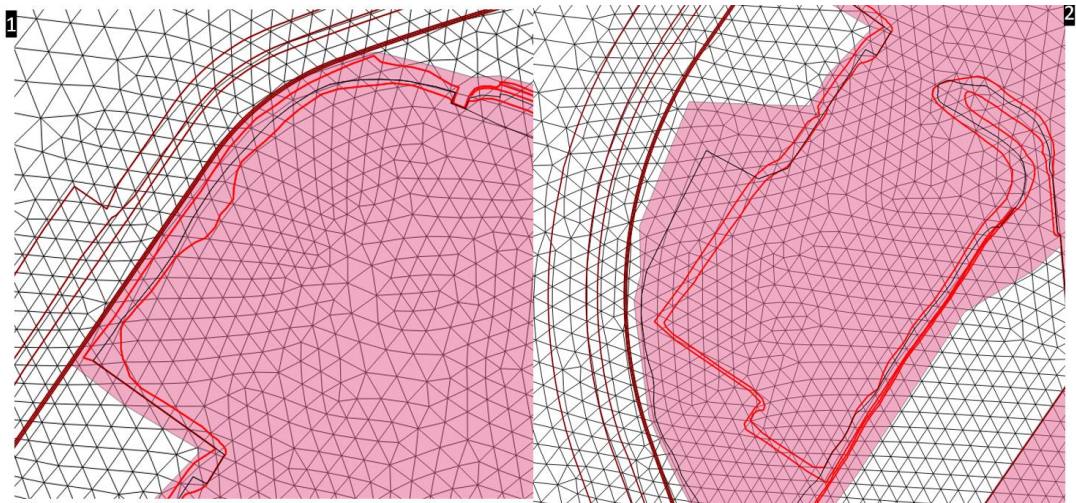
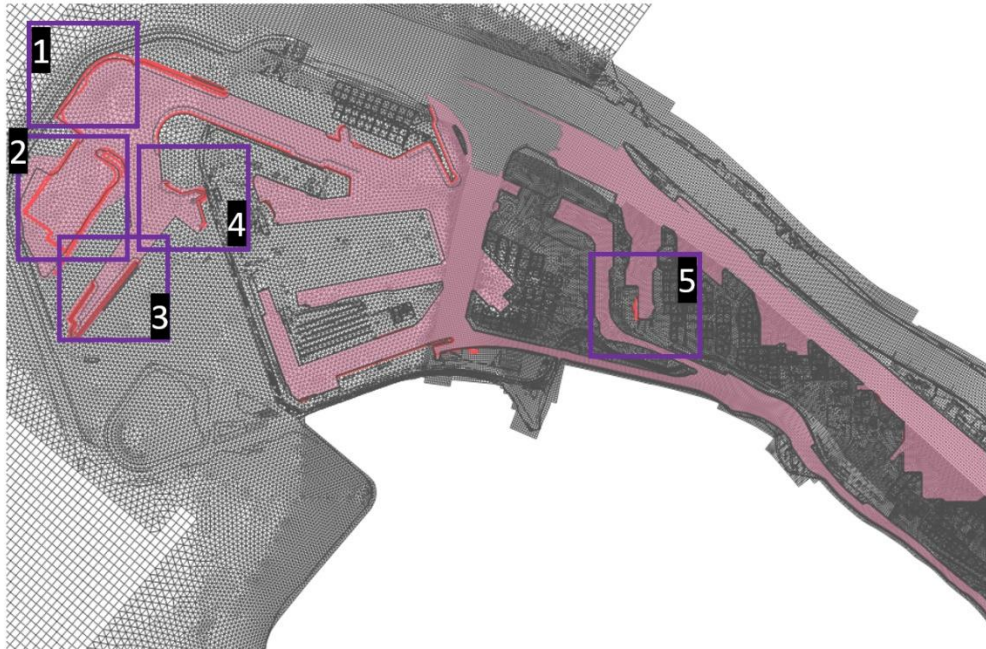
B Bijlage 2: Locaties waar de oriëntatie van het rekenrooster optimalisatie behoeft

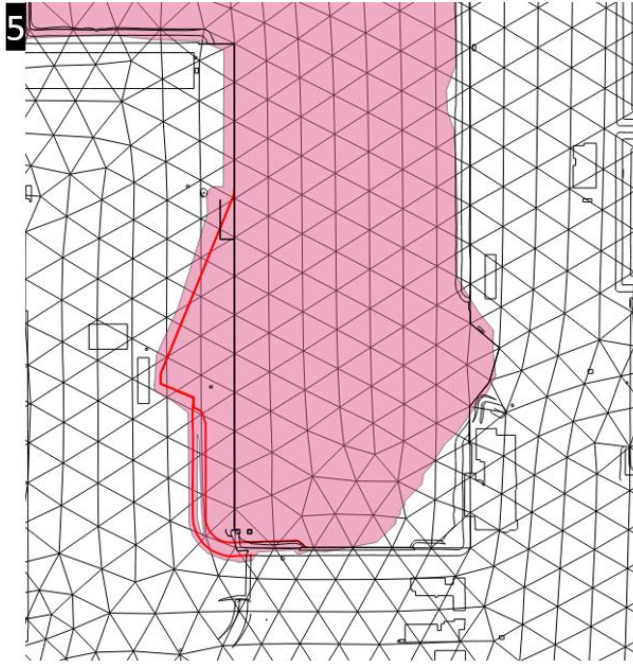
In onderstaande afbeeldingen representeert de rode lijn de nieuwe ligging van de kademuren in het j24_v1a-model en de zwarte lijn de ligging in het j19_v2d-model.

B.1 Ter plaatse van maatregel rm_rdam_geh_a1_j24



B.2 Ter plaatse van maatregel rm_rd_ha23_a1





Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl