

Ontwikkeling modellen ontwerpinstrumentarium Maas

schematisaties maas-oi2023_6-v1 en maas_oi2023_mkno_v_6-v1



Ontwikkeling modellen ontwerpinstrumentarium Maas
schematisaties maas-oi2023_6-v1 en maas_oi2023_mkno_v1

Auteur(s)

Eveline van der Deijl
Ton Visser

Ontwikkeling modellen ontwerpinstrumentarium Maas

schematisaties maas-oi2023_6-v1 en maas_oi2023_mknov_6-v1

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	Martin Scholten
Referenties	Modellen applicaties en data, hydraulica schematisaties zoet
Trefwoorden	Maas, D-HYDRO, Ontwerpinstrumentarium, hoger gelegen gebieden

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	22-02-2024
Projectnummer	11209233-002
Document ID	11209233-002-ZWS-0011
Pagina's	65
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Eveline van der Deijl	
	Ton Visser	

Samenvatting

Aanleiding

Voor het ontwerp instrumentarium (OI; onderdeel van BOI2023) wordt een model ontwikkeld dat de huidige situatie van de Maas (2019) aangevuld met verleende vergunningen, vegetatielegger en toekomstige projecten met status toetst aan het zichtjaar van 2075 en 2125. Het is de wens om te rekenen met een model waarbij er bij extreme afvoeren (6000 m³/s) geen water tegen de modelranden van hoger gelegen gebieden staat.

Methode

De nieuwe OI-Maas-schematisatie is ontwikkeld op basis van het baseline-nl_land-hr2023_6-v1. De enige aanpassingen aan baseline-nl_land-hr2023_6-v1 zijn de uitbreiding van deze Baseline-schematisatie bij 'hoger gelegen gebieden' en het terugplaatsen van een aantal onderdelen als waterkeringen/hoogwater vrije lijnen, die langs de buitengrenzen van de diverse Maasmodelschematisaties waren verdwenen bij het creëren van het Maas 6G model. Naast het oi2023_6-v1-model is ook een model opgebouwd waarin de Maaskeringen als oneindig hoog (**MaasKeringen Niet OVerstroombaar**) worden geschematiseerd, namelijk het oi2023_mknov_6-v1. De Baseline schematisaties zijn omgezet naar D-Hydro modellen om hiermee berekeningen uit te voeren voor een vergelijking met de Maas-hr2023-modellen.

Verskil in waterstand

De verschillen in berekende waterstand zijn het grootst bij een afvoer van 6000 m³/s. Dit is zowel voor de stationaire (max. -28 cm) als de dynamische berekeningen (max. -30cm) het geval in de vergelijking tussen zowel de modellen maas-oi2023_6-v1a en maas-hr2023_6-v1a als tussen de modellen maas-oi2023_mknov_6-v1a en maas-hr2023_mknov_6-v1a.

Voor de dynamische afvoeren lager dan 6000 m³/s ontstaan de grootste verschillen op de Plassenmaas. Voor de dynamische berekening met een afvoer van 4100 m³/s schommelt het verschil rond de -2 cm tot -5 cm, voor S3200 rond de -2 tot -5 cm en voor D2100 is de verlaging tot 0,5 cm. Bij het laagste afvoerniveau (S__50) wordt de sturing van alle stuwen, behalve Linne en Roermond, instabiel. Het was al bekend dat de instellingen van de PID-controllers nog niet geschikt zijn voor deze lage afvoer en deze instellingen zullen worden verbeterd bij een volgende actualisatie.

De grote afname in waterstanden voor afvoeren boven de 4000 m³/s is zoals verwacht, aangezien er bij de tot nu toe gebruikte modelbegrenzing voor afvoeren vanaf 4000 m³/s al water tegen de modelranden aan stond.

Door extra waterberging in de geïnundeerde gebiedsuitbreidingen vindt extra topvervlakking plaats tijdens afvoergolven. Hierdoor is de waterstandsverlaging tussen het oi2023-model en hr2023-model voor de hoogwatergolven nog groter dan in de stationaire sommen met dezelfde maximale afvoer.

Verificatie water tegen de modelranden

Voor OI is het de wens om te rekenen met een model waarbij zelfs bij extreme afvoeren (6000 m³/s) geen water tegen de modelrand staat. Uit de maximale waterdieptes van de afvoergolf van 6000 m³/s van zowel het maas-oi2023_6-v1a als het maas-hr2023_6-v1a blijkt dat het totale gebied dat overstromt toe is genomen door de toevoeging van de hoger gelegen gebieden. Er zijn over het algemeen droge roostercellen langs de randen van de toegevoegde hoger gelegen gebieden aanwezig.

Er zijn echter ook nog steeds locaties waar het water rijkt tot aan de modelgrens. Echter blijkt voor al deze locaties dat of 1) de waterdiepte op deze locaties zeer klein is, of 2) dat het water staat tegen de steile hellingen van nog hoger gelegen gebieden of 3) dat het water staat tegen het talud van snelwegen of spoorwegen of 4) dat het water staat tegen primaire keringen. Een verdere uitbreiding van het modelgebied zal daarom maar zeer beperkte invloed op de berekende waterstanden hebben.

Voor het maas-oi2023_mknov_6-v1a model is gekeken naar de verschillen in inundatie t.o.v. het maas-hr2023_mknov_6-v1a voor de berekening met een stationaire afvoer van 6000 m³/s. Alle gebieden die achter de waterkeringen liggen en die droog bleven in het hr2023_mknov_6-v1a blijven ook droog in het maas-oi2023_mknov_6-v1a.

Door de modeluitbreiding staat er in het oi2023_mknov model minder vaak water tegen de modelranden dan in het hr2023_mknov model. Doordat de keringen niet overstroombaar worden geacht staat het water vergeleken met het oi2023-model over het algemeen tegen de keringen aan. Echter zijn er net zoals in het oi2023 model enkele locaties waar het water nog wel tegen de modelranden rijkt. Dit betreffen over het algemeen dezelfde hoger gelegen gebieden of taluds van snel- en spoorwegen met een groot hoogteverschil op de modelrand.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	8
1.1	Aanleiding en doel	8
1.2	Leeswijzer	8
2	Modelopzet	9
2.1	Baseline	9
2.1.1	baseline-maas-oi2023_6-w1	9
2.1.2	baseline-maas-oi2023_mknov_6-w1	10
2.2	Baseline maatregelen 'hoger gelegen gebieden'	11
2.3	Rekenrooster	13
2.4	D-HYDRO	15
2.5	Software	15
3	Resultaten berekeningen	17
3.1	maas-oi2023_6-w1a versus maas-hr2023_6-v1a	17
3.1.1	Stationaire afvoeren	17
3.1.2	Dynamische afvoeren	27
3.1.3	Verificatie water tegen modelranden	30
3.2	maas-oi2023_mknov_6-w1a versus maas-hr2023_mknov_6-v1a	37
3.2.1	Stationaire afvoeren	37
3.2.2	Dynamische afvoeren	40
3.2.3	Verificatie water tegen modelranden	43
4	Extra verbeter slag	45
4.1	Aanleiding	45
4.2	Modelopzet	45
4.2.1	Baseline	45
4.2.2	D-HYDRO	46
4.2.3	Software	46
4.3	Resultaten	47
4.3.1	Maas-oi2023_6-v1a versus maas-hr2023_6-v1a	47
4.3.2	maas-oi2023_mknov_6-v1a versus maas-hr2023_mknov_6-v1a	48
5	Conclusies	55
5.1	maas-oi2023_6-v1a	55
5.1.1	Stationaire afvoeren	55
5.1.2	Dynamische afvoeren	55
5.2	maas-hr2023_mknov_6-v1	56
5.2.1	Stationaire afvoeren	56

5.2.2	Dynamische afvoeren	56
5.3	Verificatie water tegen de model randen	56
5.3.1	maas-oi2023_6-v1a	56
5.3.2	maas-oi2023_mknov_6-v1	57
6	Aanbevelingen	58
7	Referenties	59
A	Bijlage maatregellijsten baseline	60
A.1	maatregellijst baseline-nl_land-oi2023_6-v1	60
A.2	maatregellijst baseline-maas-oi2023_mknov_6-v1	61
B	Waterstandsverschillen op de rivieras	62
B.1	Verschilanalyse maas-oi2023_6-w1a versus maas-hr2023_6-v1a stationaire berekeningen	62
B.2	Verschilanalyse maas-oi2023_6-w1a versus maas-hr2023_6-v1a dynamische berekeningen	62
B.3	Verschilanalyse maas-oi2023_mknov_6-w1a versus maas-hr2023_mknov_6-v1a stationaire berekeningen	62
B.4	Verschilanalyse maas-oi2023_mknov_6-w1a versus maas-hr2023_mknov_6-v1a dynamische berekeningen	62
B.5	Verschilanalyse maas-oi2023_6-v1a versus maas-hr2023_6-v1a dynamische berekening	63
B.6	Verschilanalyse maas-oi2023_mknov_6-v1a versus maas-hr2023_mknov_6-v1a dynamische berekening	63
C	Kaarten	64

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel

Voor het ontwerp instrumentarium (OI; onderdeel van BOI2023) wordt een model ontwikkeld dat de huidige situatie van de Maas (2019) aangevuld met verleende vergunningen, vegetatielegger en toekomstige projecten met status toetst aan het zichtjaar van 2075 en 2125. In de vijfde generatie heette dit ook wel een HOB-model (Hydraulische Ontwerp Belastingen). Het is de wens om te rekenen met een model waarbij er bij extreme afvoeren (6000 m³/s) geen water tegen de modelrand staat. Deze wens op een uitbreiding bestaat al langer, want in de vijfde generatie modelschematisaties van de Maas bleek al dat er bij afvoeren hoger dan 4000 m³/s water tegen de modelranden aanstond, doordat de modelbegrenzing te klein was gekozen. Voor het OI- model is de uitbreiding extra belangrijk in verband met de verwachting van hogere afvoeren in de toekomst.

Voorliggend rapport beschrijft de opbouw van het OI-model en vergelijkt de resultaten van een aantal standaardberekeningen met de resultaten van modellen zonder de uitbreiding met de hoger gelegen gebieden.

1.2 Leeswijzer

De opbouw van het OI-model is in 2 stappen uitgevoerd. In hoofdstuk 2 is de opzet van het conceptmodel (werkversie w1a) beschreven. De resultaten van de testberekeningen en de vergelijking van de werkversie met het model zonder de uitbreiding met hoger gelegen gronden is voor 5 dynamische en 7 stationaire sommen beschreven in hoofdstuk 3. Na oplevering van deze conceptresultaten is besloten om al de daaruit volgende aanbevelingen uit te voeren en het model extra te verbeteren. De extra verbetering en daarmee de uiteindelijke opbouw van het definitieve OI-model (versie v1a) is beschreven in hoofdstuk 4. De extra verbetering is alleen getest met de hoogste dynamische testsom van 6000 m³/s.

2 Modelopzet

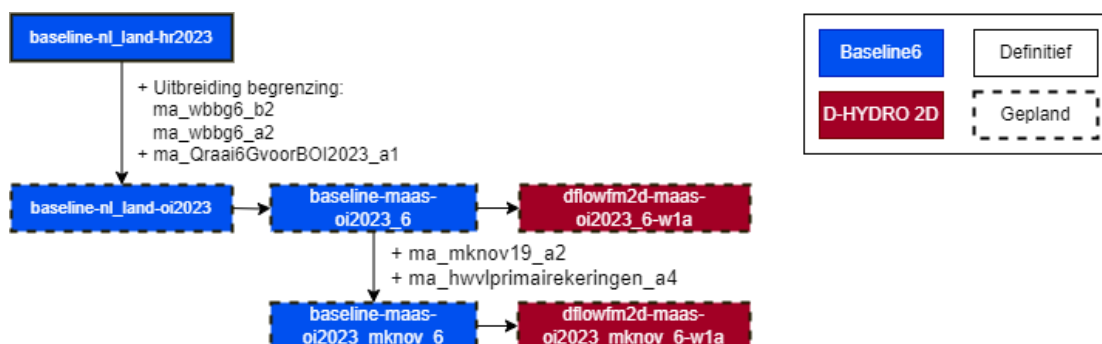
De modellen voor het ontwerp instrumentarium (OI; onderdeel van BOI2023) worden ontwikkeld op basis van de maas-hr2023_6-v1-modellen (Spruyt, A.& T. Visser, 2022). Deze hr2023-modellen beslaan de huidige situatie van de Maas (2019) aangevuld met de verleende vergunningen, vegetatielegger en toekomstige projecten met status. Voor specifiek OI wordt het model uitgebreid met hoger gelegen gebieden en wordt deze situatie getoetst aan het zichtjaar van 2075 en 2125.

In het gebied van de Limburgse Maas liggen veel keringen met een beperkte hoogte, welke onder extreme omstandigheden kunnen overstromen. In de modelschematisaties voor zowel hr2023 als oi2023 worden twee situaties beschouwd:

- 1) Een situatie waarbij de keringen de werkelijke hoogte toegekend krijgen (overstroombare Maaskeringen)
- 2) Een situatie waarbij de keringen oneindig hoog worden verondersteld, namelijk **Maaskeringen niet-overstroombaar** (mknov).

Beide situaties worden ontwikkeld, omdat ten behoeve van de Hydraulische Belastingen voor het bovenstroomse deel van de Maas de keringen meegenomen moeten worden als niet-overstroombaar. Voor het benedenstroomse deel van de Maas dienen de Maaskeringen echter als overstroombaar te worden meegenomen ([De Waal et al., 2013a](#)).

In Figuur 2.1 is in een schema weergegeven hoe de schematisaties voor de maas-oi2023-modellen zijn opgebouwd vanuit de hr2023-modellen. De opbouw wordt uitgewerkt in de volgende paragrafen.



Figuur 2.1 Ontwikkeling oi2023-modellen.

2.1 Baseline

2.1.1 baseline-maas-oi2023_6-w1

De OI-Maas-schematisatie is ontwikkeld op basis van het baseline-nl_land-hr2023_6-v1 ([Spruyt, A.& T. Visser, 2022](#)). De enige aanpassingen aan baseline-nl_land-hr2023_6-v1 zijn de uitbreiding van deze Baseline-schematisatie bij 'hoger gelegen gebieden' en het terugplaatsen van een aantal onderdelen als waterkeringen/hoogwatervrije lijnen, die langs de buitengrenzen van de diverse Maasmodelschematisaties waren verdwenen bij het creëren van het Maas 6G model.

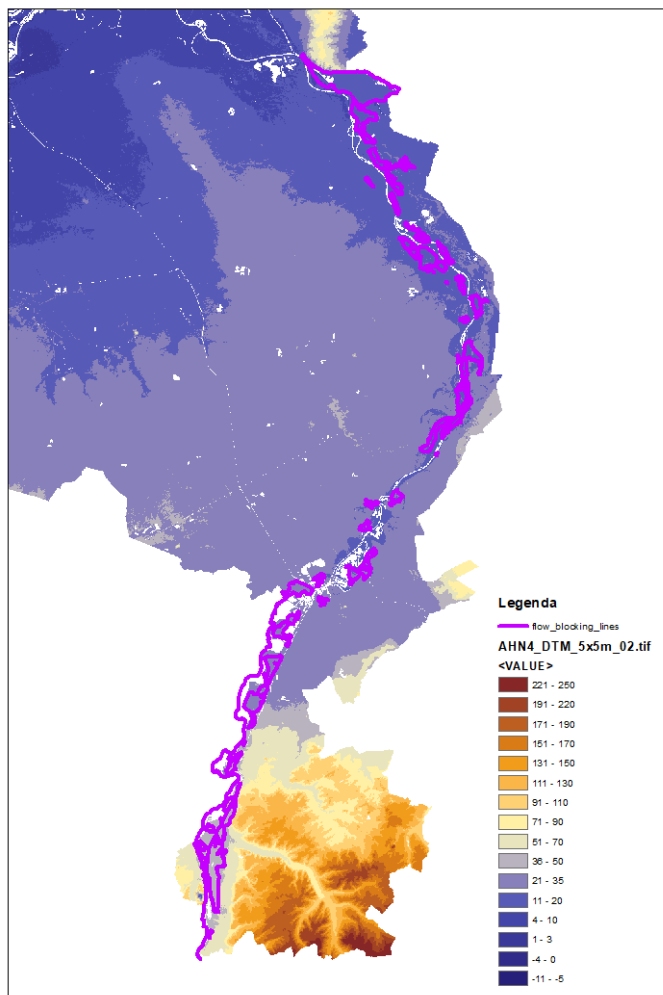
De Baseline-schematisatie bij 'hoger gelegen gebieden' is reeds ontwikkeld in een onderzoek van HKV op basis van referentie Maas-beno19_6-w2 ([Van Lente & Da Silva, 2021](#)). Omdat de referentie van de 2 maatregelen anders is dan waarop ze toegepast moeten gaan worden (baseline-nl_land-hr2023_6-v1) heeft Deltares maatregel ma_wbbg6_b1 aangepast naar ma_wbbg6_b2 en RWS-ZN de maatregel ma_wbbg6_a1 naar ma_wbbg6_a2. Een beschrijving van de 2 maatregelen is opgenomen in de paragraaf 2.2.

Naast de 2 'hoger gelegen gebieden' maatregelen is ook de maatregel ma_Qraai6GvoorBOI2023_a1 ingemixt. Deze maatregel zorgt dat alle cross secties, inclusief die in de uitgebreide gebieden, goed in de schematisatie komen.

De 3 maatregelen zijn ingemixt in baseline-nl_land-hr2023_6-v1 waarmee de schematisatie baseline-nl_land-oi2023_6-v1 is gevormd. De gebruikte maatregellijst voor baseline-nl_land-oi2023_6-v1 is weergegeven in bijlage A.1. Uit baseline-nl_land-oi2023_6-w1 is vervolgens een uitsnede gemaakt voor baseline-maas-oi2023_6-w1.

2.1.2 baseline-maas-oi2023_mknov_6-w1

In baseline-maas-oi2023_6-w1 wordt de mknov-maatregel (ma_mknov19_a2) ingemixt. Deze maatregel zorgt ervoor dat de maaskeringen worden vervangen door oneindig hoge hoogwatervrije lijnen. De locaties van deze hoogwatervrije lijnen zijn zichtbaar in Figuur 2.2.



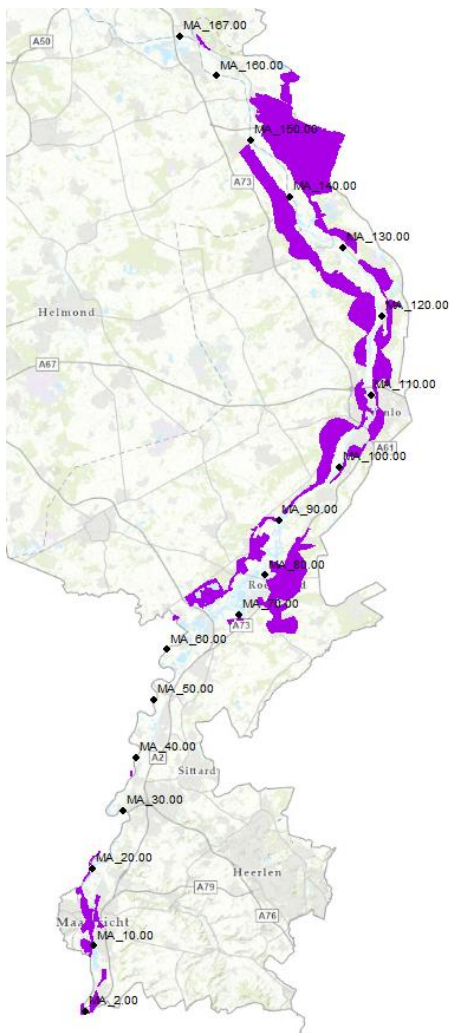
Figuur 2.2 Locaties waar oneindig hoge hoogwatervrije lijnen worden toegevoegd in de Baseline schematisatie door maatregel ma_mknov19_a2

Bij inspectie van testresultaten bleek dat er een hoogwatervrije lijn op de westelijke Juliana kanaaldijk ontbrak welke was gewist door de maatregel ma_wbbg6_b2. Om het gat in de hoogwatervrije lijn weer te dichtten is de maatregel ma_hwvlprimairekeringen_a4 nogmaals ingemixt en ontstaat baseline-maas-oi2023_mknov_6-w1 (bijlage A.2).

2.2 Baseline maatregelen ‘hoger gelegen gebieden’

In de huidige modelschematisaties vormen de keringen en hoger gelegen gebieden de rand van het model, er kan dus geen water over de keringen en over de grens van de hoger gelegen gebieden stromen. Voor de Maas wordt voor de oi-modellen de winterbed-uitbreiding van de Baseline schematisatie bij ‘hoger gelegen gebieden’ gerealiseerd door 2 Baseline maatregelen: ma_wbbg6_b2 en ma_wbbg6_a2.

De maatregel ma_wbbg_b2 verwijdert eerst een aantal keringen en hoogwatervrije lijnen in het winterbed. Vervolgens wordt door de maatregel ma_wbbg6_a2 in totaal ongeveer 200 km² aan gebieden langs de rand van het model toegevoegd. De maatregel beschrijft het beleidsuitgangspunt van het project BOI2023, namelijk: om de brede overstroombare Maasvallei (alleen vanaf Eijsden t/m Mook) beter in de modellen op te nemen, en zo de overstromingsvlakte van de Maas bij zeer hoge Maas afvoeren niet te laten beperken door de grenzen van het rekenmodel (“geen water tegen de modelranden”). Vooral in de Zandmaas tussen Roermond en Venlo worden beekdalen en uiterwaarden toegevoegd aan de gebiedsschematisatie, die bij de zeer hoge BOI afvoeren (tot 6000 m³/s Sint Pieter) onder water kunnen komen te staan ([RWS-ZN, 2022](#)). In Figuur 2.3 is aangegeven waar de maatregel ma_wbbg6_a2 gebieden aan de schematisatie toevoegt en in Figuur 2.4 zijn de modelbegrenzingsen van zowel het hr2023 als het oi2023 model zichtbaar.



Figuur 2.3 Locaties waar aanpassingen in de Baseline schematisatie worden gedaan door de maatregel *ma_wbbg6_a2*

Het overstroomde gebied bij een afvoergolf van 6.000 m³/s vormde de basis voor de bovengenoemde uitbreiding van de Baseline-database. Een aantal delen van de overstroombare gebieden ligt echter in België of Duitsland. De Duitse gebieden (o.a. het Niersdal, een zijrivier van de Maas) zijn door [Van Lente & Da Silva, 2021](#) in overleg met Rijkswaterstaat niet opgenomen in de uitbreiding vanwege de verwachte kleine invloed op de waterstanden en het feit dat het lastig is om gegevens van deze Duitse gebieden te verkrijgen.

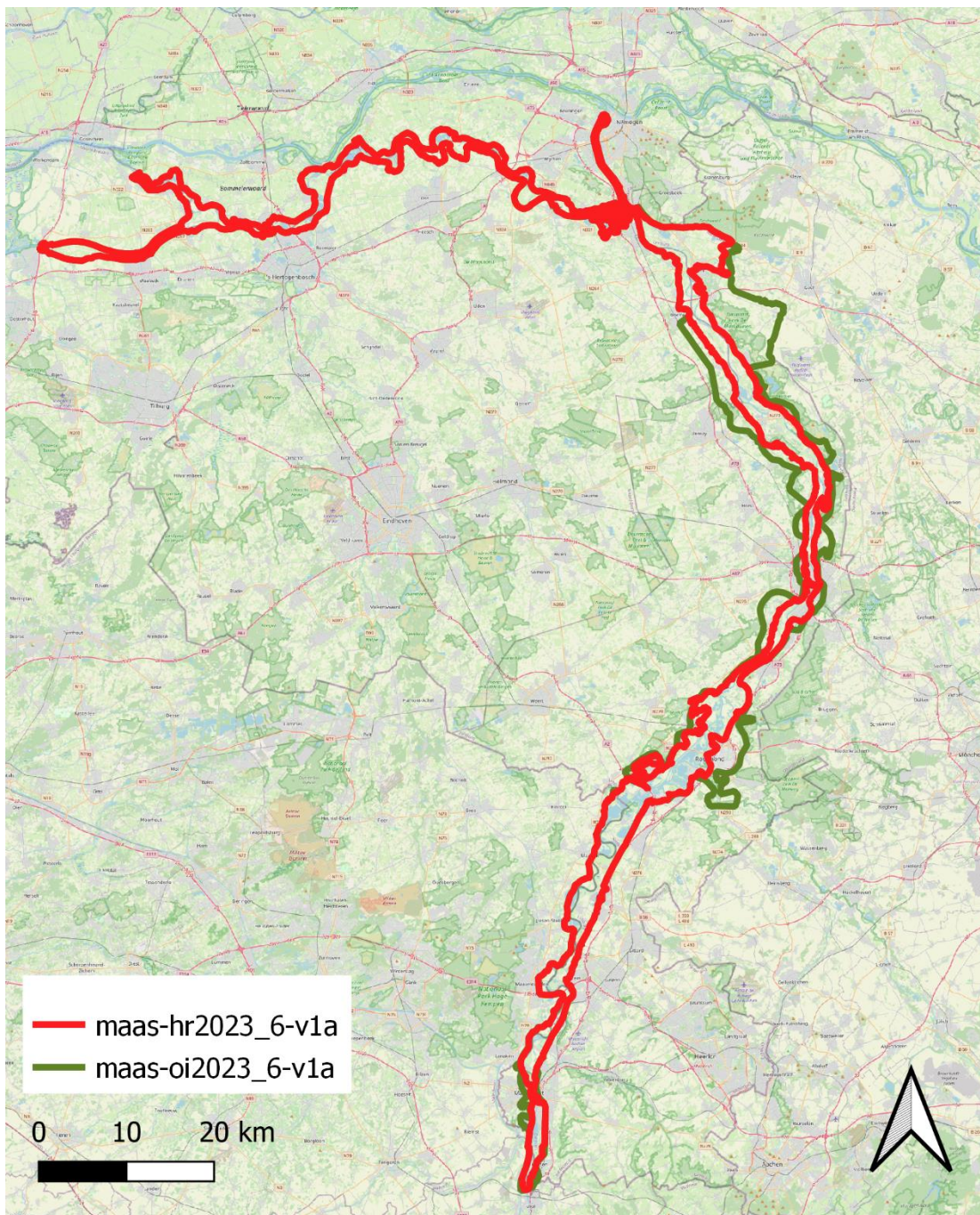
De volgende uitgangspunten zijn afgestemd tussen Modelschematisaties en BOI bij de opbouw van de gebiedsuitbreiding met hoger gelegen gebieden ([Rijkswaterstaat & Deltares, 2022](#)):

- Vlaamse dijken langs de gemeenschappelijke Maas zijn oneindig hoog.
- De westelijke dijk van het Julianakanaal vormt een grens en is oneindig hoog.
- De spoorlijn Maastricht-Luik vormt een grens en is oneindig hoog.
- De Heusdense kering en Bergse Maasdijk zijn oneindig hoog.
- De Kromme Nol kering kan in dichte toestand niet overstroomd.
- De primaire kering tussen Overdiepse polder en het Oude Maasje is oneindig hoog.

2.3 Rekenrooster

Ten behoeve van dit onderzoek is het rekenrooster reeds uitgebreid in 2020 ([Ottevanger & Plieger, 2020](#)). De maximale inundatie voor een afvoergolf van 6000 m³/s heeft als basis gediend voor de uitbreiding van het rooster en de eerder genoemde uitbreiding van de Baseline-schematisatie.

Het rooster (maas_40m_v2020_1.61_net.nc) kan toegepast worden in dit project, maar niet in combinatie met de uitbreiding tot Monsin welke specifiek apart is ontwikkeld voor de toepassing voor het morfologische model van de Maas dat wordt ontwikkeld. Bij toepassing van de combinatie 'hoger gelegen gebieden' en 'uitbreiding Monsin' moeten extra werkzaamheden uitgevoerd worden, welke niet binnen dit project zijn voorzien.



Figuur 2.4 Overzicht van bestaande bereik Maas hr2023-model (rode lijn), en de uitbreiding voor Oi2023 (groene lijn).

2.4 D-HYDRO

De Baseline schematisaties baseline-maas-oi2023_6-w1 en baseline-maas-oi2023_mkno_v2023_6-w1 zijn geconverteerd naar D-HYDRO m.b.v. rooster maas_40m_v2020_1.61_net.nc en model boundary model_boundary_maas_oi_v1 naar respectievelijk dflowfm2d-maas-oi2023_6-v1a en dflowfm2d-maas-oi2023_mkno_v2023_6-w1a.

Voor testberekeningen is gebruik gemaakt van een selectie uit de nieuwe t1-standaardtestsommen met zeespiegelstijging uit [Van der Deijl \(2023\)](#). Deze selectie bestaat uit 5 dynamische en 7 stationaire sommen (zie Tabel 2.1). Deze berekeningen zijn uitgevoerd met zowel hr2023_6 als met oi2023_6. Voor de mkno-modellen is beperkt tot de simulaties met afvoeren groter dan 3000 m³/s (3 dynamisch; 3 stationair).

Op de bovenrand van het model, bij Lixhe, en op de locaties van laterale toestromingen of onttrekkingen, worden afvoertijdseries of constante afvoeren opgelegd. Voor deze test en opbouw van de oi-modellen wordt gewerkt met de huidige QH-relatie met 5 cm zeespiegelstijging van hr2023 bij Keizersveer, namelijk “*Keizersveer_Qh_bnd_j19_zs.bc*” zoals ontwikkeld door [Van der Wijk \(2022\)](#). Oi zal uitgaan van de situatie in 2075 en 2125 en kan later zelf de nieuwe waarden van de QH relaties voor de benedenrand bij Keizersveer voor deze situaties opleggen.

2.5 Software

Voor de Baseline werkzaamheden is gebruik gemaakt van:

- ArcMap 10.6.1
- Baseline 6.3.1

Voor het maken van de standaardberekeningen:

- D-HYDRO Suite 2022.01_patch01

Tabel 2.1 Randvoorwaarden voor de “t1-standaardtestsommen”, S voor stationaire sommen en D voor dynamische sommen.

Naam	Gebruikte regressie RGWM	Situatie	Bovenstroomse randvoorwaarde bij Lixhe (startafvoer) in m ³ /s	Bovenstroomse randvoorwaarde bij Lixhe (max. afvoer) in m ³ /s	Benedenstroomse afvoer bij keizersveer (max. afvoer) in m ³ /s	Initiële condities	Ingespeelde condities
S_50	rgwm-maas-stationair_laag-v1.yml (De Jong et al., 2021)	Stationair	69,86	69,86	116,93	Q_25	S_50
S_250	rgwm-maas-stationair_laag-v1.yml (De Jong et al., 2021)	Stationair	269,10	269,10	355,49	Q_250	S_250
S1300	rgwm-maas-stationair_hoog-v2.yml (Van der Deijl, 2023)	Stationair	1311,37	1311,37	1542,26	Q_250	S1300
S2100	rgwm-maas-stationair_hoog-v2.yml (Van der Deijl, 2023)	Stationair	2100,28	2100,28	2356,62	Q_750	S2100
S3200	rgwm-maas-stationair_hoog-v2.yml (Van der Deijl, 2023)	Stationair	3192,71	3192,71	3537,57	Q1000	S3200
S4100	rgwm-maas-stationair_hoog-v2.yml (Van der Deijl, 2023)	Stationair	4088,55	4088,55	4466,01	Q1250	S4100
S6000	rgwm-maas-stationair_hoog-v2.yml (Van der Deijl, 2023)	Stationair	5980,25	5980,25	6542,25	Q1500	S6000
D1300	rgwm-maas-synthetisch-v1.yml (De Jong et al., 2021)	Dynamisch	250,00	1311,00		Q_250	
D2100	rgwm-maas-synthetisch-v1.yml (De Jong et al., 2021)	Dynamisch	750,00	2108,85		Q_750	
D3200	rgwm-maas-synthetisch-v1.yml (De Jong et al., 2021)	Dynamisch	1000,00	3204,00		Q1000	
D4100	rgwm-maas-synthetisch-v1.yml (De Jong et al., 2021)	Dynamisch	1250,00	4104,00		Q1250	
D6000	rgwm-maas-synthetisch-v1.yml (De Jong et al., 2021)	Dynamisch	1500,00	6003,00		Q1500	

3 Resultaten berekeningen

De volgende berekeningen zijn uitgevoerd en worden met elkaar vergeleken in paragraaf 3.1:

- dflowfm2d-maas-oi2023_6-w1a
- dflowfm2d-maas-hr2023_6-v1a

Daarnaast zijn ook de mknov-versies van deze modellen met elkaar vergeleken, dit wordt beschreven in paragraaf 3.2:

- dflowfm2d-maas-oi2023_mknov_6-w1a
- dflowfm2d-maas-hr2023_mknov_6-v1a

Voor de vergelijking worden de langdoorsneden van de waterstandsverschillen gegeven in de volgende paragrafen. In Bijlage B zijn statistieken voor de meetstations opgenomen.

3.1 maas-oi2023_6-w1a versus maas-hr2023_6-v1a

3.1.1 Stationaire afvoeren

De verschillen in waterstand (last25) op de as van de rivier tussen de D-HYDRO modellen maas-oi2023_6-w1a en maas-hr2023_6-v1a zijn zichtbaar in Figuur 3.1, Figuur 3.2, Figuur 3.3 en Figuur 3.4. Dit betreffen de resultaten van de stationaire berekeningen met een maximale afvoer zoals gegeven in Tabel 2.1. De belangrijkste observaties zijn:

- Bij een stationaire afvoer van 6000 m³/s zijn er tussen rkm. 0 en 18 en rkm. 60 en 164 grote verschillen met als maximum -24 cm. Na rkm. 164 neemt het verschil af van -2 tot 0 cm op de modelrand.
- Vanaf rkm. 69 tot 121 is er voor afvoeren hoger dan 2100 m³/s een structurele verlaging van de waterstand zichtbaar in het OI2023-model. Voor de berekening S4100 schommelt het waterstandsverschil rond de -0,2 cm, voor S3200 rond de -0,3 tot -0,5 cm en voor S4100 is het verschil maximaal -3 cm.
- Voor de berekeningen S50 t/m S3200 zijn er over de meeste trajecten minimale verschillen.

Bij het laagste afvoerniveau (S__50) wordt de sturing van alle stuwen, behalve Linne en Roermond, instabiel. Het was al bekend dat de instellingen van de PID-controllers nog niet geschikt zijn voor deze lage afvoer en deze instellingen zullen worden verbeterd ([Fujisaki et al., 2023](#) & [van den Hoek en van der Deijl, 2023](#)). Door het faseverschil in de schommelingen in de stuwsturing tussen het oi2023_6-w1a en hr2023_6-v1a model is er een onregelmatig waterstandsverschil in de orde van -1 tot 0,5 cm zichtbaar.

In de S_250-berekening wordt ook stuw Borgharen instabiel waardoor er rondom de stuw een waterstandsverschil van maximaal 0,5 cm ontstaat. Langs de rest van de Maas is het verschil voor deze afvoer miniem met een maximum van 0,05 cm.

Voor de stationaire afvoer van 1300 m³/s ontstaan de eerste verschillen in waterstand door de uitbreiding van de modelgrens. De verschillen zijn voor deze afvoer echter maar klein en bedragen tot rkm. 150 maximaal 0,1 cm op de rivieras.

De waterstand ligt over het algemeen lager in het oi2023 model, vooral bovenstrooms van de locaties waar de modelbegrenzing is uitgebreid en het doorstroomprofiel is toegenomen. Net benedenstrooms van dit soort gebieden met inundatie van modeluitbreidingen is juist lokaal een kleine verhoging van de waterstand zichtbaar omdat het doorstroomprofiel dan lokaal afneemt. De stationaire simulaties met afvoeren van 2100, 3200, 4100 en 6000 m³/s laten over het algemeen op dezelfde locaties veranderingen in het waterstandsverschil zien. Hoe hoger de afvoer hoe groter het extra gebied dat overstroomt en hoe lager de bovenstroomse waterstand in het oi2023-model vergeleken met het hr2023-model.

In de kaartbeelden is zichtbaar dat de waterstand in de Boschmolenplas en De Lange Vlieter ter hoogte van rkm. 68 ongeveer 30 cm afneemt voor afvoeren tot 3200 m³/s (zie o.a. Figuur 3.5). Dit komt doordat de initiële waterstanden voor de oi2023-modellen direct zijn overgenomen van de hr2023-modellen en niet opnieuw zijn afgeleid, omdat er alleen hoger gelegen gebieden werden toegevoegd. Er is echter voor deze lagere afvoeren nog geen verbinding tussen deze plassen en de Maas, terwijl het totale volume van de plassen langs de randen is toegenomen door de modeluitbreidingen, hierdoor is de waterstand in de oi-2023 modellen na enkele tijdstappen al lager dan in de hr2023-modellen.

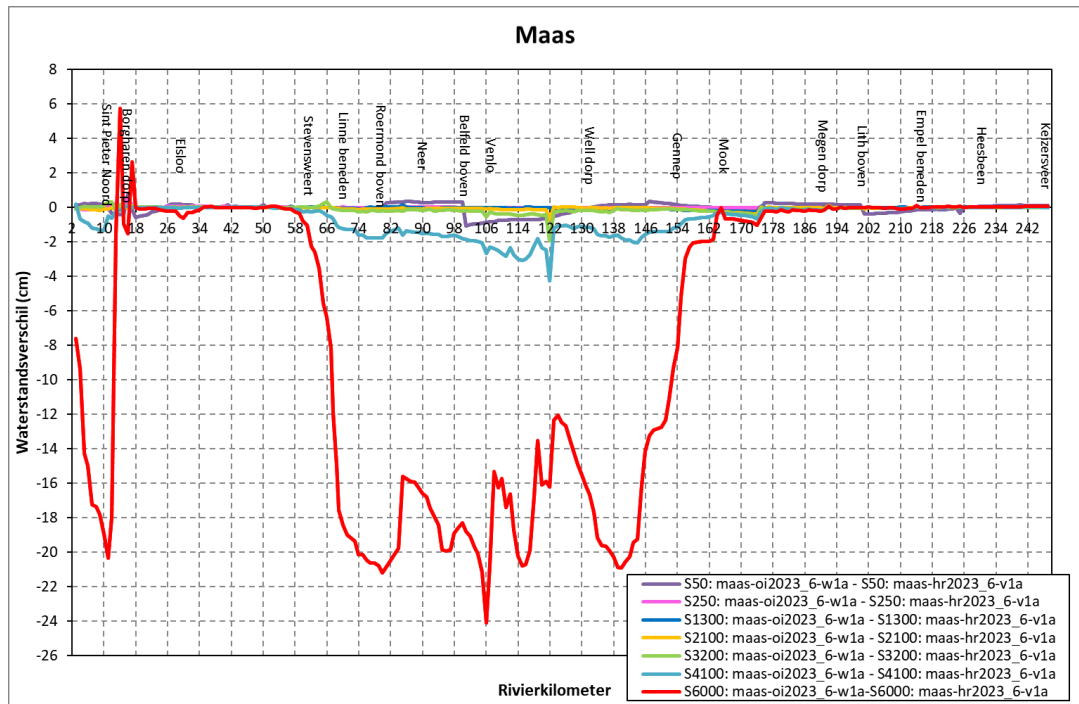
Vanaf rkm. 69 tot 123 is er voor afvoeren hoger dan 2100 m³/s een structurele verlaging van de waterstand zichtbaar in het oi2023-model. Voor S2100 is de verlaging in de orde van 0,1 tot lokaal bij rkm. 122 1,5 cm. De verlaging betreft ongeveer 0,2 tot 2,5 cm (bij rkm. 122) voor S3200, gemiddeld 1,5 tot 4 cm (bij rkm. 122) voor S4100 en maximaal 24 cm voor S6000. De grote verlaging van de waterstand vanaf afvoeren hoger dan 4100 m³/s is zoals vooraf verwacht, aangezien er bij deze afvoeren al bekend was dat er water tegen de modelranden aan stond. Er is echter vanaf de afvoer van 3200 m³/s in de inundatiekaarten al duidelijk zichtbaar dat er in het oi2023-model langs een groot deel van de voormalige modelranden extra gebieden overstroomden (zie Figuur 3.7).

Bij rkm. 122 is voor afvoeren hoger dan 1300 m³/s een plotselinge lokale verlaging in de waterstand zichtbaar. Dit komt omdat de oorspronkelijke modelrand hier dicht langs de buitenbocht van het zomerbed lag (zie Figuur 3.7). Vanaf rkm. 123 is vooral voor afvoeren hoger dan 3200 m³/s nog steeds een verlaging in waterstand zichtbaar. De verlaging is echter minder groot doordat de oorspronkelijke modelbegrenzing op dit traject al ver van het zomerbed ligt en er oorspronkelijk al weinig water tegen de modelranden aan stond. Pas vanaf afvoeren hoger dan 4100 m³/s komt de inundatie verder dan de oorspronkelijke modelbegrenzing waardoor de verlaging in waterstand maximaal 2 cm en 21 cm bedraagt voor de stationaire afvoeren van 4100 en 6000 m³/s. Bij rkm. 163 neemt het waterstandsverschil voor de afvoer van 6000 m³/s sneller af dan voor de afvoer van 4100 m³/s. Dit komt doordat het water bij een stationaire afvoer van 6000 m³/s tegen de primaire keringen aanstaat. Vanaf rkm. 163 heeft geen modeluitbreiding plaatsgevonden waardoor in verhouding het doorstroomprofiel voor de stationaire afvoer van 6000 m³/s sterk af neemt. Richting stuw Grave bij rkm. 175 neemt het verschil af tot maximaal 1,5 cm bij een afvoer van 6000 m³/s. Bij de stuw zelf (rkm. 175) neemt het verschil af en is de waterstand tijdens lage afvoeren ongeveer 0,1 cm hoger.

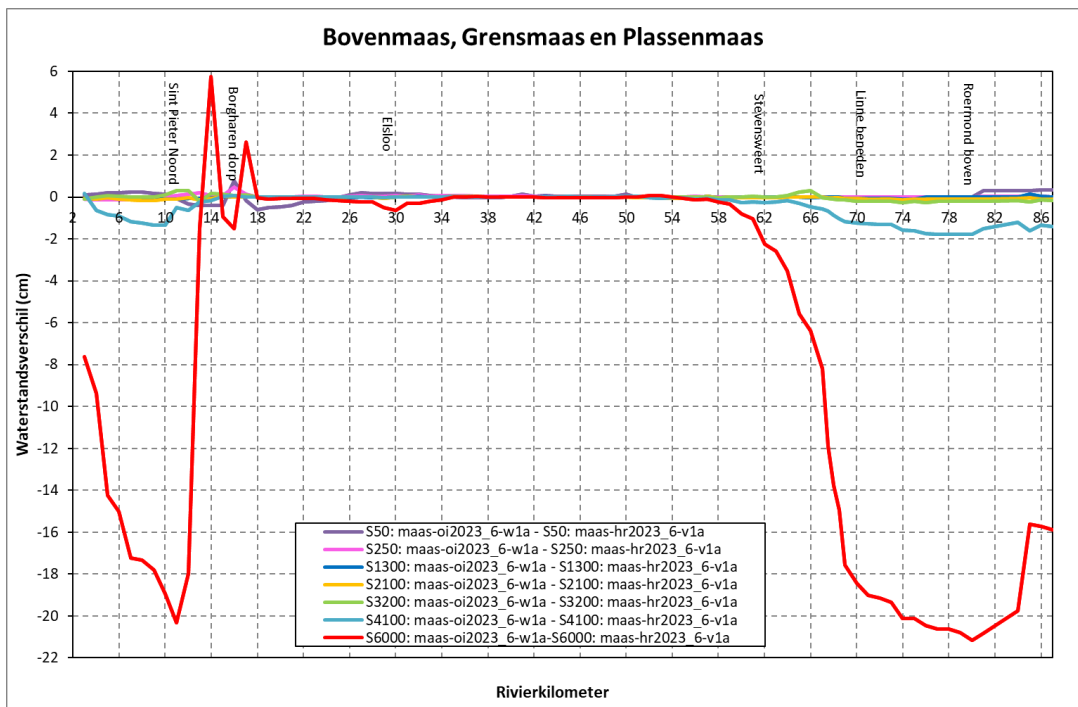
Benedenstrooms van stuw Grave hebben geen veranderingen plaatsgevonden en is het waterstandsverschil 0 voor de stationaire sommen. Enkele variaties in waterstand komen door variaties in het stuwbeheer en of door middeling en afronding van de resultaten.

Opvallend zijn de grote veranderingen in het waterstandsverschil voor de afvoer van 6000 m³/s bij rkm. 14 en 17 (zie Figuur 3.2 en Figuur 3.8). Deze veranderingen ontbreken bij de overige afvoeren.

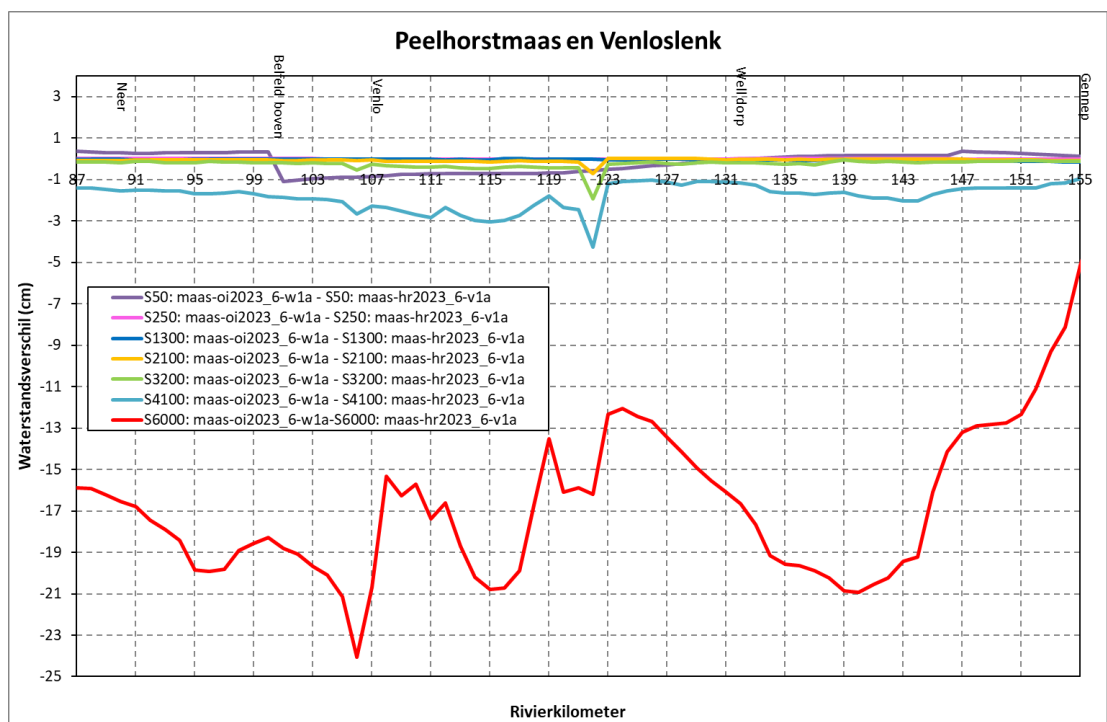
Voor een afvoer van 6000 m³/s vindt al vanaf de bovenstroomse modelrand een grote verlaging van de waterstand in het oi2023 model plaats door de toevoeging van de hoger gelegen gebieden. Ook bij rkm. 14 zijn hoger gelegen gebieden toegevoegd, maar er zijn hier ook diverse nieuwe hoogwatervrije gebieden die nu binnen de modelbegrenzing vallen. Deze gebieden zorgen bij een afvoer van 6000 m³/s voor een relatieve grote lokale vernauwing van het doorstroomprofiel en daarmee voor opstuwing van de waterstand die daardoor in het oi2023-model hoger uitvalt dan in het hr2023-model. Bij rkm. 17 is ook een lokale verhoging van de waterstand zichtbaar, omdat op deze locatie de verbreding van de modelbegrenzing eindigt en het doorstroomoppervlak relatief afneemt (zie Figuur 3.9).



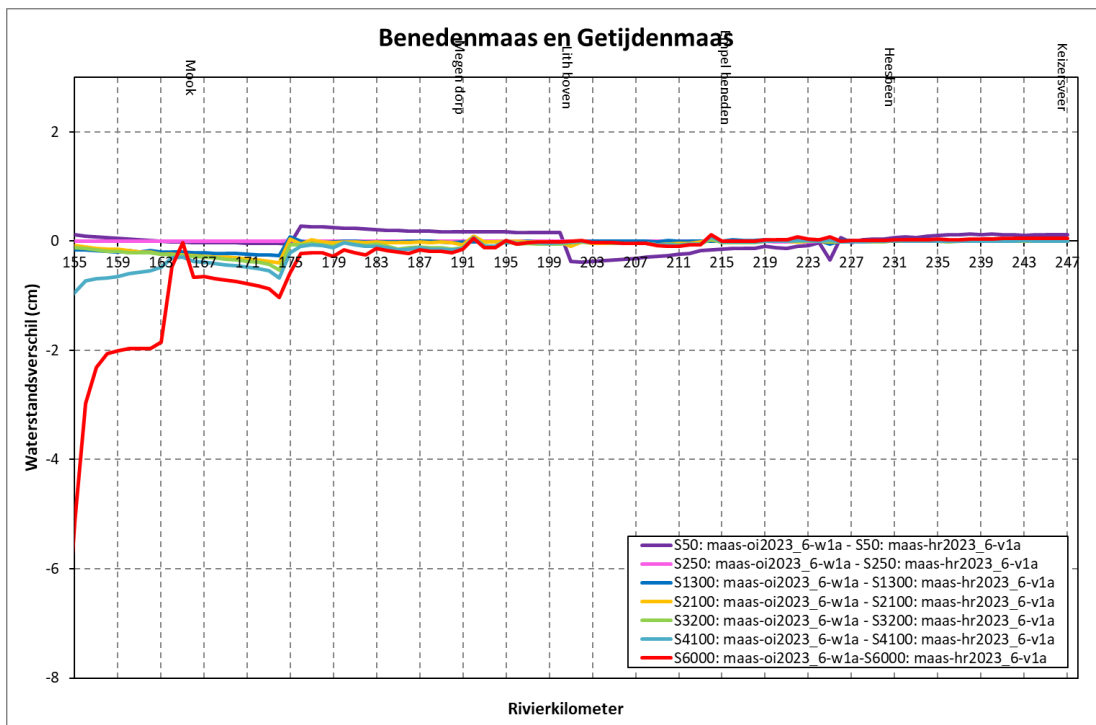
Figuur 3.1 Verschil in waterstand tussen maas-oi2023_6-w1a en maas-hr2023_6-v1a voor de stationaire afvoeren. ($d_{flowm2d-maas-oi2023_6-w1a} - d_{flowm2d-maas-hr2023_6-v1a}$).



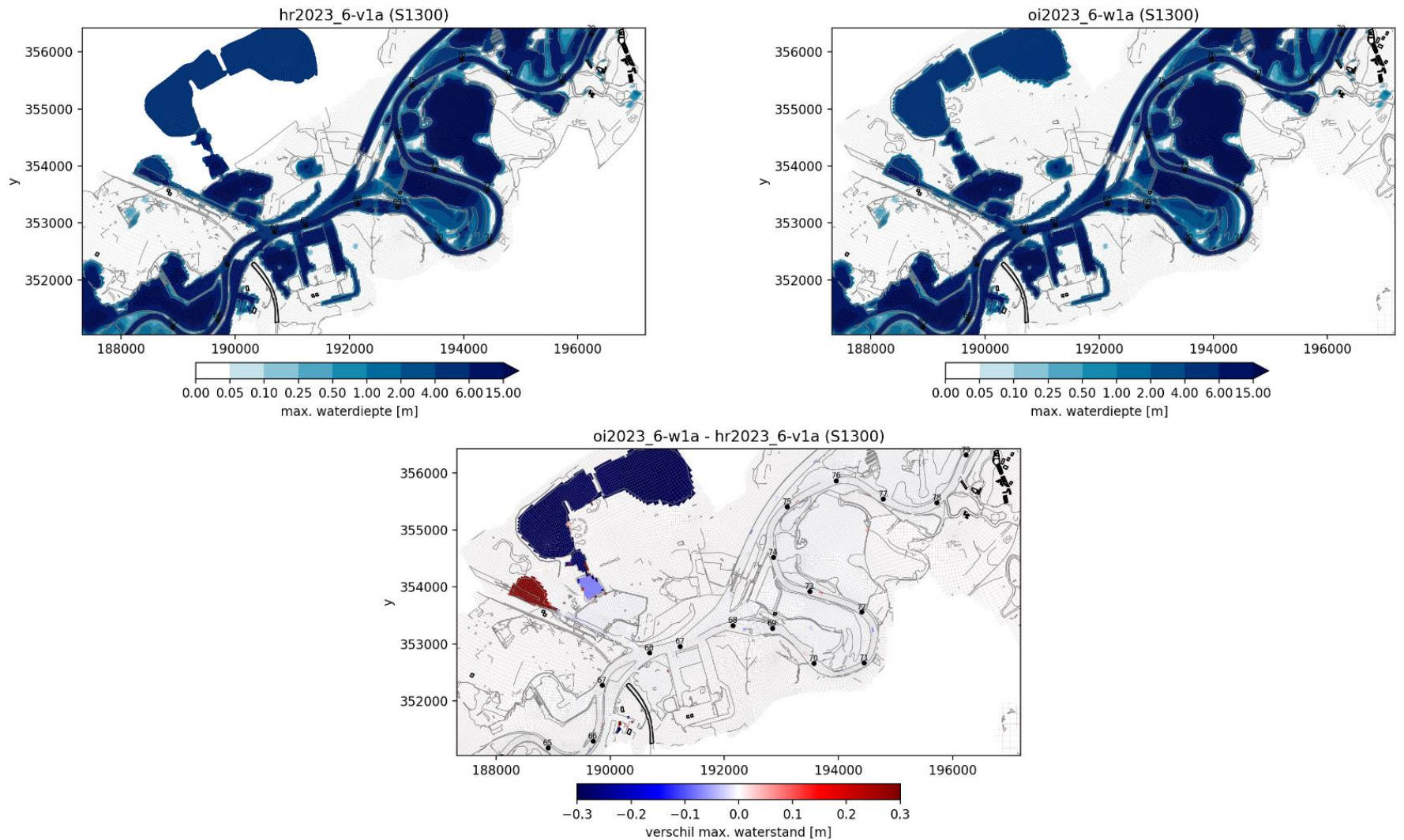
Figuur 3.2 Traject 1: Verschil in waterstand tussen maas-oi2023_6-w1a en maas-hr2023_6-v1a voor de stationaire afvoeren. ($dflowm2d\text{-}maas\text{-}oi2023_6\text{-}w1a - dflowm2d\text{-}maas\text{-}hr2023_6\text{-}v1a$).



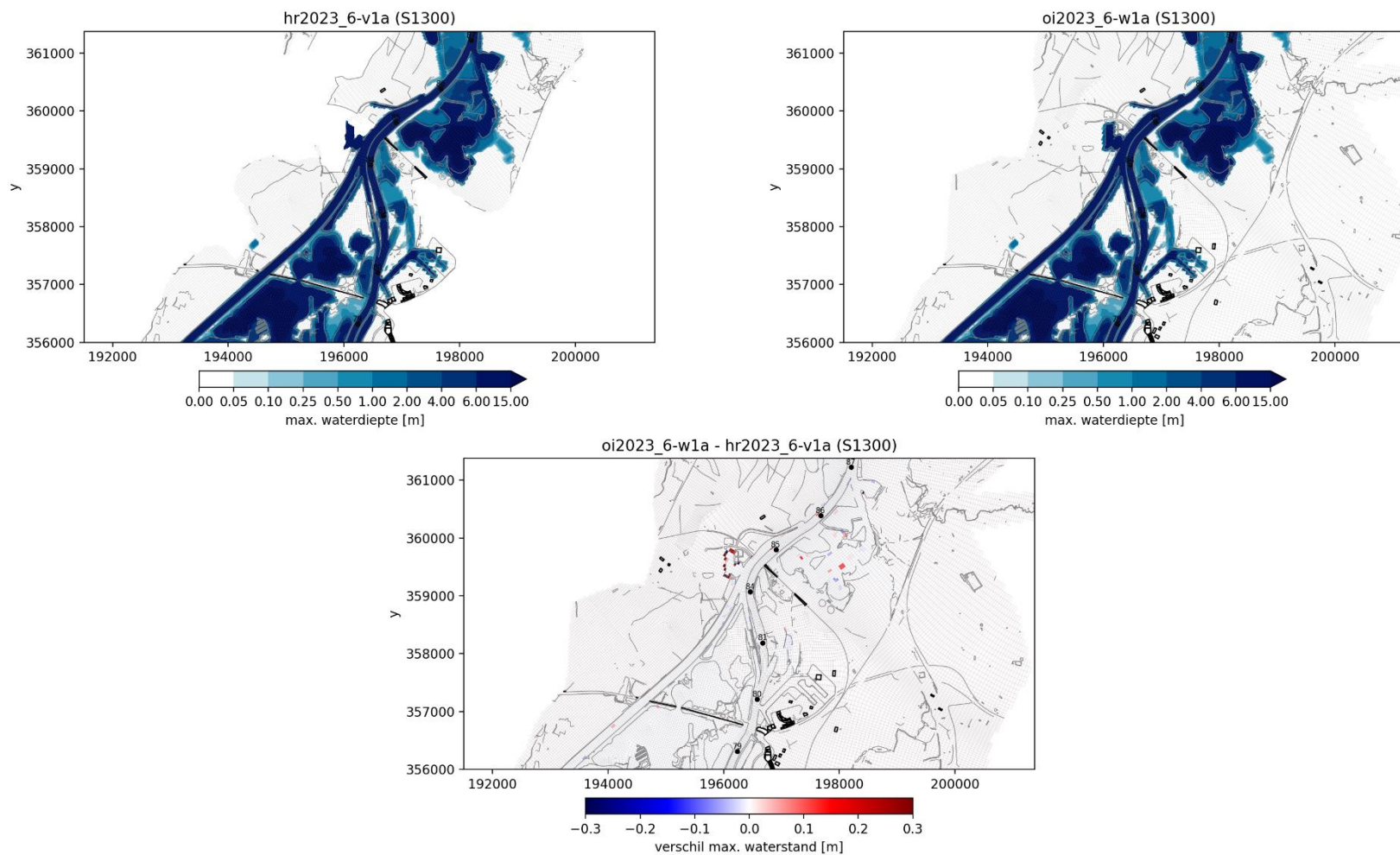
Figuur 3.3 Traject 2: Verschil in waterstand tussen maas-oi2023_6-w1a en maas-hr2023_6-v1a voor de stationaire afvoeren. ($dflowm2d\text{-}maas\text{-}oi2023_6\text{-}w1a - dflowm2d\text{-}maas\text{-}hr2023_6\text{-}v1a$).



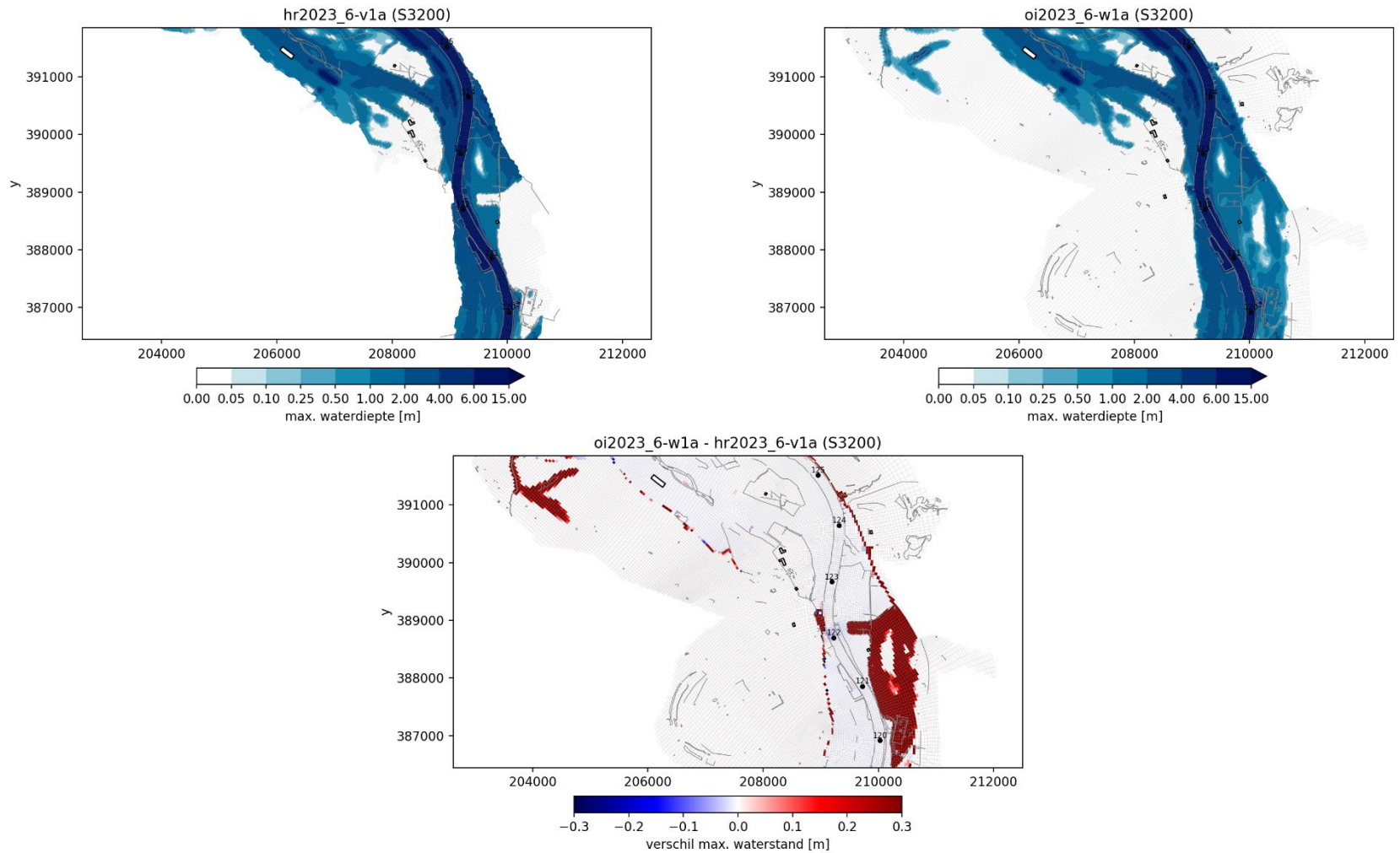
Figuur 3.4 Traject 3: Verschil in waterstand tussen maas-oi2023_6-w1a en maas-hr2023_6-v1a voor de stationaire afvoeren. ($dflowm2d\text{-}maas\text{-}oi2023_6\text{-}w1a - dflowm2d\text{-}maas\text{-}hr2023_6\text{-}v1a$).



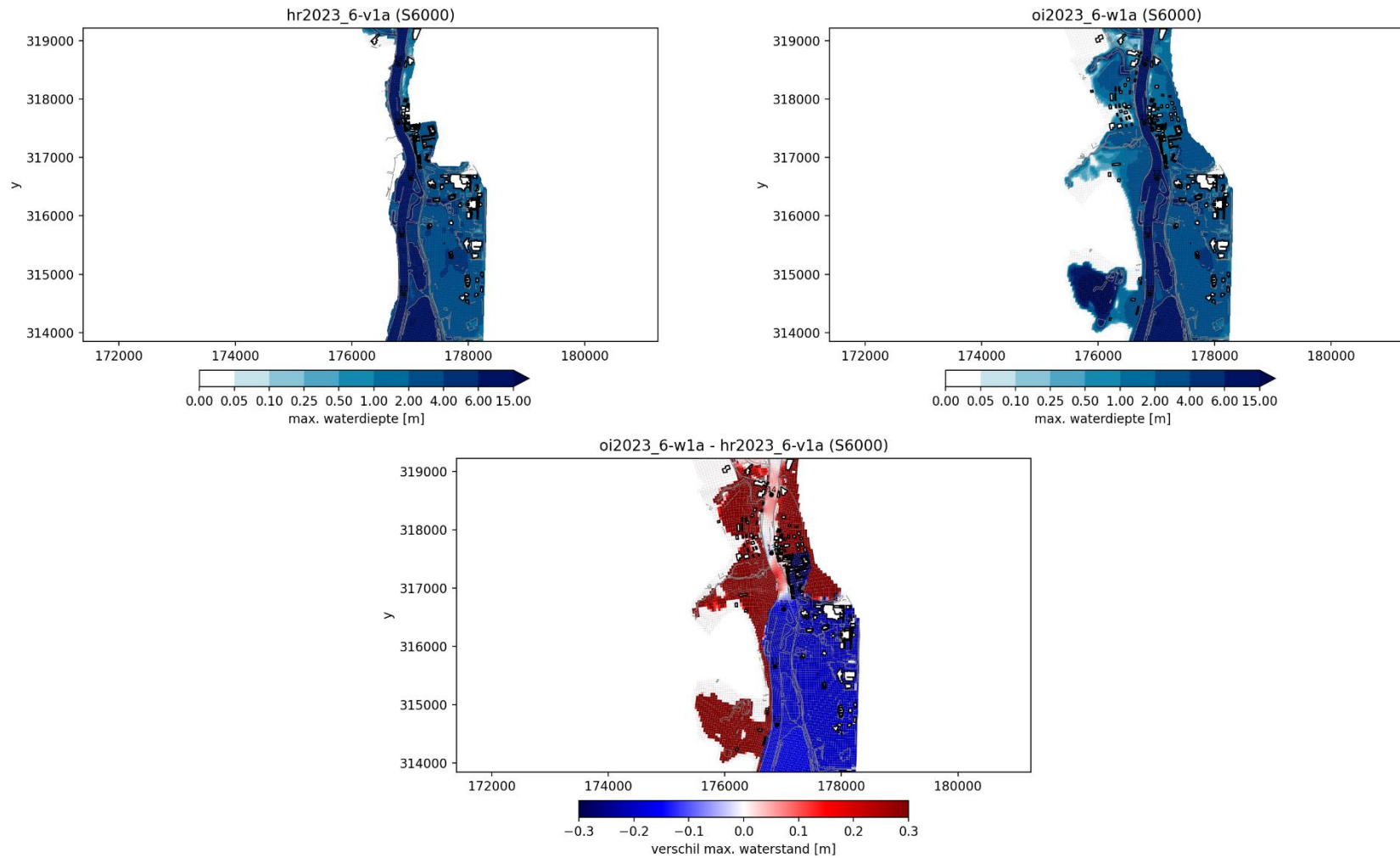
Figuur 3.5 De waterdiepte [m] en het verschil in waterstand tussen rkm. 64 en 79 voor maas-oi2023_6-w1a en maas-hr2023_6-v1a voor de laatste tijdstap van de berekening met de stationaire afvoer van 1300 m³/s.



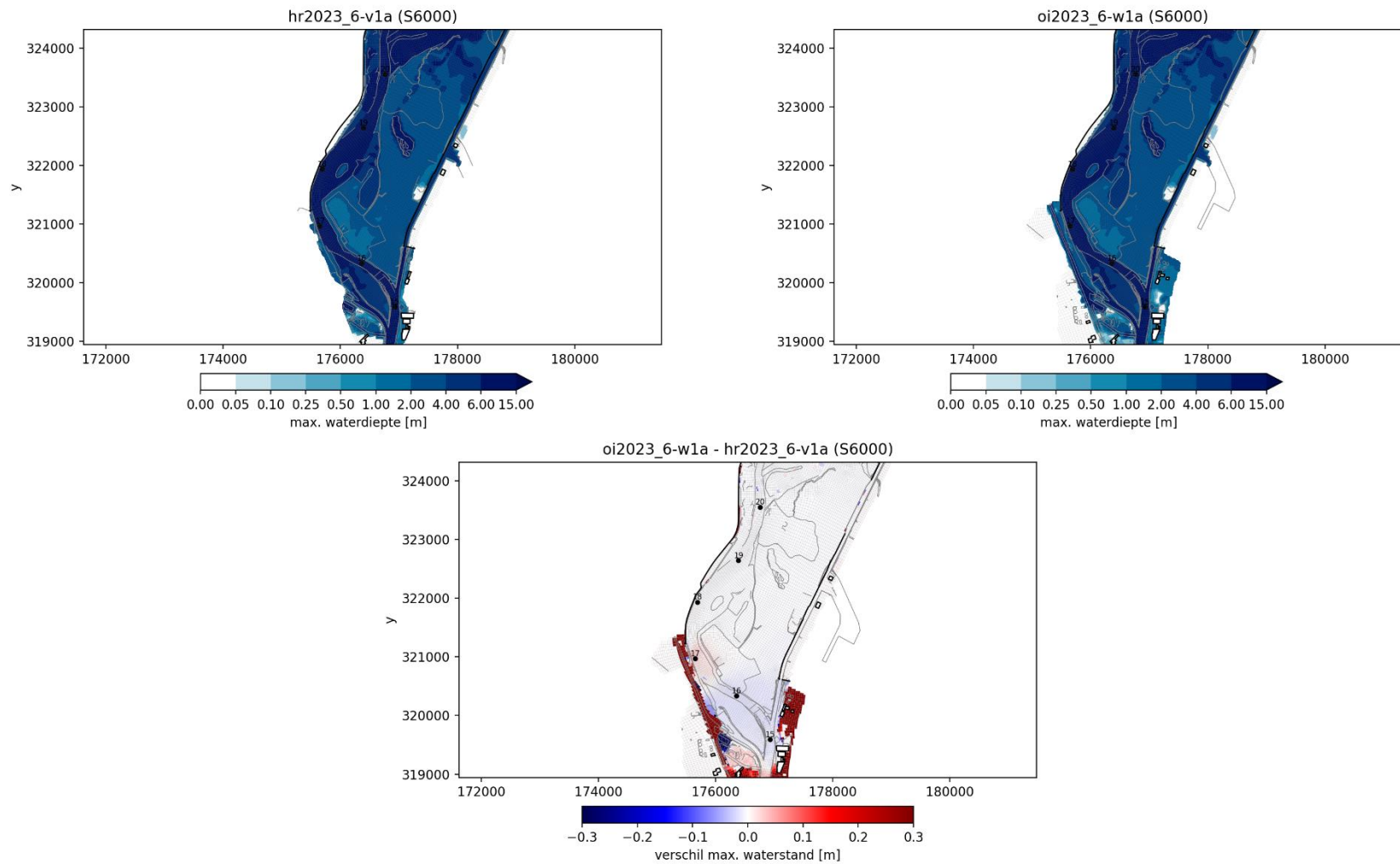
Figuur 3.6 Dewaterdiepte [m] en het verschil in waterstand tussen rkm. 79 en 87 voor maas-oi2023_6-w1a en maas-hr2023_6-v1a voor de laatste tijdstap van de berekening met de stationaire afvoer van 1300 m³/s.



Figuur 3.7 De waterdiepte [m] en het verschil in waterstand tussen rkm. 119 en 125 voor maas-oi2023_6-w1a en maas-hr2023_6-v1a voor de laatste tijdstep van de berekening met de stationaire afvoer van 3200 m³/s.



Figuur 3.8 De waterdiepte [m] en het verschil in waterstand tussen rkm. 9 en 15 voor maas-oi2023_6-w1a en maas-hr2023_6-v1a voor de laatste tijdstap van de berekening met de stationaire afvoer van 6000 m³/s



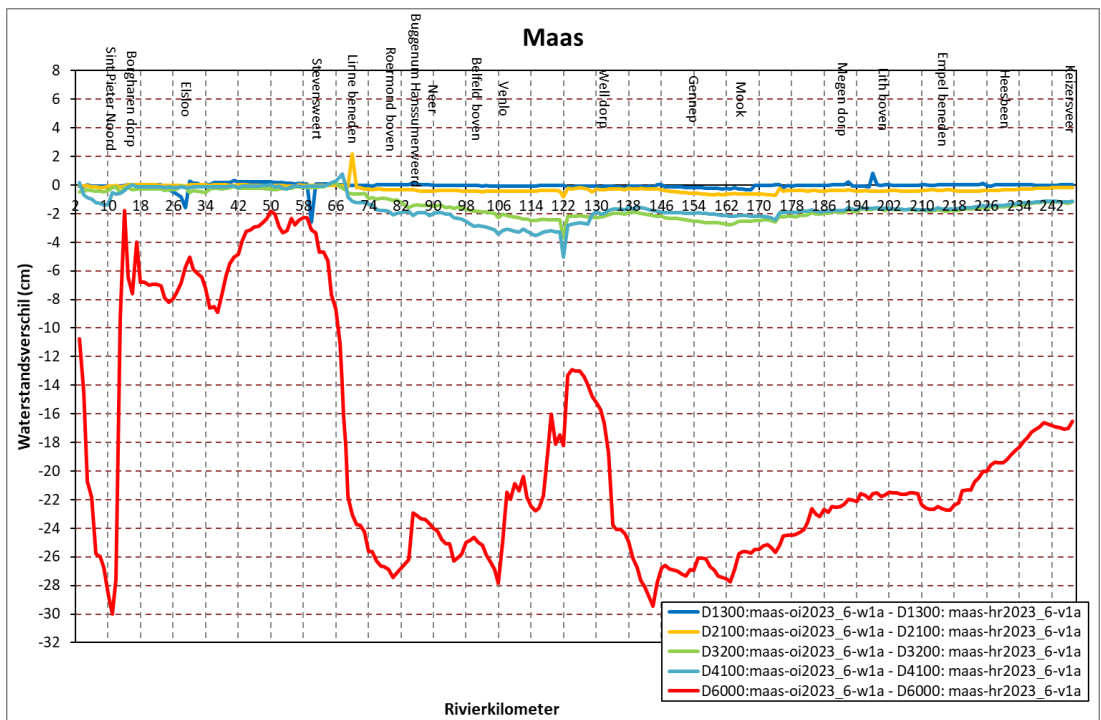
Figuur 3.9 De waterdiepte [m] en het verschil in waterstand tussen rkm. 14 en 21 voor maas-oi2023_6-w1a en maas-hr2023_6-v1a voor de laatste tijdstap van de berekening met de stationaire afvoer van 6000 m³/s

3.1.2 Dynamische afvoeren

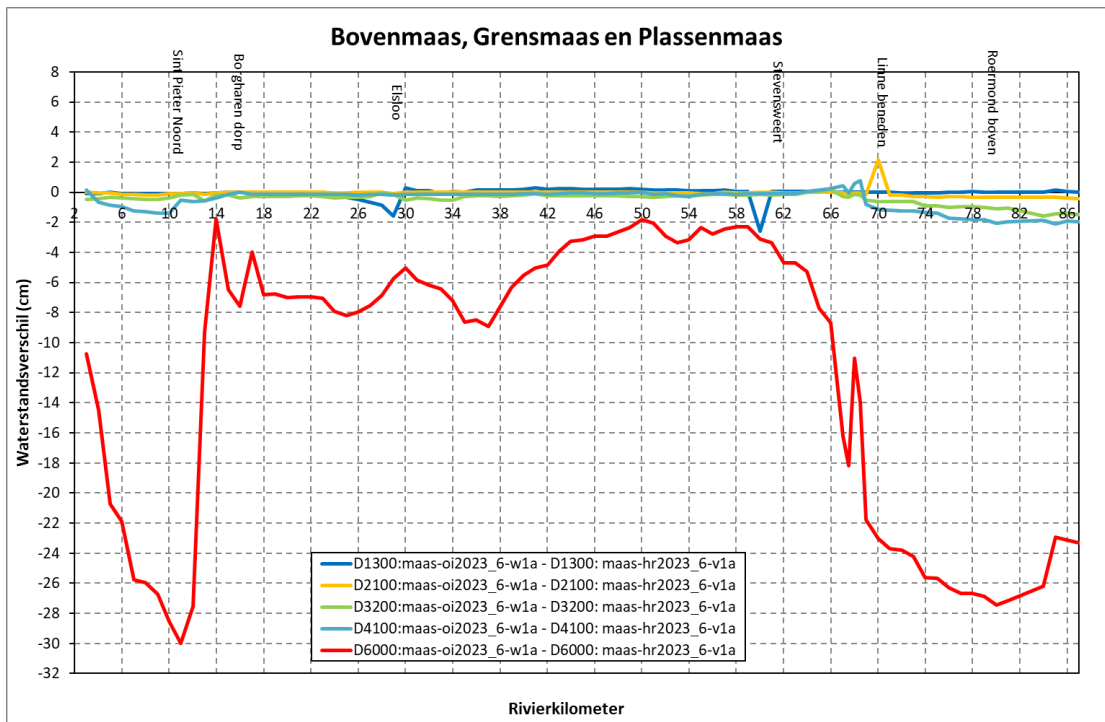
Figuur 3.10, Figuur 3.11, Figuur 3.12 en Figuur 3.13 tonen de waterstandsverschillen (max13) op de as van de rivier tussen de D-HYDRO modellen maas-oi2023_6-w1a en maas-hr2023_6-v1a. Deze verschillen zijn bepaald voor de dynamische (D) berekeningen met een maximale afvoer zoals gegeven in Tabel 2.1. De waterstanden berekend met D-HYDRO-model maas-oi2023_6-w1a en maas-hr2023_6-v1a van deze dynamische sommen verschillen vooral voor afvoeren vanaf 3200 m³/s van de stationaire sommen. Dit komt door extra waterberging in de geïnundeerde gebiedsuitbreidingen welke leidt tot extra topvervlakking en daarmee tot nog lagere waterstanden in het oi2023-model dan het geval was in de stationaire sommen met dezelfde maximale afvoer.

Tot aan rkm. 68 is het verschil in waterstand voor D2100 grotendeels gelijk aan het verschil in waterstand voor S2100. Voor D3200 valt op dat bij rkm. 14 nog steeds een verlaging in de waterstand plaatsvindt, terwijl er voor het stationaire hoogwater S3200 een toename in waterstand zichtbaar was op dit traject. Het waterstandsverschil neemt bij rkm. 14 wel nog af, maar tot aan rkm. 66 is er nu voor alle hoge afvoergolven een lagere waterstand in het oi2023-model dan in het hr2023-model, ook voor de afvoer van 6000 m³/s waarvoor in de stationaire sommen een toename zichtbaar was door een plaatselijke relatieve vernauwing van het doorstroomprofiel. Deze afname in waterstand neemt toe met toenemende afvoer en bedraagt maximaal 0,1 cm (D1300), 0,2 cm (D2100), 0,5 cm (D3200), 1,4 cm (D4100) en 30 cm (D6000). Voor de afvoergolf van 1300 m³/s is er vanaf rkm. 30 tot 59 in het oi2023-model een 0,2 tot 0,3 cm hogere waterstand dan in het hr2023-model.

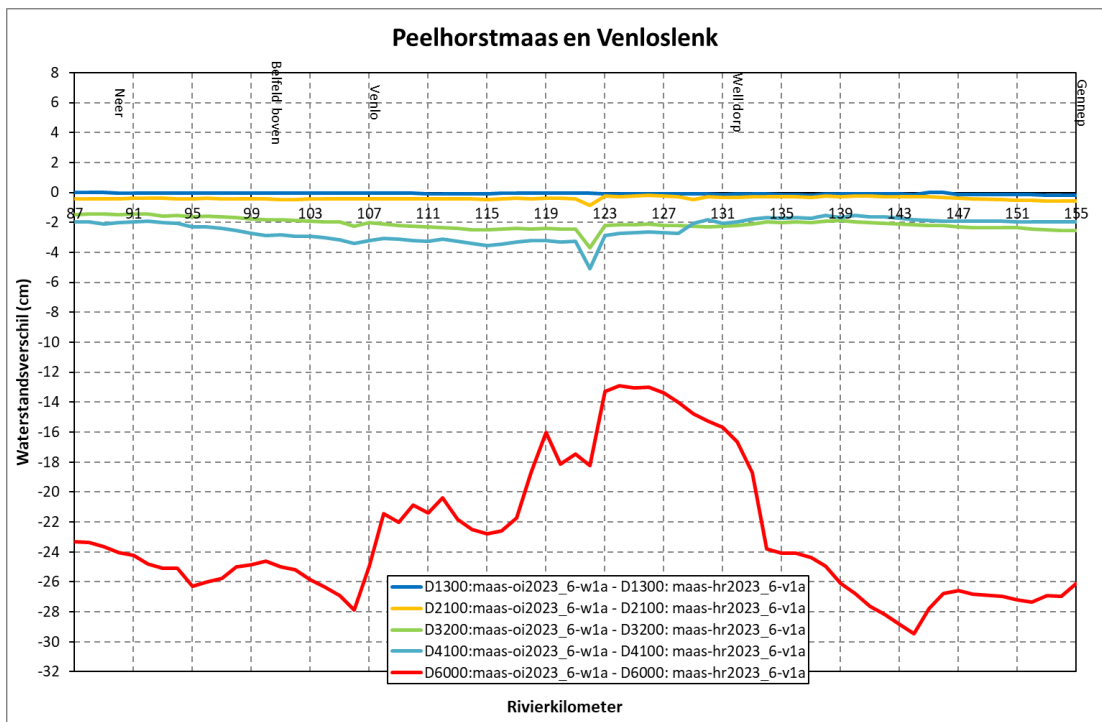
Vanaf rkm. 90 tot rkm. 247 is de waterstand in het oi2023-model voor alle afvoergolven lager dan in het hr2023-model. De verlaging neemt toe met toenemende afvoer. Het patroon van de verschillen in waterstand tussen het oi2023 en hr2023-model is gelijk voor de stationaire en dynamische afvoeren, maar door extra berging is de waterstand nog lager voor de dynamische afvoeren dan voor de stationaire afvoeren en het verschil met het hr2023-model bedraagt maximaal 30 cm voor de afvoergolf van 6000 m³/s. Er zijn alleen voor de afvoergolf van 1300 m³/s bij rkm. 191 en 199 plaatselijke verhogingen van 1 mm in de waterstand zichtbaar, dit komt waarschijnlijk doordat stuw Lith bij deze afvoer nog niet gestreken is.



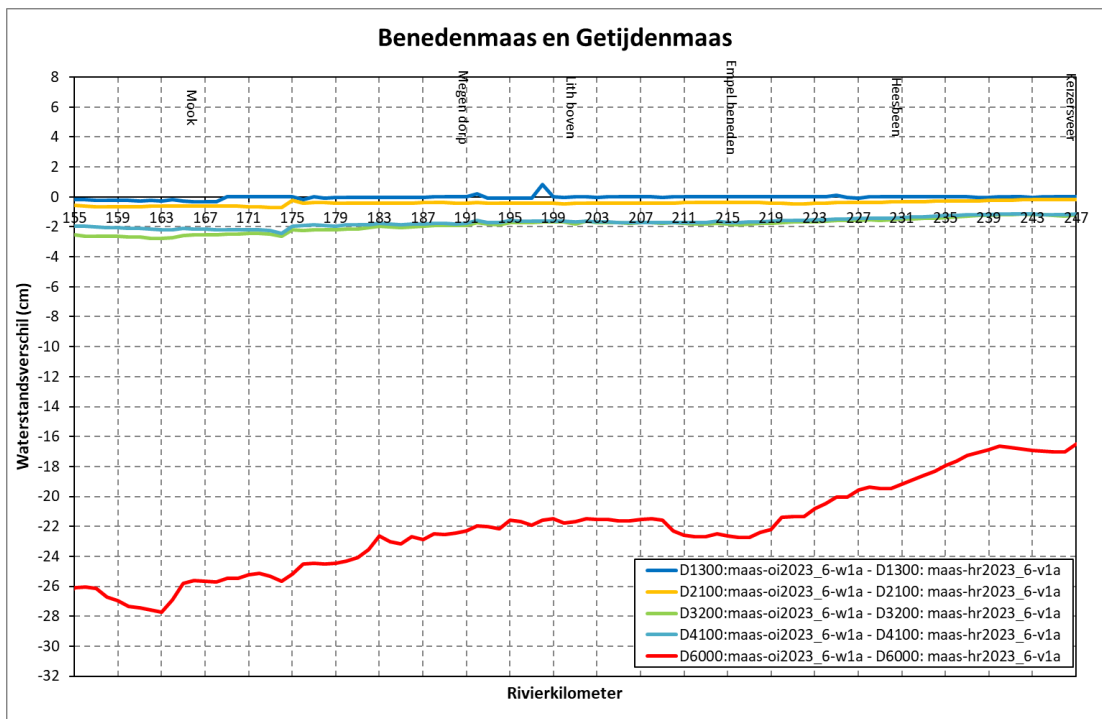
Figur 3.10 Verschil in waterstand tussen maas-oi2023_6-w1a en maas-hr2023_6-v1a voor afvoergolven van 1300 m³/s, 2100 m³/s, 3200 m³/s, 4100 m³/s en 6000 m³/s. (dflowfm2d-maas-oi2023_6-w1a - dflowfm2d-maas-hr2023_6-v1a).



Figur 3.11 Traject 1: Verschil in waterstand tussen maas-oi2023_6-w1a en maas-hr2023_6-v1a voor afvoergolven van 1300 m³/s, 2100 m³/s, 3200 m³/s, 4100 m³/s en 6000 m³/s. (dflowfm2d-maas-oi2023_6-w1a - dflowfm2d-maas-hr2023_6-v1a).



Figuur 3.12 Traject 2: Verschil in waterstand tussen maas-oi2023_6-w1a en maas-hr2023_6-v1a voor afvoergolven van 1300 m³/s, 2100 m³/s, 3200 m³/s, 4100 m³/s en 6000 m³/s. (dflowfm2d-maas-oi2023_6-w1a - dflowfm2d-maas-hr2023_6-v1a).



Figuur 3.13 Traject 3: Verschil in waterstand tussen maas-oi2023_6-w1a en maas-hr2023_6-v1a voor afvoergolven van 1300 m³/s, 2100 m³/s, 3200 m³/s, 4100 m³/s en 6000 m³/s. (dflowfm2d-maas-oi2023_6-w1a - dflowfm2d-maas-hr2023_6-v1a).

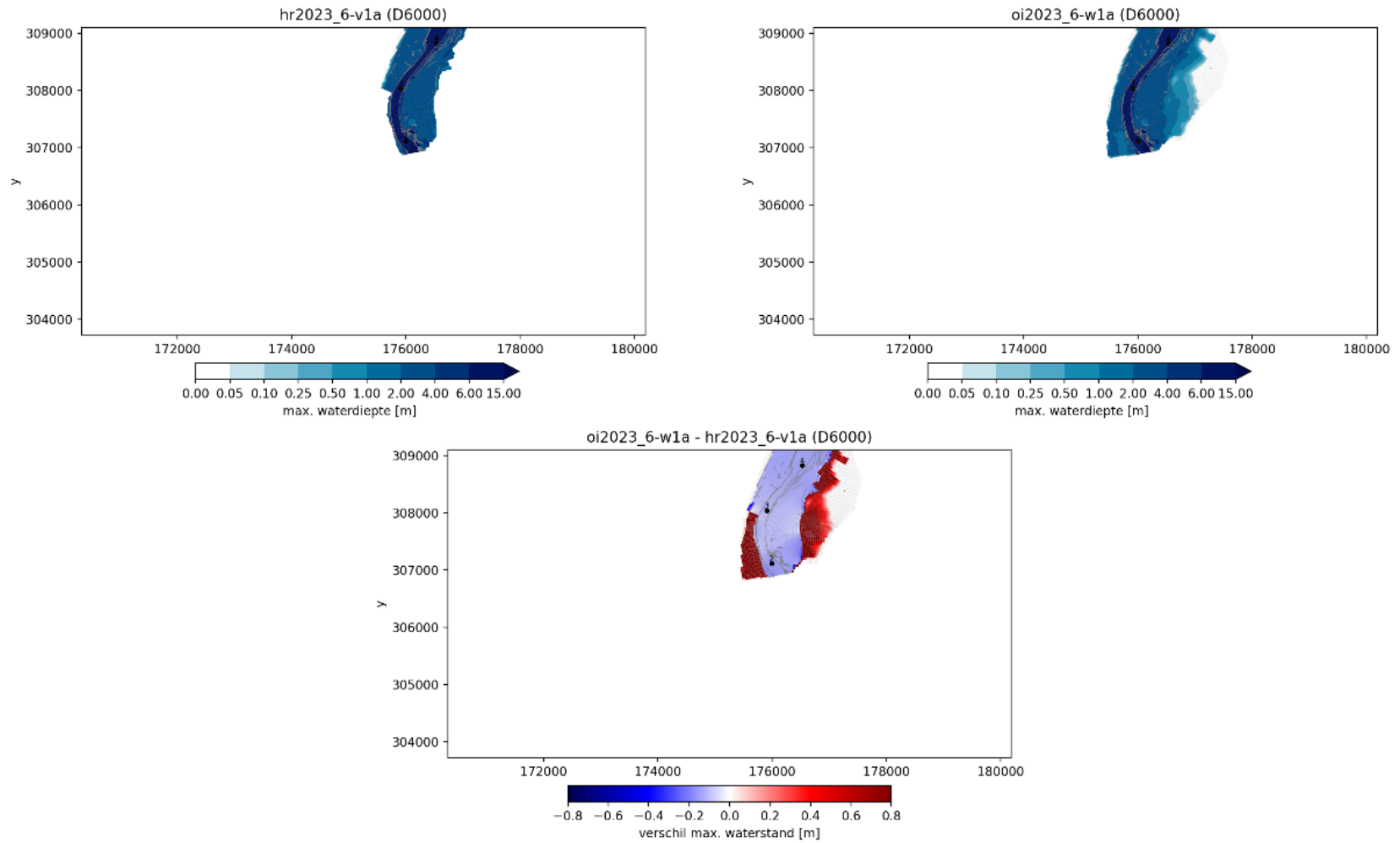
3.1.3 Verificatie water tegen modelranden

Ter verificatie of inderdaad bij de afvoeren van 6000 m³/s geen water tegen de modelrand voorkomt zijn de maximale waterdieptes en de verschillen in waterstand voor de afvoergolf van 6000 m³/s van zowel het maas-oi2023_6-w1a als het maas-hr2023_6-v1a in kaarten weergegeven. Er is gekozen om enkele kaarten met de waterdieptes van deze dynamische berekeningen in de rapportage op te nemen, omdat de inundatiecontour van deze berekening ook door [Van Lente & Da Silva, 2021](#) gebruikt is voor de uitbreiding van de model en door [Ottevanger & Plieger, 2020](#) voor de uitbreiding van het rekenrooster. Inundatiekaarten zijn voor alle afvoeren beschikbaar en opgenomen in de digitale bijlagen.

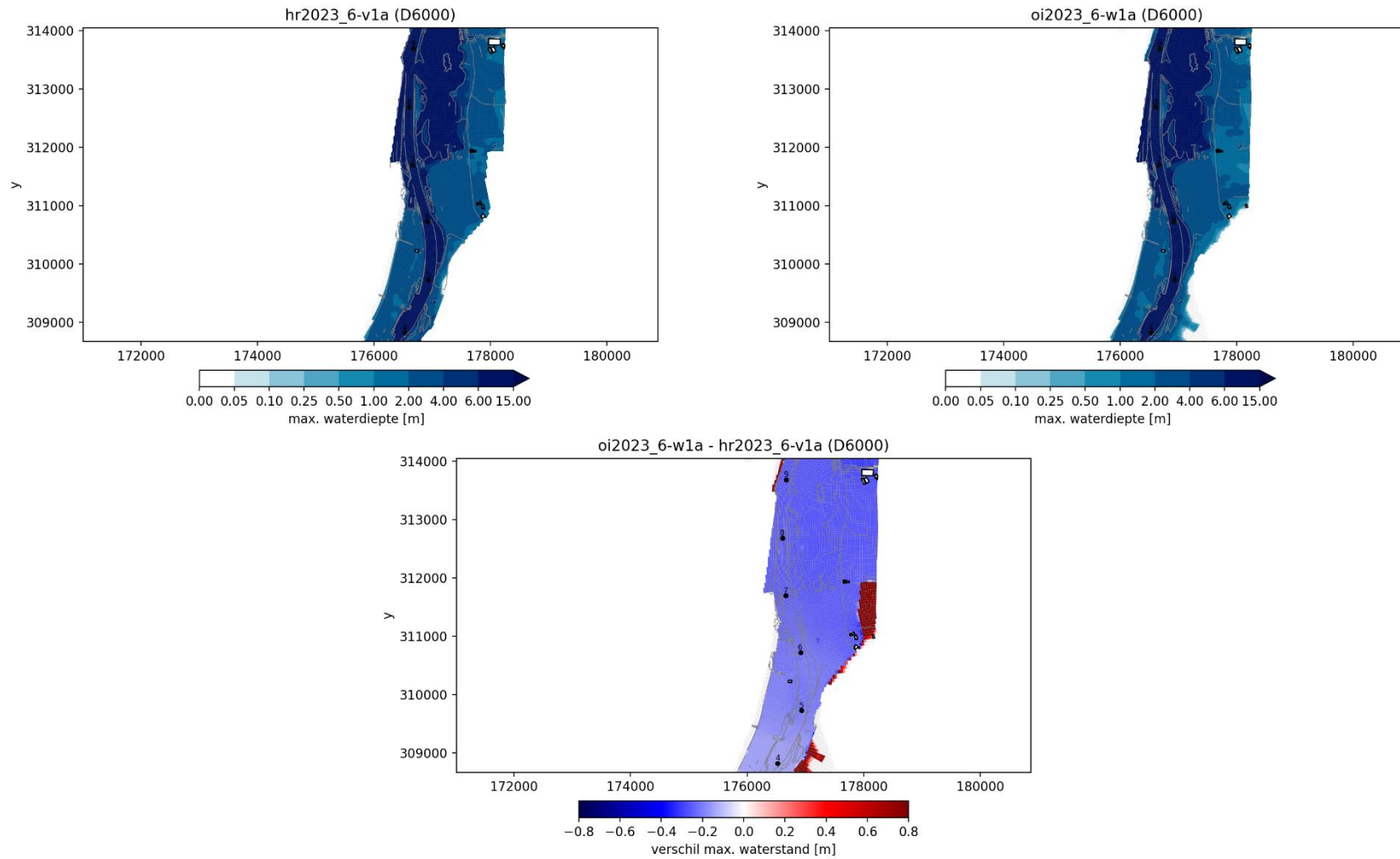
In de kaarten is zichtbaar dat het totale gebied dat overstroomt toe is genomen door de aan het model toegevoegde hoger gelegen gebieden. Er zijn op de meeste locaties nog droge roosterzellen langs de randen van de toegevoegde hoger gelegen gebieden aanwezig. Dit toont aan dat de toevoeging van de hoger gelegen gebieden op deze locaties voldoende is en er geen water tegen de modelranden staat. Er zijn echter ook nog steeds enkele locaties waar het water rijkt tot aan de modelgrens. De waterdiepte op deze locaties is meestal zeer klein of het hoogteverschil met de hoger gelegen gebieden, snelweg- of spoordijken is groot waardoor de verwachting is dat de invloed op berekende waterstanden minimaal zijn:

- Figuur 3.14 toont dat bij de bovenrand van het model het water tegen de aan Belgische zijde uitgebreide modelgrens aan staat. Hier volgt de modelgrens de westelijke rand van het Albert kanaal.
- Verderop ter hoogte van Eijsden (zie Figuur 3.15) staat het water tegen modelranden aan. Dit is aan de oostelijke/Nederlandse zijde tot aan rkm. 14 de spoordijk en aan de westelijke zijde de kanaalrand en de hoger gelegen gronden van o.a. de Sint-Pietersberg.
- In Figuur 3.18 is zichtbaar dat er ter hoogte van Maasbracht (rkm. 67 – 71) de modelgrenzen lokaal met kleine gebieden zijn uitgebreid. Bij deze uitbreidingen staat er geen water meer tegen de modelgrenzen, maar er staat nog wel water tegen de niet toegevoegde hoger gelegen gebieden in Maasbracht en Linne.
- Er staat lokaal bij de N280 ter hoogte van Beegden (rkm. 79,5) water tegen de rand van het plateau van de Beegderheide die hier de modelrand vormt (zie Figuur 3.19).
- Bij de dorpskernen van Beesel en Reuver (rkm. 92 – 98) staat water tegen de rand van de hoge gebieden die samen met dijktrajecten deze dorpskernen beschermen.
- Bij Grubbenvorst (rkm. 113) volgt de modelrand de hoger gelegen gebieden die samen met de dijktrajecten het achterliggende rand beschermen. Het water staat hier in de buitenbocht bij hoge afvoeren tegen de hoger gelegen gebieden aan. Ook bij rkm. 118 is dit het geval
- Ongeveer vanaf rkm. 148 (Boxmeer) volg de modelrand van de westelijke Maas oever de primaire waterkeringen. Ten oosten van de Maas zijn er diverse primaire waterkeringen die aansluiten op hoger gelegen gebieden. Deze zijn toegevoegd tot aan de Duitse grens. Alleen langs het Niersdal staat nu nog water langs de modelgrenzen, maar dit was al geconstateerd door [Van Lente & Da Silva, 2021](#) en in overleg met Rijkswaterstaat heeft er geen uitbreiding naar Duitsland plaatsgevonden vanwege de geringe invloed en gebrek aan data voor de schematisatie.

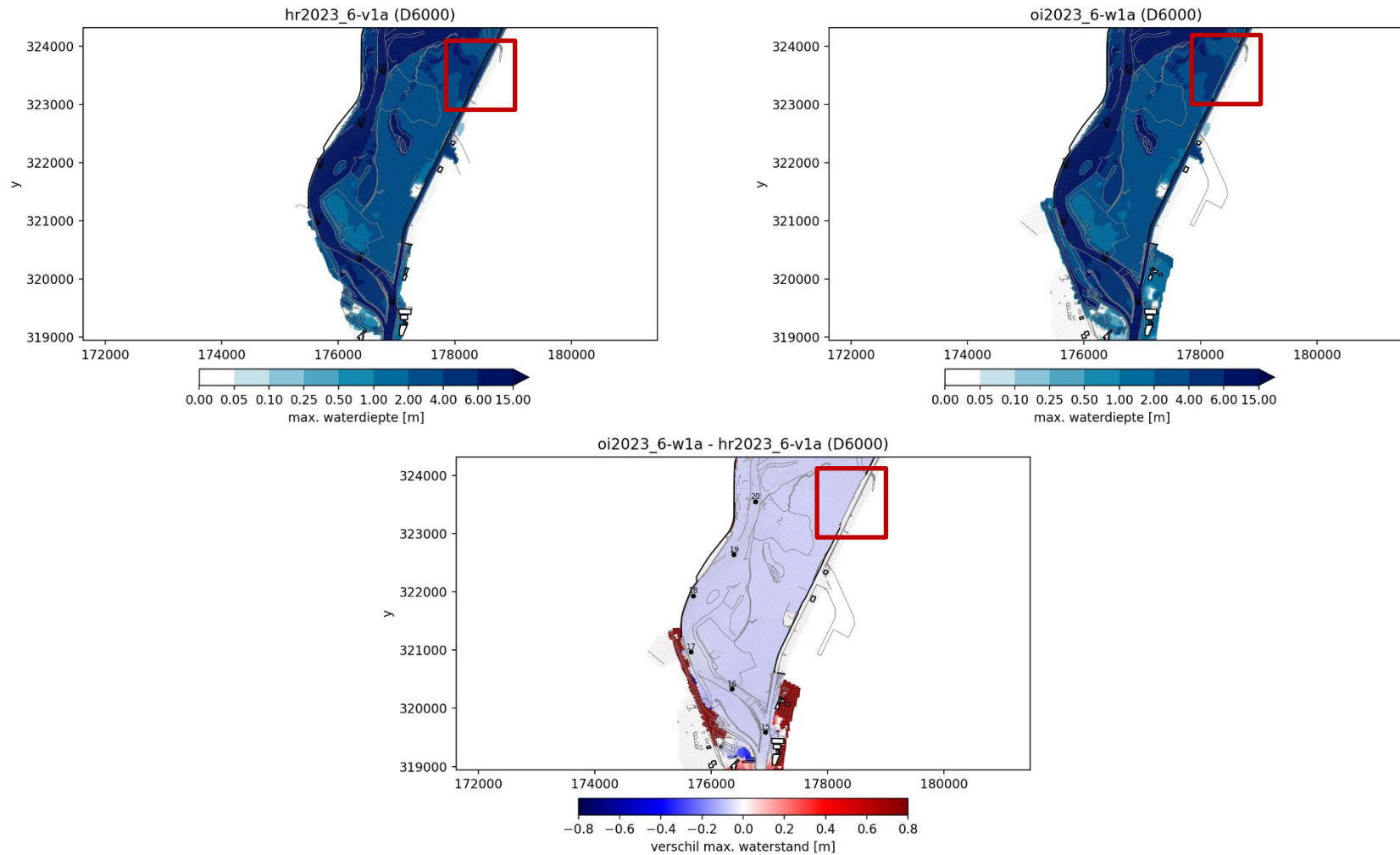
In paragraaf 2.1 is beschreven dat bij inspectie van de testresultaten bleek dat in baseline-maas-oi2023_mkno_v_6-w1 de hoogwatervrije lijn op de westelijke Juliana kanaaldijk ontbreekt. Dit is gecorrigeerd in baseline-maas-oi2023_mkno_v_6-v1. Echter blijkt uit Figuur 3.16 en Figuur 3.17 dat ook in het oi2023-model de hoogwatervrije lijn is onderbroken. Vanaf afvoeren hoger dan 2100 m³/s staat het water tegen de kanaaldijk aan, maar het effect lijkt minimaal/niet zichtbaar in het waterstandsverschil tussen maas-oi2023_6-w1a (met gaten in de hoogwatervrije lijn) en maas-hr2023_6-v1a (zonder de gaten in de lijn) in Figuur 3.11.



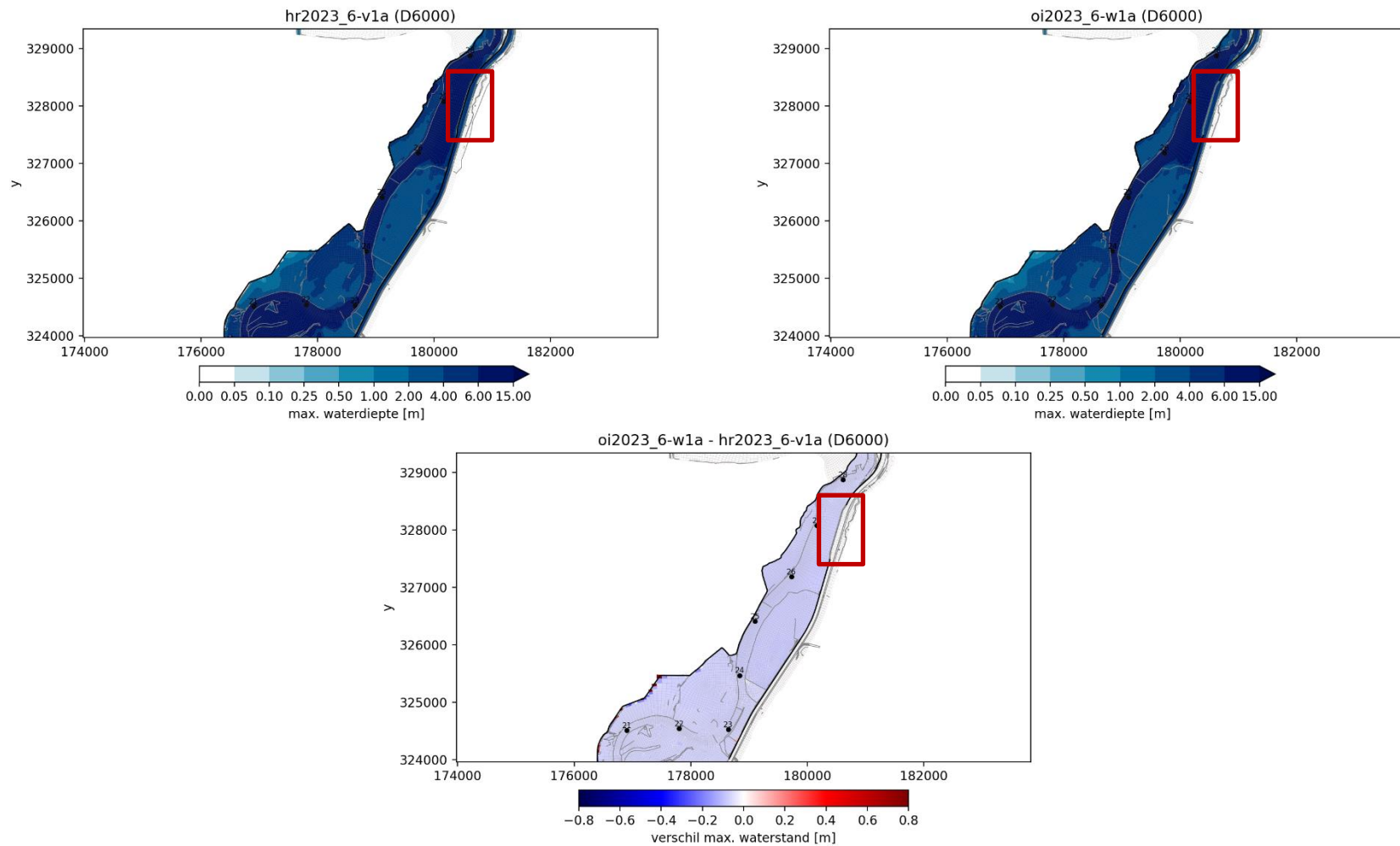
Figuur 3.14 De maximale waterdiepte [m] en verschillen in maximale waterstand ter hoogte van rkm. 1 – 4,5 voor maas-oi2023_6-w1a en maas-hr2023_6-v1a voor de afvoergolf van 6000 m³/s. De grijze lijnen tonen overlaten en de zwarte lijnen geven de positie van hoogwaterrije lijnen.



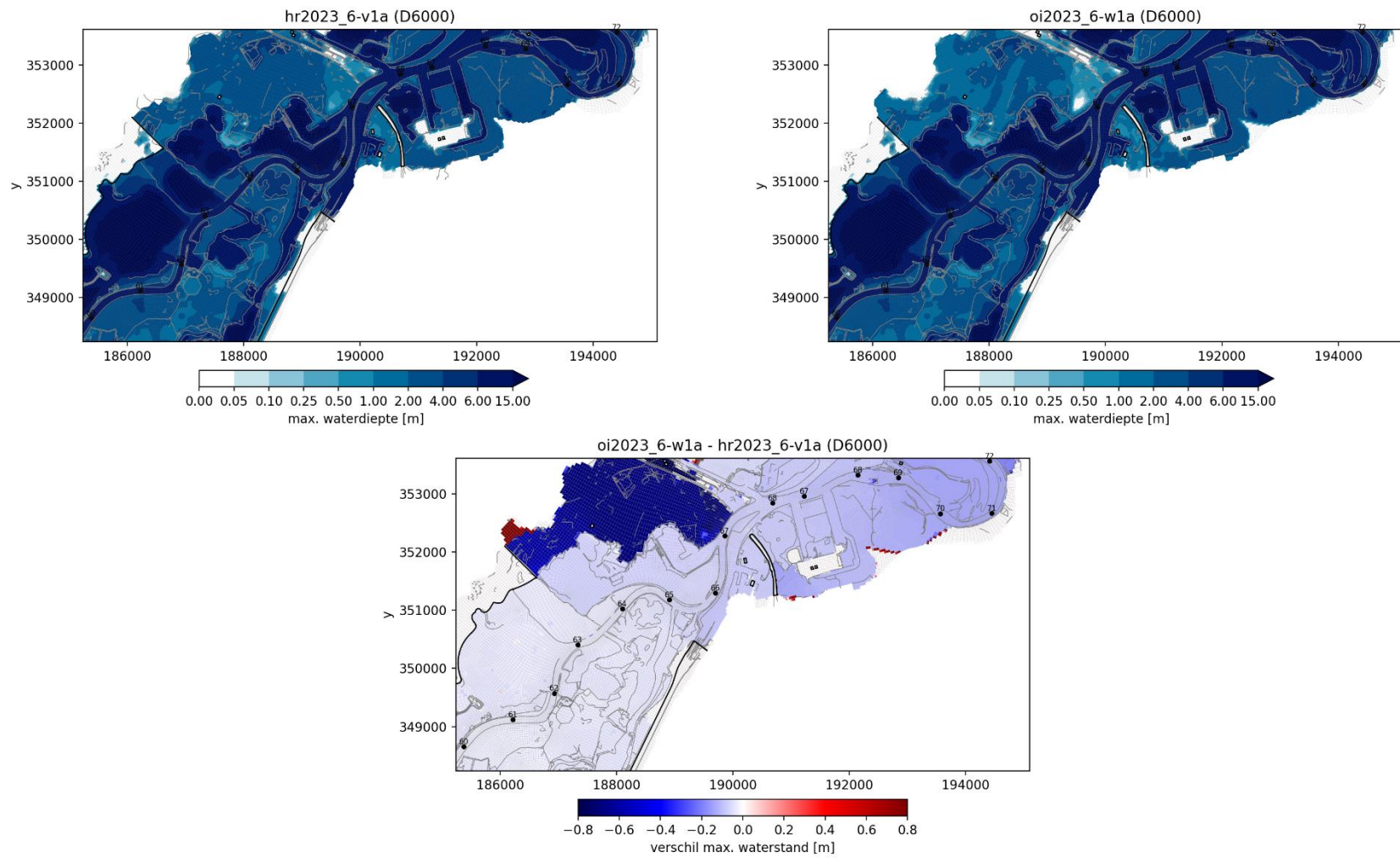
Figuur 3.15 De maximale waterdiepte [m] voor maas-oi2023_6-w1a en maas-hr2023_6-v1a ter hoogte van rkm. 4 – 9,5 voor de afvoergolf van 6000 m³/s. De grijze lijnen tonen overlaten en de zwarte lijnen geven de positie van hoogwatervrije lijnen.



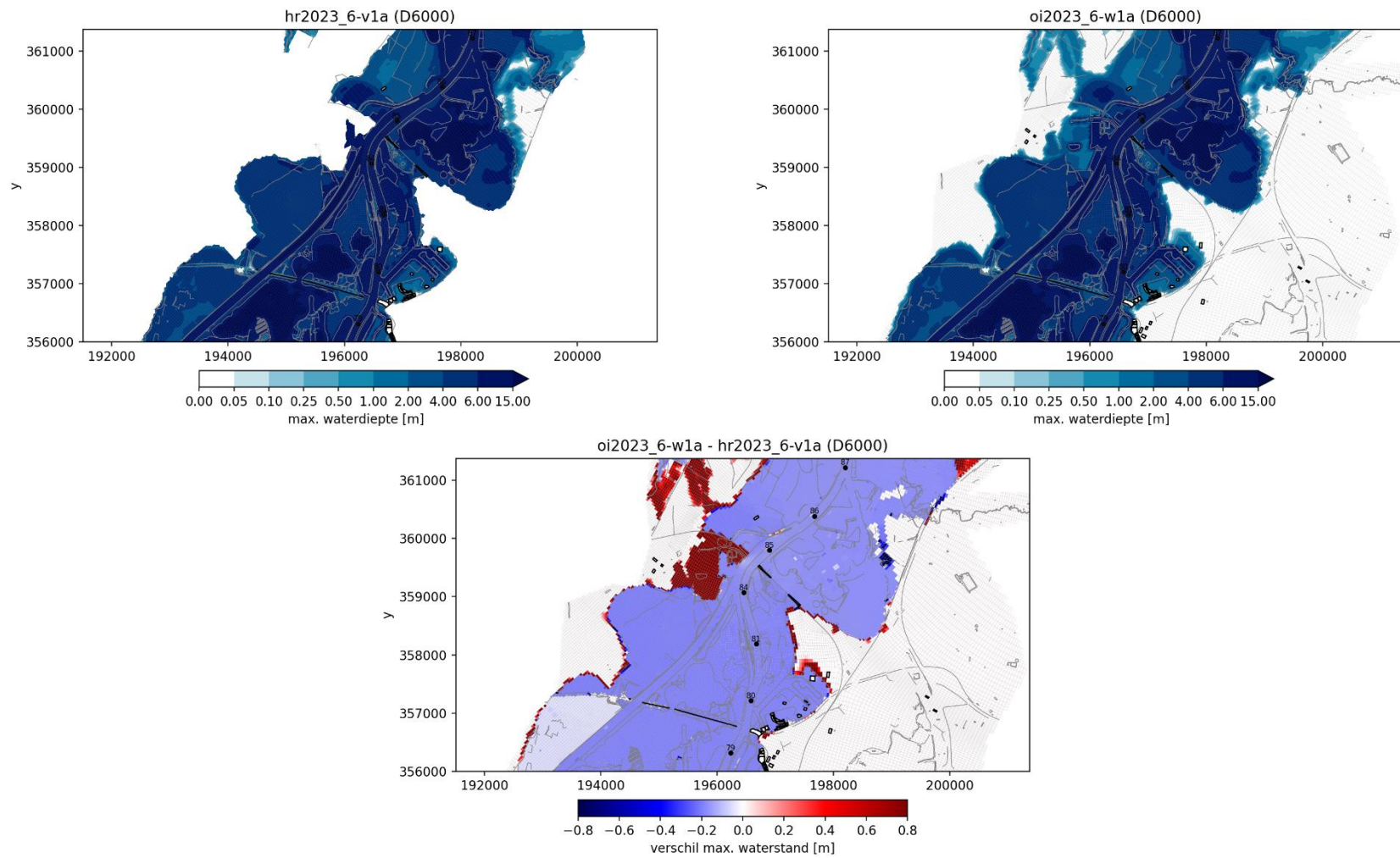
Figuur 3.16 De maximale waterdiepte [m] voor maas-oi2023_6-w1a en maas-hr2023_6-v1a ter hoogte van rkm. 15-21 voor de afvoergolf van 6000 m³/s. De grijze lijnen tonen overlaten en de zwarte lijnen geven de positie van hoogwatervrije lijnen. Het rode kader geeft aan waar de hoogwatervrije lijn is onderbroken.



Figuur 3.17 De maximale waterdiepte [m] voor maas-oi2023_6-w1a en maas-hr2023_6-v1a ter hoogte van rkm. 21-29 voor de afvoergolf van 6000 m³/s. De grijze lijnen tonen overlaten en de zwarte lijnen geven de positie van hoogwatervrije lijnen. Het rode kader geeft aan waar de hoogwatervrije lijn is onderbroken.



Figuur 3.18 De maximale waterdiepte [m] voor maas-oi2023_6-w1a en maas-hr2023_6-v1a ter hoogte van rkm. 60 - 72 voor de afvoergolf van 6000 m³/s. De grijze lijnen tonen overlaten en de zwarte lijnen geven de positie van hoogwatervrije lijnen.



Figuur 3.19 De maximale waterdiepte [m] voor maas-oi2023_6-w1a en maas-hr2023_6-v1a ter hoogte van rkm. 79 - 87 voor de afvoergolf van 6000 m³/s. De grijze lijnen tonen overlaten en de zwarte lijnen geven de positie van hoogwatervrije lijnen.

3.2 maas-oi2023_mknov_6-w1a versus maas-hr2023_mknov_6-v1a

3.2.1 Stationaire afvoeren

In Figuur 3.20, Figuur 3.21, Figuur 3.22 en Figuur 3.23 zijn de verschillen in waterstand (last25) op de as van de rivier tussen de D-HYDRO modellen maas-oi2023_mknov_6-w1a en maas-hr2023_mknov_6-v1a weergegeven. Dit betreffen de stationaire berekeningen met een maximale afvoer zoals gegeven in Tabel 2.1. De belangrijkste observaties zijn:

- Grote verschillen treden op bij een stationaire afvoer van 6000 m³/s tussen rkm. 0 en 24 en tussen rkm. 60 en 155, met als maximum -28 cm.
- Voor de berekening S4100 schommelt het verschil rond de -2 cm vanaf rkm. 69 tot aan rkm. 123.
- Voor de berekening S3200 schommelt het verschil tussen de -0,2 en -0,4 cm vanaf rkm. 69

Tot aan rkm. 13 is er voor S3200 een toename in de waterstand zichtbaar, dit was ook al het geval in het oi2023-model, maar door de aanwezigheid van de niet-overstroombare waterkeringen is de toename in waterstand hoger met een maximum van 0,6 cm. Voor S4100 is er door de aanwezigheid van niet-overstroombare waterkeringen een afname van de waterstandsverlaging welke nu maximaal -0,4 cm bedraagt.

Bij rkm. 14 en 17 valt op dat de lokale toename in waterstand welke in het oi2023-model voor de afvoer van 6000 m³/s zichtbaar was ontbreekt in het oi2023_mknov-model. Door de aanwezigheid van de niet-overstroombare waterkeringen langs de Bovenmaas is er geen plotselinge grote wijziging in het doorstroomvolume en blijft het verschil in waterstand tussen oi2023_mknov en hr2023_mknov oplopen tot een maximum van -7,3 cm. Wel is er voor de afvoer van 6000 m³/s al bij rkm. 4 een lokale toename in waterstand zichtbaar doordat op deze locatie het doorstroomvolume na de eerdere gebiedsuitbreiding weer afneemt door een hoogwatervrij gebied.

Bij rkm. 26 en rkm. 52 zijn in het oi2023_mknov-model voor de afvoer van 6000 m³/s lokale verhogingen van de waterstand zichtbaar met een maximum van 0,9 cm. Deze verhogingen zijn niet aanwezig in het oi2023-model. In paragraaf 3.2.3 wordt verder in gegaan op het verschil bij rkm. 26 dat wordt veroorzaakt door de ongewenste instroom van het gebied van Geulle aan de Maas (zie Figuur 3.29). Benedenstrooms van dit gebied levert dit in de stationaire sommen een lokale verhoging van de waterstand op.

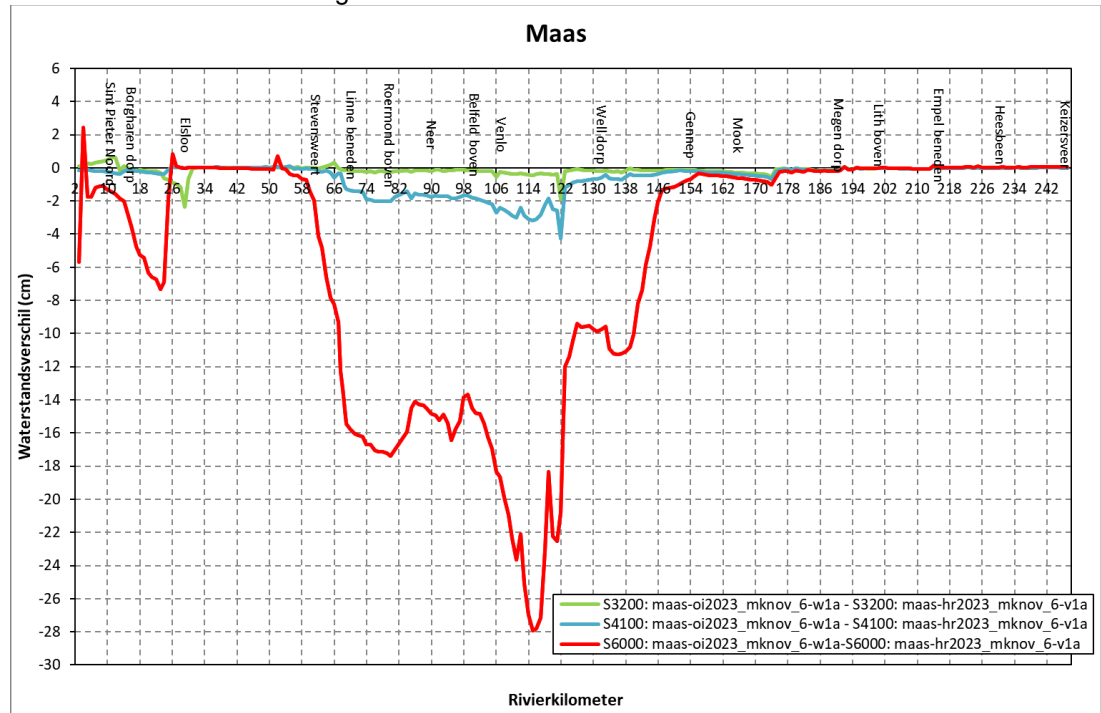
Tussen rkm. 26 en rkm. 50 zijn verschillen voor alle hoge afvoeren minimaal (-0,1 - 0,1 cm).

Voor S3200 is vanaf rkm. 58 tot rkm. 66 de waterstand in het oi2023_mknov-model hoger dan in het hr2023_mknov-model. Dit is ook het geval in het oi2023 model en de verhoging heeft dezelfde grootte met een maximum van 0,3 cm bij rkm. 66.

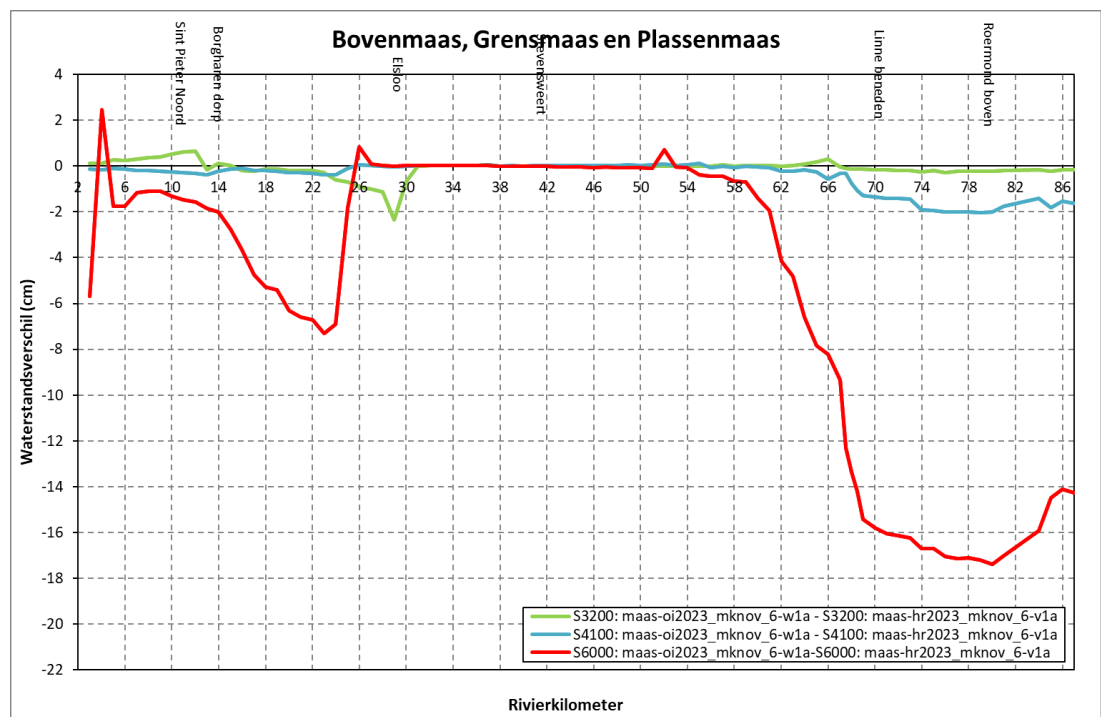
Voor de afvoeren van 4100 en 6000 m³/s is de waterstand tot aan rkm. 192 lager in het oi2023_mknov model. De verlaging loopt voor alle hoge afvoeren op en schommelt ongeveer rond de -0,3 cm voor S3200 en bedraagt maximaal -4cm en -28 cm voor S4100 en S6000. De verlaging is voor S6000 ongeveer 4 cm groter dan in geval was in het oi2023_model. Dit verschil ontstaat op het traject tussen rkm. 107 en 115. Voor S4100 is tot aan rkm. 123 de waterstand gemiddeld 0,5 cm extra lager door de niet-overstroombare waterkeringen. En voor S6000 maximaal 1 cm hoger. Vanaf rkm. 123 neemt in het oi2023_mknov-model de verlaging in waterstand af, maar in het oi2023-model neemt de verlaging in waterstand ten opzichte van het hr2023-model eerst nog verder toe en loopt het pas vanaf rkm. 140 terug.

Vanaf rkm.167 hebben geen veranderingen in de modellen plaatsgevonden, omdat alle modellen hier begrenst worden door de primaire waterkeringen.

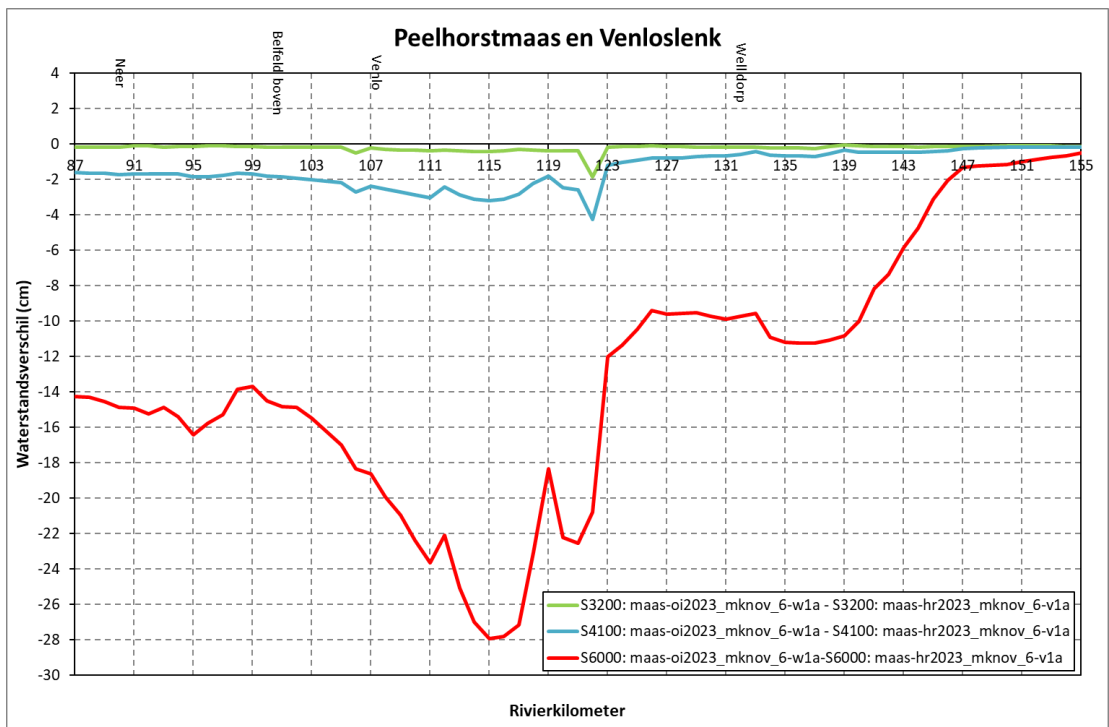
Eventuele minimale waterstandsverschillen ontstaan door het middelen van de last25 waterstand of door afrondingsverschillen.



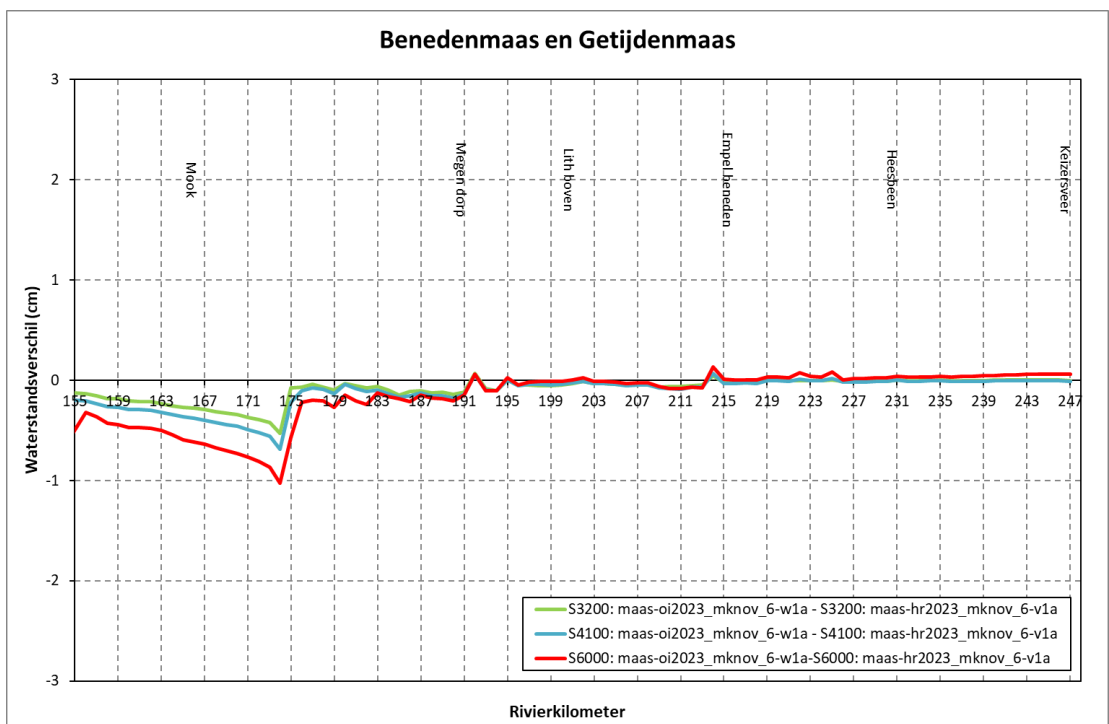
Figuur 3.20 Verschil in waterstand tussen maas-oi2023_mknov_6-w1a en maas-hr2023_mknov_6-v1a voor de stationaire afvoeren.
($dflowfm2d$ -maas-oi2023_mknov_6-w1a - $dflowfm2d$ -maas-hr2023_mknov_6-v1a).



Figuur 3.21 Traject 1: Verschil in waterstand tussen maas-oi2023_mknov_6-w1a en maas-hr2023_mknov_6-v1a voor de stationaire afvoeren.
($dflowfm2d$ -maas-oi2023_mknov_6-w1a - $dflowfm2d$ -maas-hr2023_mknov_6-v1a).



Figuur 3.22 Traject 2: Verschil in waterstand tussen maas-oi2023_mknov_6-w1a en maas-hr2023_mknov_6-v1a voor de stationaire afvoeren.
($dflowfm2d\text{-}maas\text{-}oi2023_mknov_6\text{-}w1a - dflowfm2d\text{-}maas\text{-}hr2023_mknov_6\text{-}v1a$).



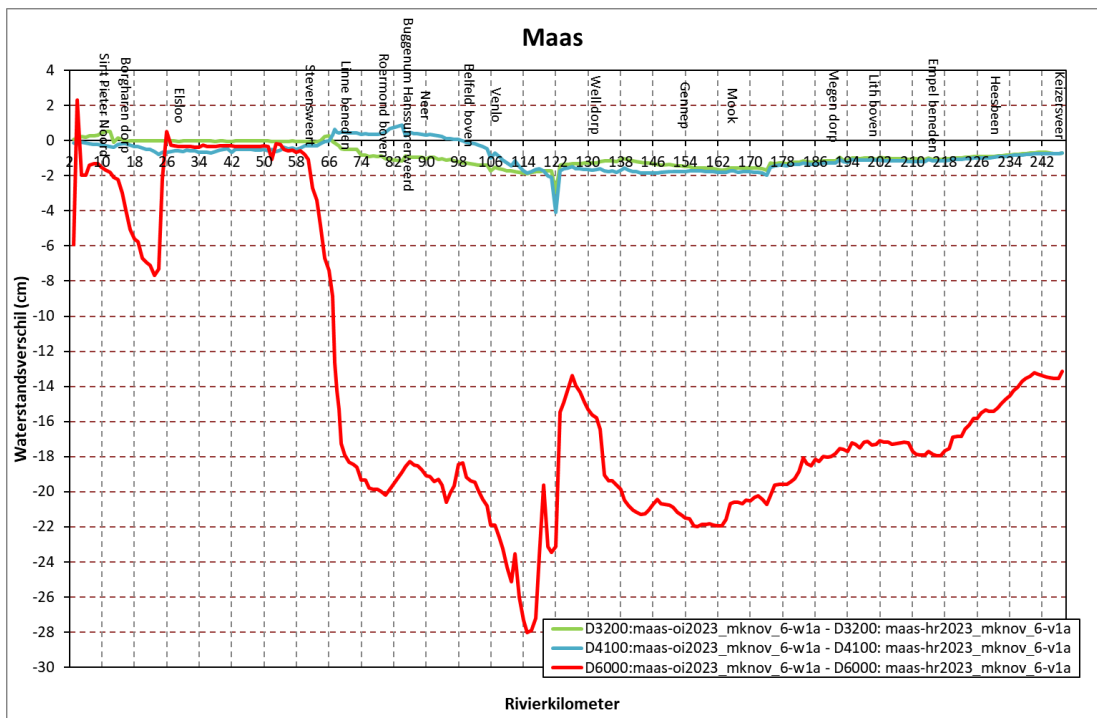
Figuur 3.23 Traject 3: Verschil in waterstand tussen maas-oi2023_mknov_6-w1a en maas-hr2023_mknov_6-v1a voor de stationaire afvoeren.
($dflowfm2d\text{-}maas\text{-}oi2023_mknov_6\text{-}w1a - dflowfm2d\text{-}maas\text{-}hr2023_mknov_6\text{-}v1a$).

3.2.2 Dynamische afvoeren

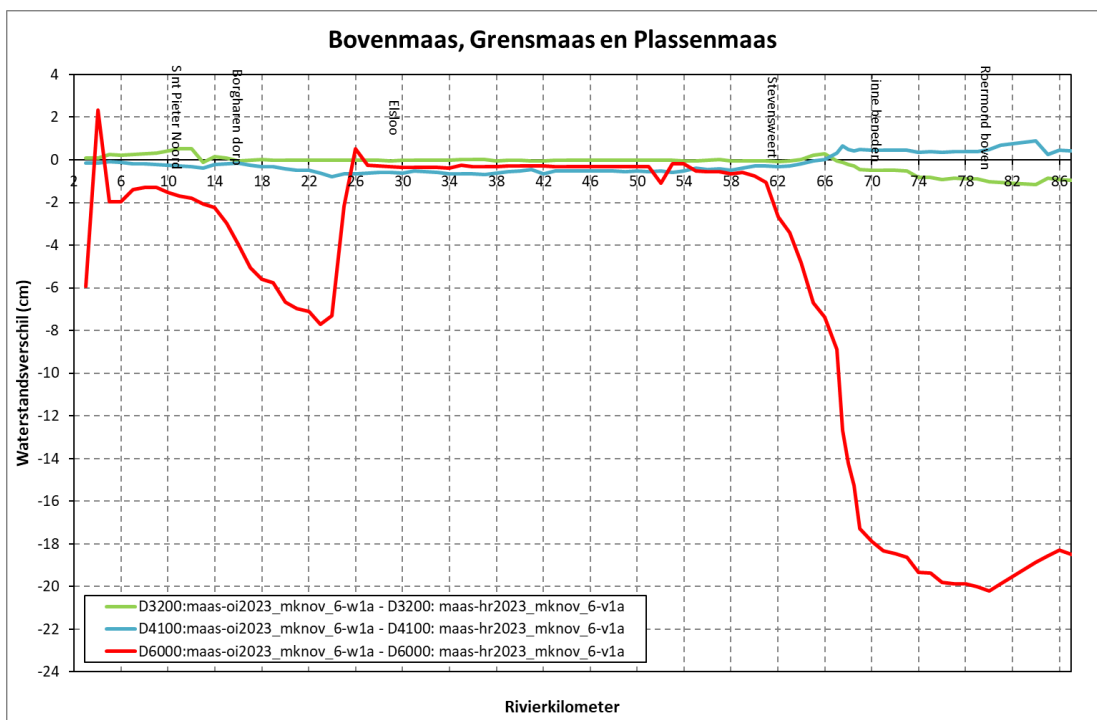
In Figuur 3.24, Figuur 3.25, Figuur 3.26 en Figuur 3.27 zijn de waterstandsverschillen (max13) op de as van de rivier tussen de D-HYDRO modellen maas-oi2023_mknov_6-w1a en maas-hr2023_mknov_6-v1a weergegeven, voor de dynamische (D) berekeningen met een maximale afvoer als gegeven in Tabel 2.1. De belangrijkste observaties zijn:

- De verschillen in maximale waterstanden zijn het grootst tussen de D6000 berekeningen, met als maximale verschil -28 cm.
- Voor de berekeningen D3200 en D4100 zijn de verschillen kleiner, tussen de -2 en 1,5 cm. Alleen bij rkm.122 is een uitschieter zichtbaar naar respectievelijk -3 en -4 cm.
- Het valt op dat voor D4100 de waterstand vanaf rkm. 66 tot rkm. 95 maximaal 1 cm hoger ligt in het oi2023_mknov model. Deze toename in waterstand is niet zichtbaar voor de afvoergolven D3200 en D6000, noch voor de afvoergolven in het oi2023-model, noch in de stationaire sommen van beide modellen. Deze toename wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat er voor deze afvoer door de roosterwijzigingen in verhouding minder water stroomt van het Tesken naar de Boschmolenplas (rkm 68). Daarnaast is er door de toevoeging van de hoge gronden een groter doorstroomprofiel ontstaan ter hoogte van rkm. 84. Echter ligt er vanaf rkm 85 Bij Buggenum een hoogwatervrij gebied in het oi2023_mknov-model waardoor hier het doorstroomprofiel relatief sterk afneemt voor deze afvoer. Dit veroorzaakt ook bovenstrooms van dit punt een verhoging van de waterstanden.

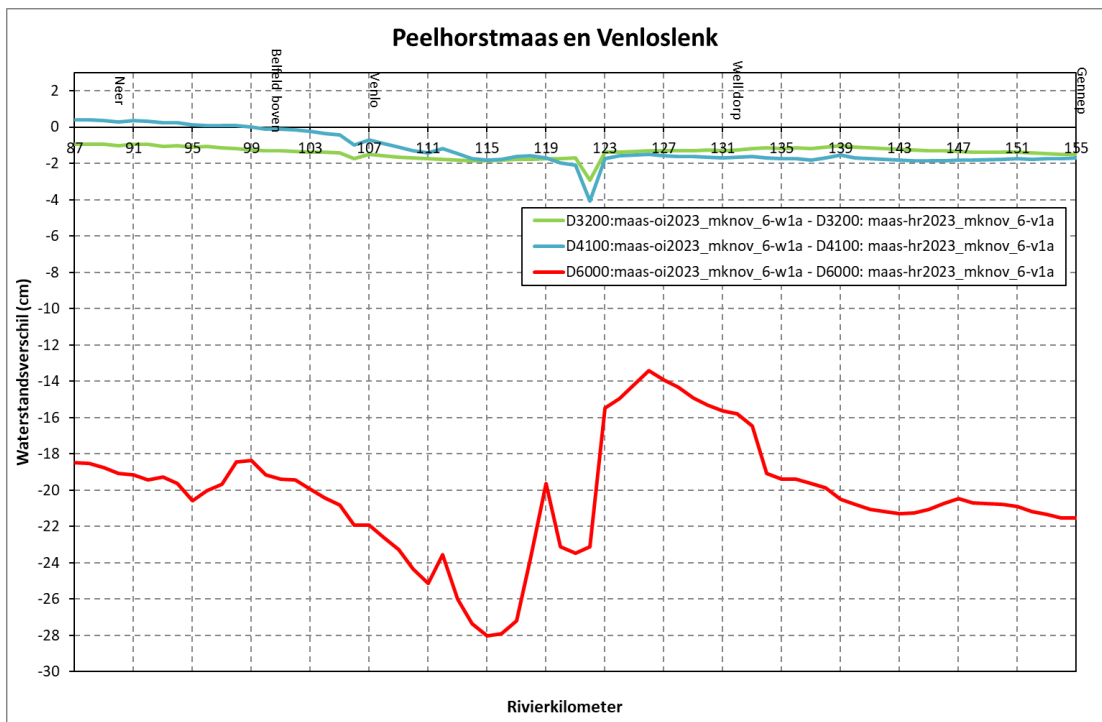
Over het algemeen ligt de maximale waterstand voor de afvoergolven lager dan voor de sommen met dezelfde maximale stationaire afvoeren. Dit komt door de extra berging en topvervlakking die plaatsvindt tijdens de afvoergolf. In het oi2023_mknov-model is op het traject van de Bovenmaas en Grensmaas het waterstandsverschil door de topvervlakking gemiddeld 0,6 cm groter voor de dynamische afvoergolven D4100 en D6000 dan voor de stationaire afvoeren S4100 en S6000, die in de vorige paragraaf zijn beschreven. Op de Benedenmaas en Getijdemaas is het verschil in waterstand tussen het oi2023_mknov-model en hr2023_mknov-model ook ongeveer 0,5 cm groter dan het verschil tussen het oi2023_mknov en hr2023-model.



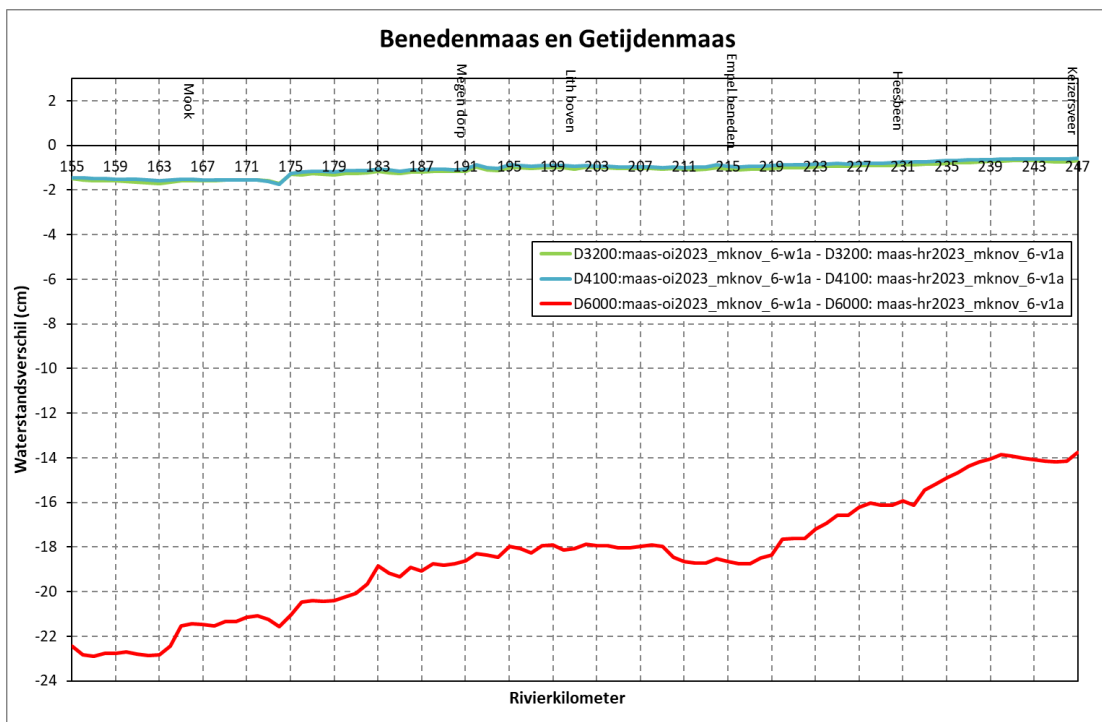
Figuur 3.24 Verschil in waterstand tussen maas-oi2023_mknov_6-w1a en maas-hr2023_mknov_6-v1a voor afvoergolven van 3200 m³/s, 4100 m³/s en 6000 m³/s.
($d_{flowm2d}\text{-maas-oi2023_mknov_6-w1a} - d_{flowm2d}\text{-maas-hr2023_mknov_6-v1a}$).



Figuur 3.25 Traject 1: Verschil in waterstand tussen maas-oi2023_mknov_6-w1a en maas-hr2023_mknov_6-v1a voor afvoergolven van 3200 m³/s, 4100 m³/s en 6000 m³/s.
($d_{flowm2d}\text{-maas-oi2023_mknov_6-w1a} - d_{flowm2d}\text{-maas-hr2023_mknov_6-v1a}$).



Figuur 3.26 Traject 2: Verschil in waterstand tussen maas-oi2023_mknov_6-w1a en maas-hr2023_mknov_6-v1a voor afvoergolven van 3200 m³/s, 4100 m³/s en 6000 m³/s. (dflowfm2d-maas-oi2023_mknov_6-w1a - dflowfm2d-maas-hr2023_mknov_6-v1a).



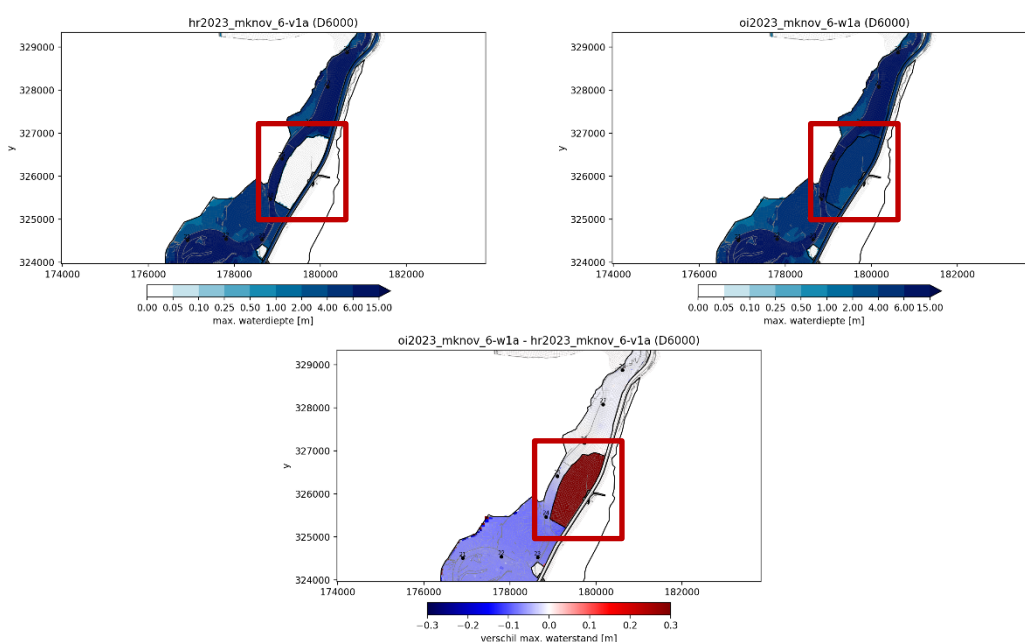
Figuur 3.27 Traject 3: Verschil in waterstand tussen maas-oi2023_mknov_6-w1a en maas-hr2023_mknov_6-v1a voor afvoergolven van 3200 m³/s, 4100 m³/s en 6000 m³/s. (dflowfm2d-maas-oi2023_mknov_6-w1a - dflowfm2d-maas-hr2023_mknov_6-v1a).

3.2.3 Verificatie water tegen modelranden




Ook voor het maas-oi2023_mknov_6-w1a model is voor de som met een afvoergolf van 6000 m³/s gekeken naar de verschillen in inundatie t.o.v. het maas-hr2023_mknov_6-v1a. In de figuren is zichtbaar dat bijna alle gebieden die achter de waterkeringen liggen inderdaad niet overstromen. Wel valt op dat er 2 locaties zijn die in het maas-hr2023_mknov_6-v1a droog blijven, maar wel overstromen in de simulatie van maas-oi2023_mknov_6-w1a.

De eerste locatie (zie rode kader in Figuur 3.28) is ontstaan na de correctie van de twee gaten in de hoogwatervrijelijnen langs het Julianakanaal welke is beschreven in paragraaf 2.1. Deze gaten zijn gecorrigeerd door het opnieuw inmixin van de maatregel ma_hvvlprimairekeringen_a4 in baseline_maas-oi2023_mknov_6-w1. Echter blijkt dat er door het verwijderen van de hoogwatervrijelijnen met een buffer en daarna weer invoegen van de hoogwatervrije lijnen, gaten ontstaan ter hoogte van de dijkkring bij Geulle aan de Maas, namelijk bij rkm. 23 en bij rkm. 26. Dit is gevisualiseerd in Figuur 3.29. Hieruit blijkt dat de maatregel ma_hvvlprimairekeringen_a4 teveel van de al aanwezige hoogwatervrije lijnen in het maas-oi2023_mknov_6-w1 model wist en dat de volgorde van inmixin van belang is. De extra berging van water in het betreffende gebied is ook zichtbaar in de verschillen tussen de maximale waterstanden tijdens de hoogwatergolven voor het maas-oi2023_mknov_6-w1a maas-hr2023_mknov_6-v1a (zie Figuur 3.25).

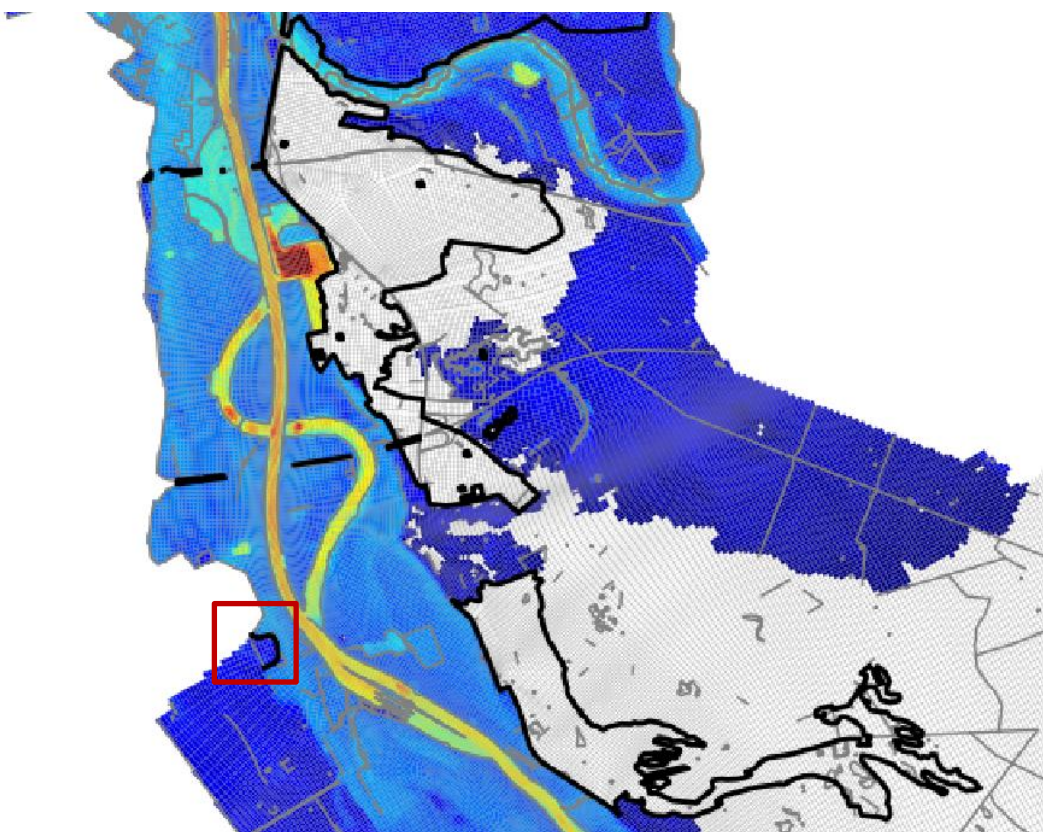
De tweede locatie is ter hoogte van Boxmeer bij rkm. 148 (zie het rode kader in Figuur 3.30). Bij een stationaire afvoer van 6000 m³/s is de waterstand zo hoog dat er water dit gebied instroomt. Dit komt doordat de Bergstraat in Boxmeer eerst door de modelbegrenzing werd afgesloten, maar niet is afgesloten na de modeluitbreiding, omdat er hier geen extra thin dam is toegevoegd. De instroom vindt niet plaats voor een dynamische afvoergolf van 6000 m³/s.



Figuur 3.28 De maximale waterdiepte [m] en het verschil in maximale waterstand rkm. 20-28 voor maas-oi2023_mknov_6-w1a en maas-hr2023_mknov_6-v1a voor de afvoergolf van 6000 m³/s. De grijze lijnen tonen overlaten en de zwarte lijnen geven de positie van hoogwatervrije lijnen weer. Het rode kader toont de instroom van het hoogwatervrije gebied bij Geulle aan de Maas in maas-oi2023_mknov_6-w1a.

1	2	3
maas-oi2023_mknov_6-v1	maas-oi2023_mknov_6-v1 + ma_hwvlprimairekeringen_a4	maas-oi2023_mknov_6-v2
Wat er in maas-oi2023_mknov_6-v1 zit.	Wat de maatregel wist (groene vlak) en weer toevoegt (oranje lijn).	Wat er na inmixen overblijft.
		

Figuur 3.29 Gat in de hoogwatervrijelij bij Geulle aan de Maas in baseline-maas-oi2023_mknov_6-w1



Figuur 3.30 Langs de Bergstraat in Boxmeer is geen hoogwatervrije lijn opgenomen waardoor de woonwijk overstroomt in de simulatie van maas-oi2023_mknov_6-w1a met een stationaire afvoer van 6000 m³/s

Door de modeluitbreiding staat er in het oi2023_mknov model minder vaak water tegen de modelranden dan in het hr2023_mknov model. Doordat de keringen niet overstroombaar worden geacht staat het water vergeleken met het oi2023-model over het algemeen tegen de keringen aan en rijkt het water de modelranden niet. Echter zijn er net zoals in het oi2023 model enkele locaties waar het water nog wel tegen de modelranden rijkt. Dit betreffen dezelfde hoger gelegen gebieden met een groot hoogteverschil op de modelrand.

4 Extra verbeter slag

4.1 Aanleiding

Naar aanleiding van de resultaten en observaties uit hoofdstuk 3 wordt aanbevolen om zowel het maas-oi2023, als het maas-oi2023_mknov-model opnieuw op te bouwen om de gevonden gaten in de dijk van het Julianakanaal in het maas-oi2023 en in de dijk bij Geulle aan de Maas in het maas-oi2023_mknov te dichten.

Met het inmixen van de maatregel ma_hwvprimairekeringen_a5 in maas-oi2023_6-w1 worden de gaten die ontstaan door de uitbreiding met de hoger gelegen gebieden gedicht. Door vervolgens pas de mknov-maatregel (ma_mknov19_a2) in te mixen blijft de volgorde van erase en mixacties correct en zal er geen gat meer ontstaan in de niet-overstroombare dijken bij Geulle aan de Maas.

Daarnaast wordt op basis van hoofdstuk 3 aanbevolen om ter hoogte van de Bergstraat in Boxmeer bij rkm. 148 een extra thin dam toe te voegen in maas-oi2023_mknov_6, zodat dit gebied niet meer achterlangs via de uitgebreide modelbegrenzing instroomt.

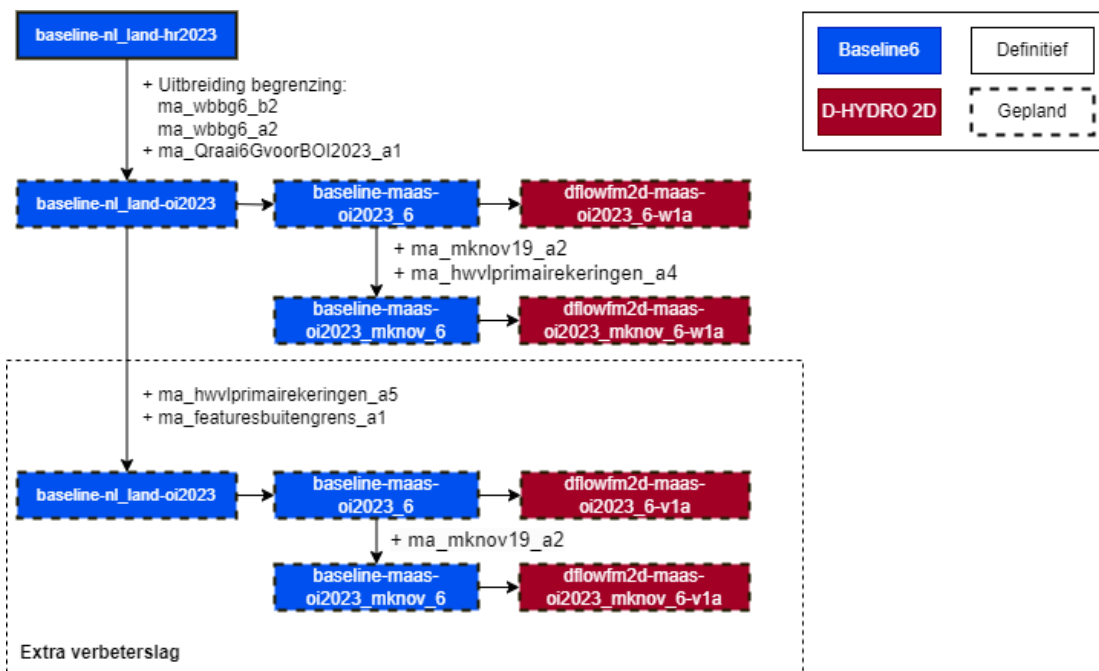
Ook is in 2023 gewerkt aan het terugplaatsen van een aantal onderdelen als waterkeringen/hoogwatervrije lijnen die langs de buitengrenzen van de diverse Maasmodelschematisaties waren verdwenen bij het creëren van het Maas 6G model. De verdwenen elementen kunnen worden teruggeplaatst in schematisaties met de nieuw ontwikkelde maatregel ma_featuresbuitengrens_a1.

Alle hier beschreven verbeteringen zijn uitgevoerd. Dit hoofdstuk beschrijft de modelopzet en de resultaten.

4.2 Modelopzet

4.2.1 Baseline

De nieuwe OI-Maas-schematisatie is ontwikkeld op basis van baseline-nl_land-oi2023_6-v1 (zie hoofdstuk 2.1). In deze schematisatie worden naast de drie maatregelen voor de uitbreiding (ma_wbbg6_b2, ma_wbbg6_a2 en ma_Qraai6GvoorBOI2023_a1) nu ook de maatregelen ma_hwvprimairekeringen_a5 en ma_featuresbuitengrens_a1 ingemixt. Het stroomschema voor de opbouw van de OI-Maas-schematisaties is zichtbaar in Figuur 4.1. In dit figuur is de extra verbeter slag zichtbaar in het onderste kader.



Figuur 4.1 Ontwikkeling oi2023-modellen. Dit is een uitbreiding van Figuur 2.1 met de extra verbeterlag uitgewerkt in het kader.

4.2.2 D-HYDRO

De Baseline schematisaties baseline-maas-oi2023_6-v1 en baseline-maas-oi2023_mknov_6-v1 zijn geconverteerd naar D-HYDRO m.b.v. het rooster maas_40m_v2020_1.61_net.nc en met modelboundary model_boundary_maas_oi2023_6_v1 naar respectievelijk dflowfm2d-maas-oi2023_6-v1a en dflowfm2d-maas-oi2023_mknov_6-v1a.

Voor testberekeningen is gebruik gemaakt van de dynamische hoge afvoergolf D6000 uit de t1-standaardtestsommen met 5 cm zeespiegelstijging ([Van der Deijl, 2023](#)).

4.2.3 Software

Voor de Baseline werkzaamheden is gebruik gemaakt van:

- ArcMap 10.6.1
- Baseline 6.3.1

Voor het maken van de standaardberekeningen:

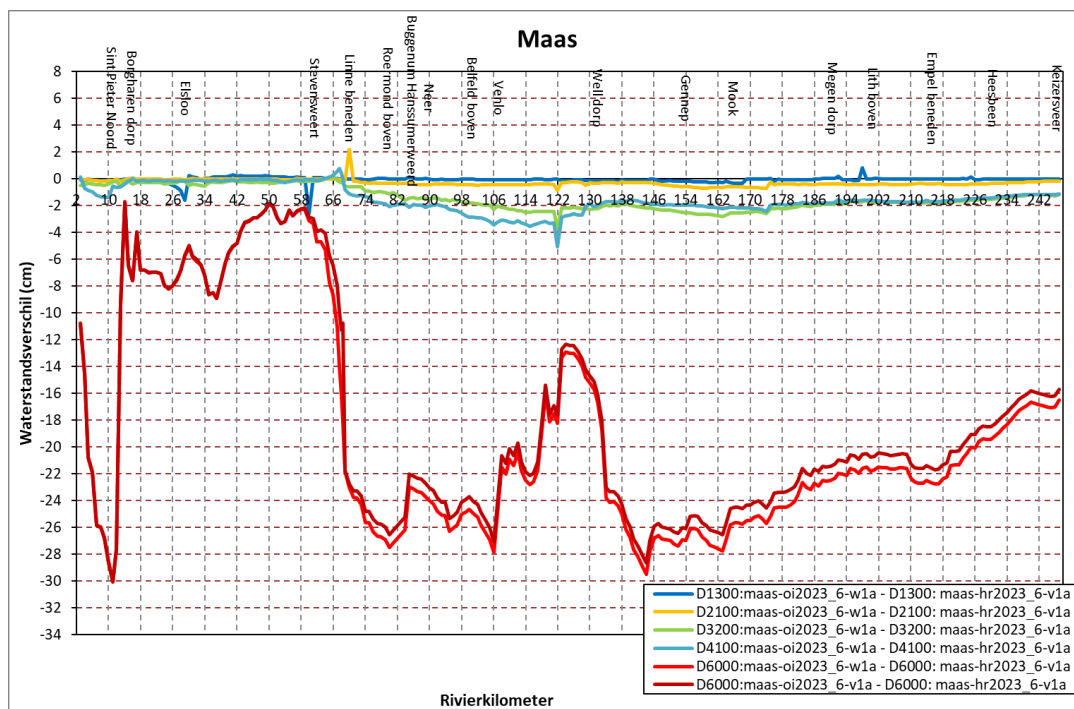
- D-HYDRO Suite 2022.01_patch01

4.3 Resultaten

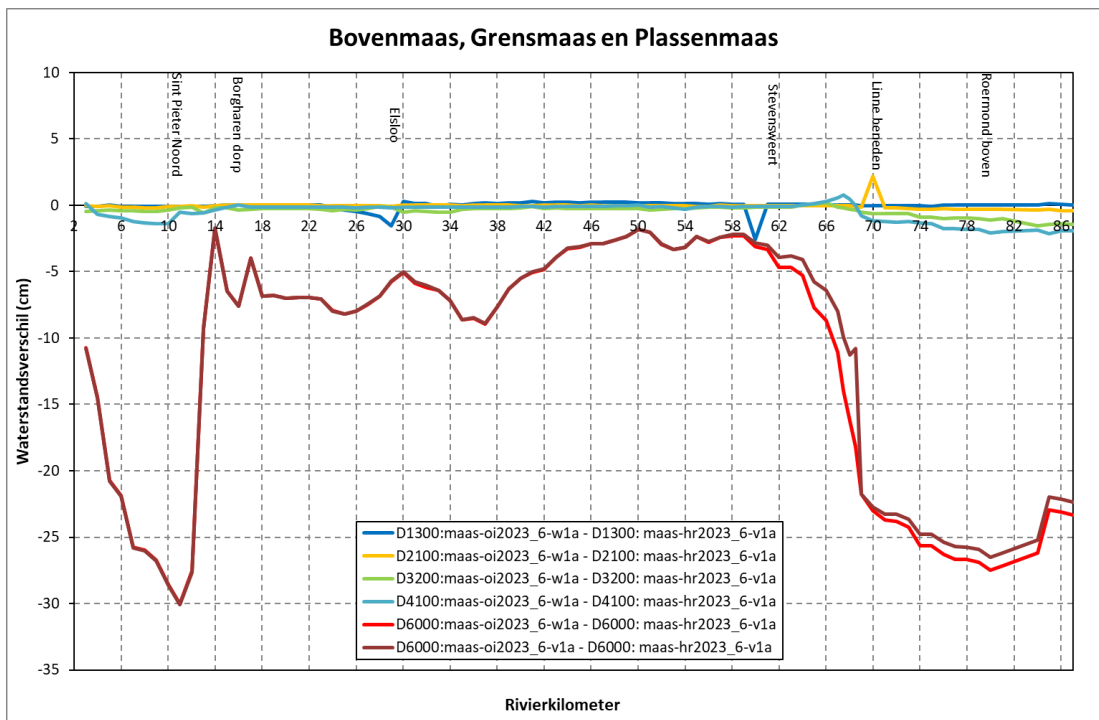
4.3.1 Maas-oi2023_6-v1a versus maas-hr2023_6-v1a

In Figuur 4.2 en Figuur 4.3 zijn de waterstandsverschillen (max13) op de as van de rivier tussen de D-HYDRO modellen maas-oi2023_6-v1a en maas-hr2023_6-v1a weergegeven voor de dynamische (D) berekening met een maximale afvoer van 6000 m³/s. Ook eerdere resultaten van 3200 m³/s, 4100 m³/s en 6000 m³/s voor maas-oi2023_6-w1a zijn in de figuren opgenomen.

Het figuur toont dat de nu gedichte hoogwatervrije lijn langs het Julianakanaal bijna geen effect heeft op de waterstandsverschillen. Er is nu een 0,1 cm lagere waterstand op de Grensmaas in het maas-oi2023_6-v1a ten opzichte van maas-oi2023_6-w1a. Wel is zichtbaar dat er vanaf rkm. 58 een groter verschil ontstaat in de waterstanden. De verlaging in waterstand in maas-oi2023_6-v1a ten opzichte van het hr2023_6-v1a model is gemiddeld 1 cm kleiner dan voor de werkversie maas-oi2023_6-w1a het geval was. Dit komt doordat er hier net iets minder extra berging en een iets kleinere reductie van de afvoer plaatsvindt. Dit zorgt dat de piekwaterstanden op de rivieras tot aan Keizersveer consistent net iets hoger zijn dan in de werkversie van het oi2023-model.



Figuur 4.2 Verschil in waterstand tussen maas-oi2023_6-v1a en maas-hr2023_6-v1a voor de afvoergolf van 6000 m³/s. Ook eerdere resultaten voor maas-oi2023_6-w1a zijn zichtbaar.



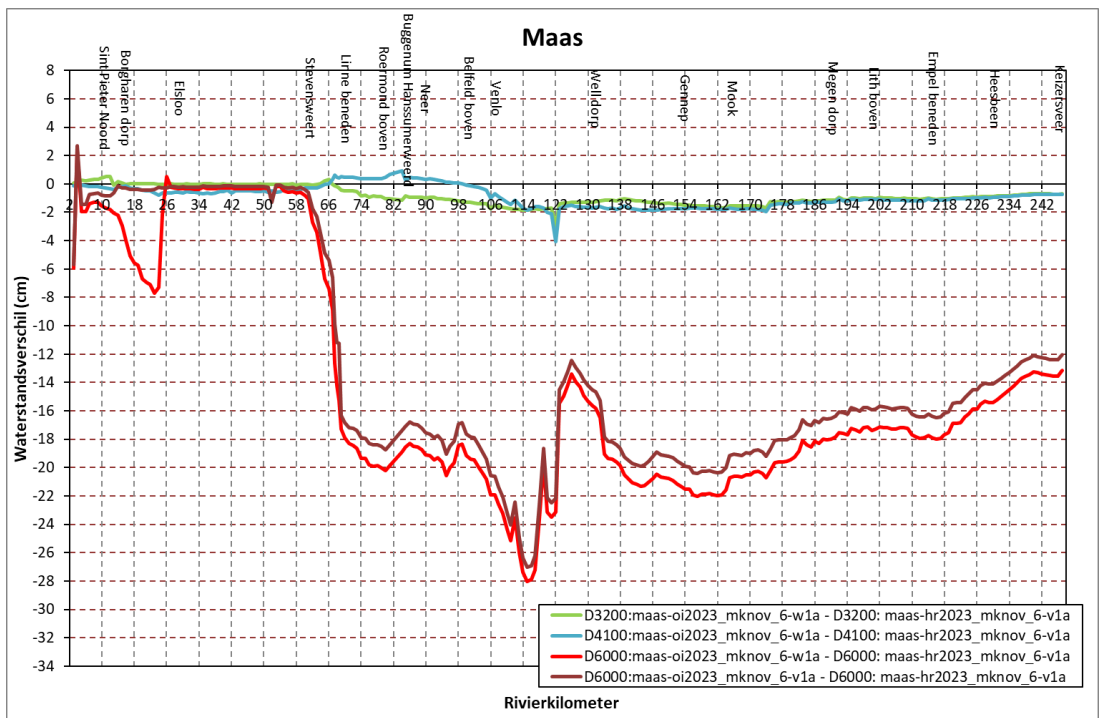
Figuur 4.3 Traject 1: Verschil in waterstand tussen maas-oi2023_6-v1a en maas-hr2023_6-v1a voor de afvoergolf van 6000 m³/s. Ook eerdere resultaten voor maas-oi2023_6-w1a zijn zichtbaar.

Ondanks de vanaf rkm. 58 gemiddeld 1 cm hogere waterstand in het maas-oi2023_6-v1a model dan in maas-oi2023_6-w1a model zijn er naast de eerder genoemde locaties in paragraaf 3.1.3 geen extra locaties ontstaan waar het water tegen de modelranden aanstaat.

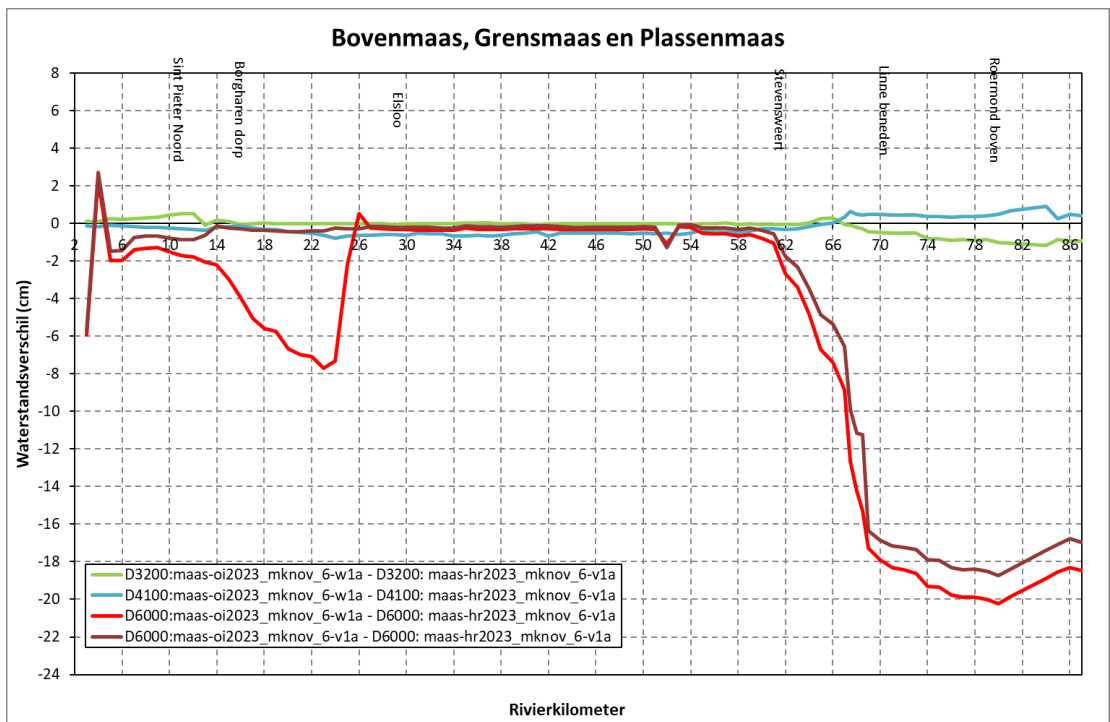
4.3.2 maas-oi2023_mknov_6-v1a versus maas-hr2023_mknov_6-v1a

In Figuur 4.4 en Figuur 4.5 zijn de waterstandsverschillen (max13) op de as van de rivier tussen de D-HYDRO modellen maas-oi2023_mknov_6-v1a en maas-hr2023_mknov_6-v1a weergegeven, voor de dynamische (D) berekening met een maximale afvoer van 6000 m³/s. Ook eerdere resultaten van 3200 m³/s, 4100 m³/s en 6000 m³/s voor maas-oi2023_mknov_6-w1a zijn in de figuren opgenomen.

Het gat dat in de werkversie maas-oi2023_mknov_6-w1a was ontstaan in de niet overstroombare kering bij Geulle aan de Maas (zie Figuur 3.28) is in de versie maas-oi2023_mknov_6-w1a gedicht. Dit is zichtbaar in Figuur 4.6 en Figuur 4.4. Het verschil in waterstand vergeleken met hr2023_mknov_6-v1a loopt nu niet meer op (door het grote onterechte bergende volume) tot -8 cm bij rkm. 25, maar het blijft nu tot aan rkm. 58 net onder -1 cm.



Figuur 4.4 Verschil in waterstand tussen maas-oi2023_mknov_6-v1a en maas-hr2023_mknov_6-v1a voor de afvoergolf van 6000 m³/s. Ook eerdere resultaten van 3200 m³/s, 4100 m³/s en 6000 m³/s voor maas-oi2023_mknov_6-w1a zijn zichtbaar.

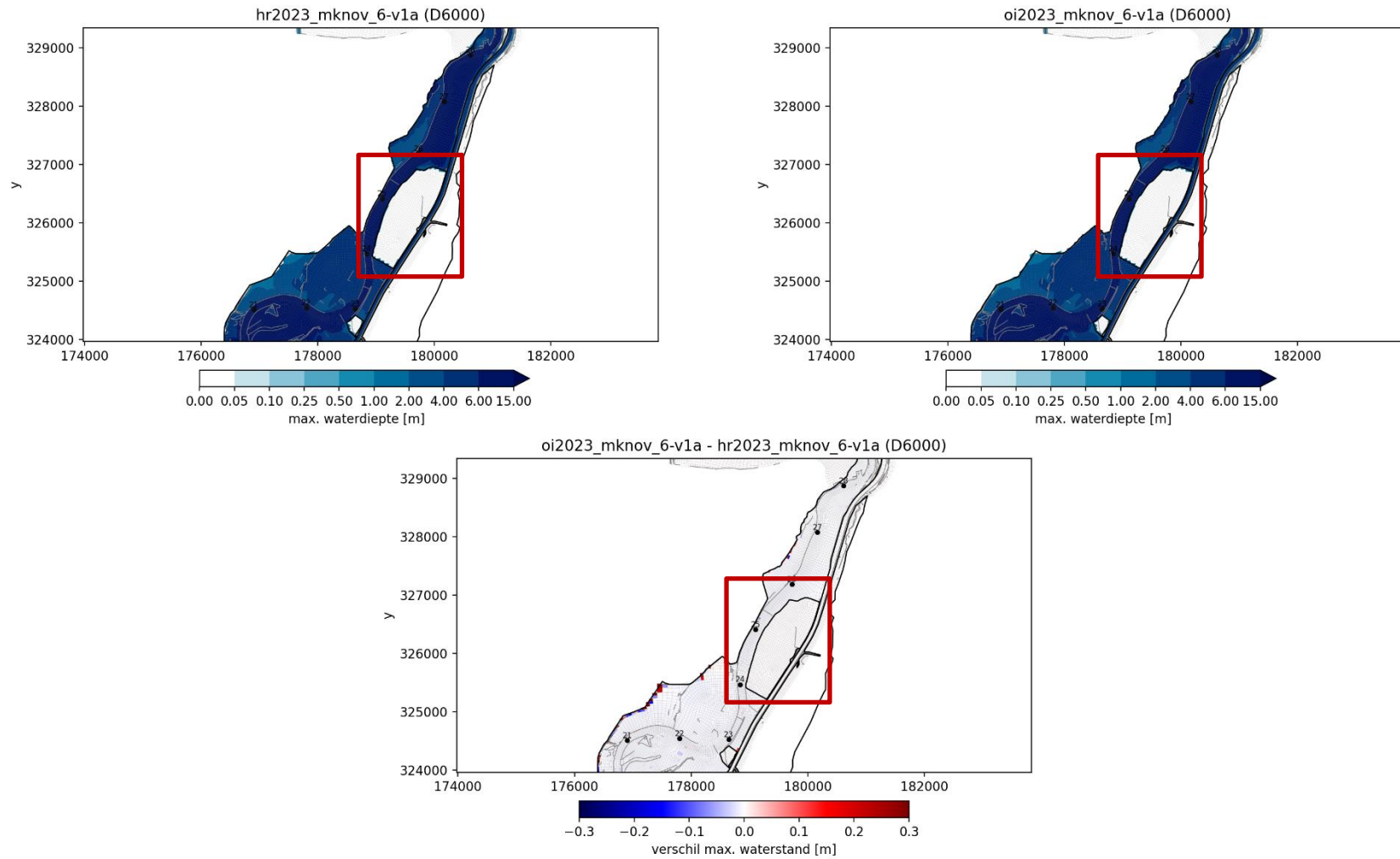


Figuur 4.5 Traject 1: Verschil in waterstand tussen maas-oi2023_mknov_6-v1a en maas-hr2023_mknov_6-v1a voor de afvoergolf van 6000 m³/s. Ook eerdere resultaten van 3200 m³/s, 4100 m³/s en 6000 m³/s voor maas-oi2023_mknov_6-w1a zijn zichtbaar.

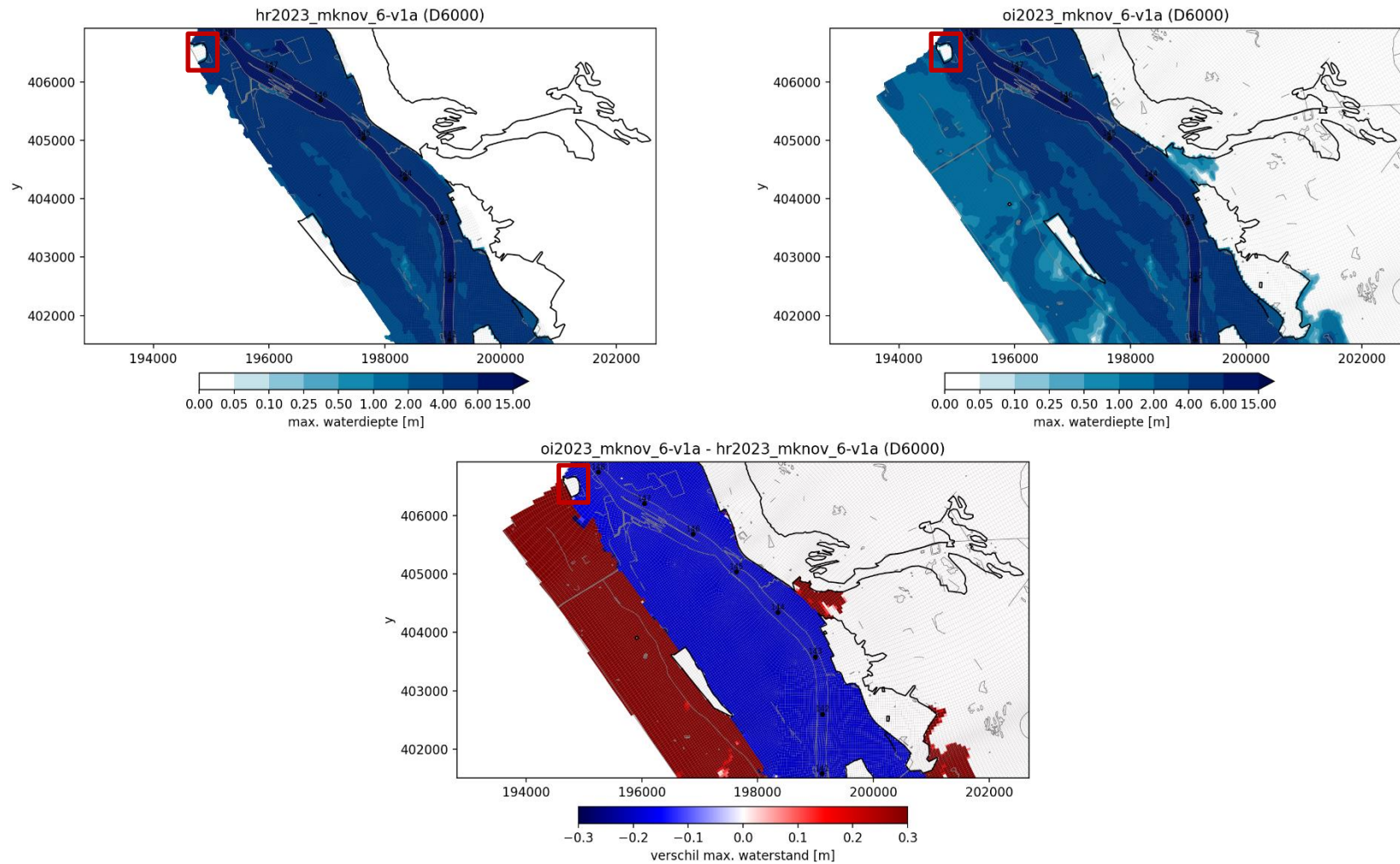
Figuur 4.4 toont dat na rkm. 58 het waterstandsverschil tussen het oi2023 en hr2023-model snel oploopt voor de afvoergolf van 6000 m³/s. De definitieve versie oi2023_mknov_6-v1a toont dezelfde variatie in het waterstandsverschil als oi2023_mknov_6-w1a, maar het verschil is gemiddeld 3 tot 4 cm kleiner met een maximum verschil van -27 cm bij rkm. 115, doordat er bovenstrooms minder topvervlakking plaatsvindt nu het gat bij Geulle aan de Maas is gedicht.

Doordat de waterstand in het maas-oi2023_mknov_6-v1a 3 tot 4 cm hoger ligt dan in maas-oi2023_mknov_6-w1a zijn er meer locaties ontstaan waar het water nu tegen de modelranden aanstaat. Een van deze locaties is ter hoogte van rkm. 107 waar het water nu bij de linkeroever rijkt tot aan het talud van de N273 (zie Figuur 4.8). Ook iets verderop bij rkm. 112 (zie Figuur 4.9), rkm. 118 en rkm. 120 staat er nu bij de linkeroever meer water tegen de modelrand aan. Bij rkm. 112, 118 en 120 volgt deze modelrand een hoger gelegen gebied. Er is dus een groot verhang op de modelrand waardoor de verwachting is dat extra toevoeging van hoger gelegen gebieden weinig effect heeft op de waterstanden.

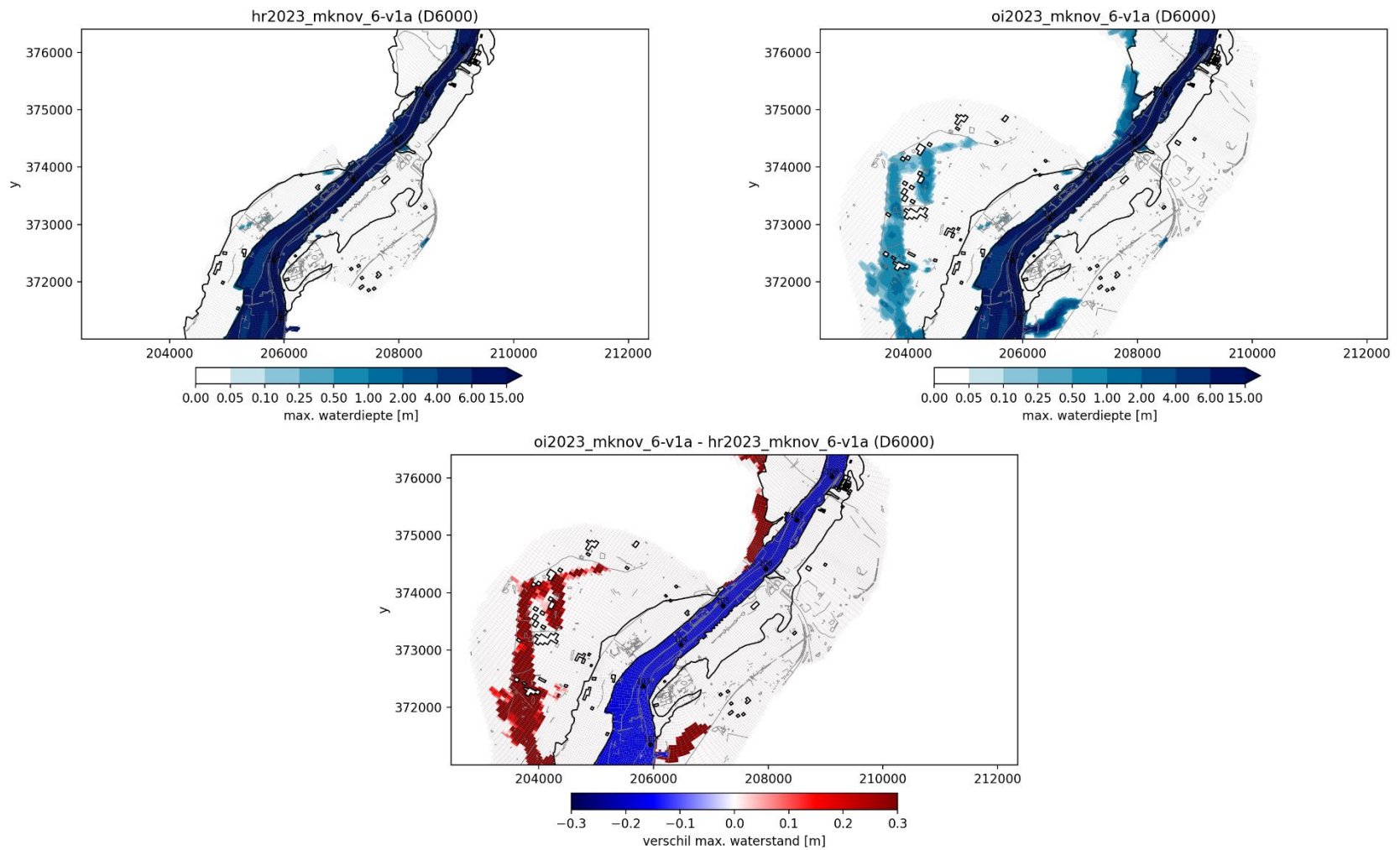
Op het traject tussen rkm. 137 en rkm. 148 (zie Figuur 4.7) staat het water nu ook tegen de modelrand van de linkeroever aan. De modelrand volgt hier echter de hoger gelegen spoorlijn.



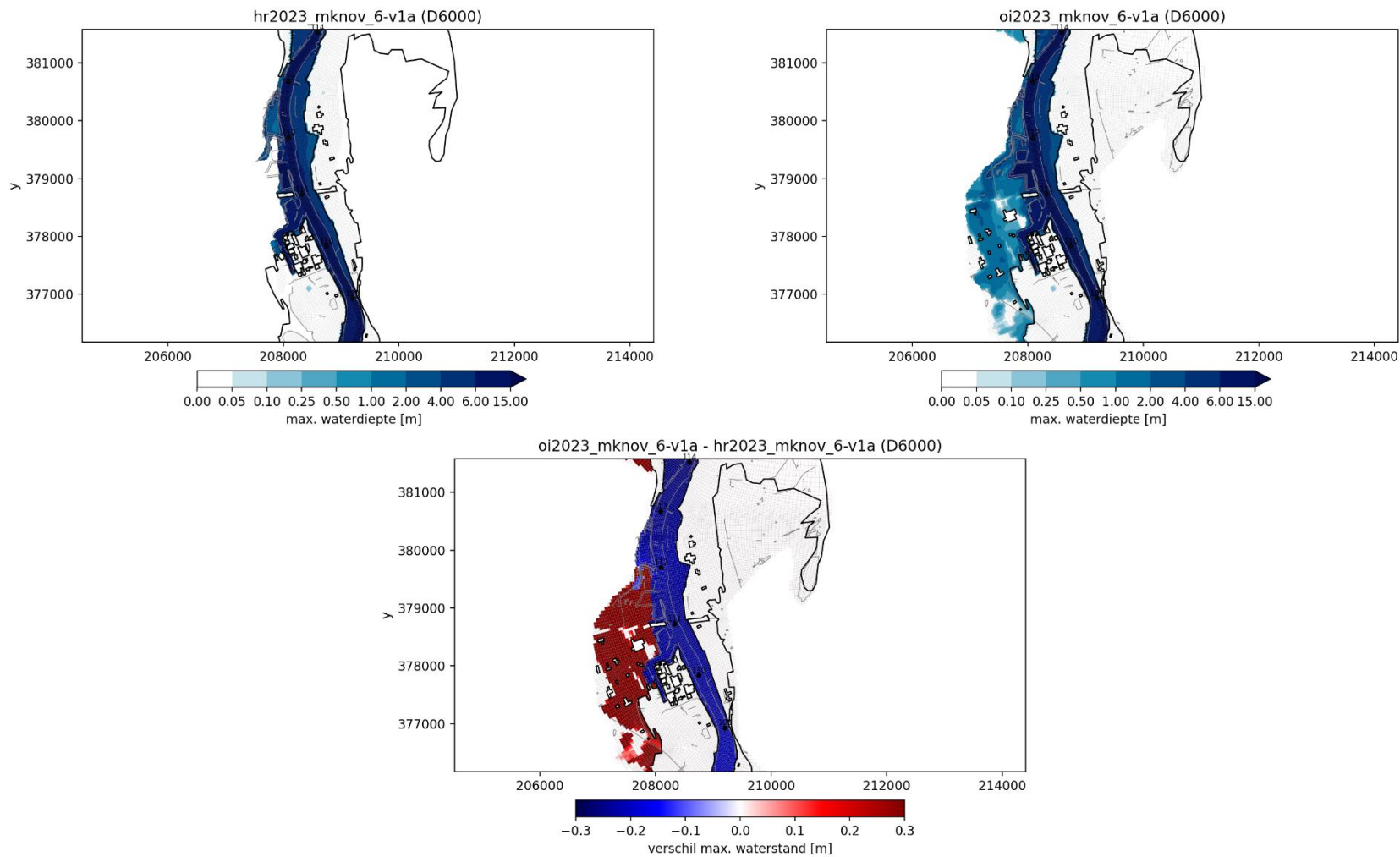
Figuur 4.6 De maximale waterdiepte [m] en het verschil in maximale waterstand rkm. 20-28 voor maas-oi2023_mknov_6-v1a en maas-hr2023_mknov_6-v1a voor de afvoergolf van 6000 m³/s. De grijze lijnen tonen overlaten en de zwarte lijnen geven de positie van hoogwatervrije lijnen weer. Het rode kader toont het hoogwatervrije gebied bij Geulle aan de Maas dat instroomde in maas-oi2023_mknov_6-w1a (zie Figuur 3.28)



Figuur 4.7 De maximale waterdiepte [m] en het verschil in maximale waterstand rkm. 142-148 voor maas-oi2023_mknov_6-v1a en maas-hr2023_mknov_6-v1a voor de afvoergolf van 6000 m³/s. De grijze lijnen tonen overlaten en de zwarte lijnen geven de positie van hoogwatervrije lijnen weer. Het rode kader toont het hoogwatervrije gebied bij Boxmeer dat instroomde in maas-oi2023_mknov_6-w1a voor een stationaire afvoer van 6000 m³/s (zie Figuur 3.30)



Figuur 4.8 De maximale waterdiepte [m] en verschillen in maximale waterstand ter hoogte van rkm. 102 – 108 voor maas-oi2023_6-w1a en maas-hr2023_6-v1a voor de afvoergolf van 6000 m³/s. De grijze lijnen tonen overlagen en de zwarte lijnen geven de positie van hoogwatervrije lijnen.



Figuur 4.9 De maximale waterdiepte [m] en verschillen in maximale waterstand ter hoogte van rkm. 108 – 114 voor maas-oi2023_6-w1a en maas-hr2023_6-v1a voor de afvoergolf van 6000 m³/s. De grijze lijnen tonen overlaten en de zwarte lijnen geven de positie van hoogwatervrije lijnen.

5 Conclusies

Voor het ontwerp instrumentarium (OI; onderdeel van BOI2023) is een model ontwikkeld dat de huidige situatie van de Maas (2019) aangevuld met verleende vergunningen, vegetatielegger en toekomstige projecten met status toetst aan het zichtjaar van 2075 en 2125. Hiervoor is het hr2023-model uitgebreid met extra hoger gelegen gebieden vanwege de wens om te rekenen met een model waarbij er bij extreme afvoeren (6000 m³/s) geen water tegen de modelrand staat.

De opbouw van het OI-model is in 2 stappen uitgevoerd. De resultaten van de testberekeningen met de werkversie van het model (w1a, zie hoofdstuk 2 en 3) zijn vergelijkbaar met de resultaten van de definitieve versie (v1a, zie hoofdstuk 4) van het model. De verschillen tussen w1a en v1a zijn te verklaren met de laatste verbeteringen. Dit betekent dat de conclusies van de berekeningen van de werkversie ook gebruikt worden voor de definitieve versie van het OI-model.

5.1 maas-oi2023_6-v1a

5.1.1 Stationaire afvoeren

Bij de stationaire afvoerberekeningen met een afvoer van 6000 m³/s zijn er grote verschillen tussen rkm. 0 en 18 en rkm. 60 en 164 in berekende waterstand (last25) tussen de modellen maas-oi2023_6-w1a en maas-hr2023_6-v1. Dit is ook precies het gebied tot waar in de oi-modelschematisatie de uitbreiding met 'hoger gelegen gebieden' is opgenomen.

Voor de stationaire berekeningen met een afvoer van 4100 m³/s schommelt het verschil rond de -2 cm tot -4 cm, voor S3200 rond de -0,5 tot 0,5 cm en voor S2100 is het verschil in de orde van -0,0 tot 0,2 cm. Door het faseverschil in de schommelingen in de stuwsturing ([Fujisaki et al., 2023](#) & [van den Hoek en van der Deijl, 2023](#)) tussen het oi2023_6-w1a en hr2023_6-v1a model is er een onregelmatig waterstandverschil in de orde van -1 tot 0,5 cm zichtbaar voor het laagste afvoerniveau (S__50). Voor S_250 wordt ook de stuw van Borgharen instabiel, wat leidt tot een verschil van 0,5 cm.

5.1.2 Dynamische afvoeren

Voor de dynamisch afvoerberekeningen zijn de verschillen in maximale waterstand berekend met maas-oi2023_6-v1a en maas-hr2023_6-v1a het grootst bij de berekening met een afvoer van 6000 m³/s. Voor de andere dynamische afvoerberekeningen, met afvoeren van 1300 m³/s t/m 4100 m³/s, zijn de verschillen kleiner. Door extra waterberging in de geïnundeerde gebiedsuitbreidingen vindt extra topvervlakking plaats tijdens de afvoergolven. Hierdoor zijn de waterstanden in het oi2023-model voor de hoogwatergolven lager dan het geval is in de stationaire sommen met dezelfde maximale afvoer. Vooral rondom rkm. 66 vindt extra waterberging en topvervlakking plaats voor de afvoeren vanaf 6000 m³/s. Dit zorgt voor een consistente verlaging van afvoer en piekwaterstanden op de rivieras tot aan Keizersveer.

5.2 maas-hr2023_mkno v_6-v1

5.2.1 Stationaire afvoeren

Ook bij de stationaire berekeningen met maas-oi2023_mkno v_6-w1a en maas-hr2023_mkno v_6-v1 treden er grote verschillen op bij de afvoer van 6000 m³/s tussen rkm. 0 en 24 en tussen rkm. 60 en 155. Voor de berekening met een afvoer van 4100 m³/s ligt het verschil rond de -2 cm vanaf rkm. 74 tot aan rkm. 123, voor S4100 schommelt het verschil rond de -2 cm vanaf rkm. 69 tot aan rkm. 123 en voor S3200 schommelt het verschil tussen de -0,2 en -0,4 cm vanaf rkm. 69

5.2.2 Dynamische afvoeren

Bij de dynamische afvoerberekeningen met de mkno v modellen maas-oi2023_mkno v_6-v1a en maas-hr2023_mkno v_6-v1 zijn de verschillen in maximale waterstand het grootst tussen de D6000 berekeningen. Over het algemeen ligt de maximale waterstand voor de afvoergolven lager dan voor de sommen met dezelfde maximale stationaire afvoeren. Dit komt door de extra berging en topvervlakking die plaatsvindt tijdens de afvoergolf. In het oi2023_mkno v-model is op het traject van de Bovenmaas en Grensmaas de waterstand door de topvervlakking gemiddeld 0,6 cm lager voor de dynamische afvoergolven D4100 en D6000 dan voor de stationaire afvoeren S4100 en S6000, die in de vorige paragraaf zijn beschreven. Op de Benedenmaas en Getijdemaas is de waterstand van het oi2023_mkno v-model ook ongeveer 0,5 cm lager voor de dynamische afvoeren. Voor D4100 ligt de waterstand vanaf rkm. 66 tot rkm. 95 maximaal 1 cm hoger in het oi2023_mkno v model. Deze toename in waterstand is niet zichtbaar voor de afvoergolven D3200 en D6000, noch voor de afvoergolven in het oi2023-model, noch in de stationaire sommen van beide modellen. Het wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het hoogwatervrije gebied bij Buggenum waardoor hier het doorstroomprofiel relatief sterk afneemt voor deze afvoer. Dit veroorzaakt ook bovenstrooms van dit punt een verhoging van de waterstanden.

5.3 Verificatie water tegen de model randen

5.3.1 maas-oi2023_6-v1a

Voor OI is het de wens om te rekenen met een model waarbij zelfs bij extreme afvoeren (6000 m³/s) geen water tegen de modelranden voorkomt. Uit de maximale waterdieptes van de dynamische afvoer van 6000 m³/s van zowel het maas-oi2023_6-v1a als het maas-hr2023_6-v1a blijkt dat het totale gebied dat overstroomt toe is genomen door de toevoeging van de hoger gelegen gebieden. Er zijn over het algemeen nog droge roosterzellen langs de randen van de toegevoegde hoger gelegen gebieden aanwezig. Dit toont aan dat de toevoeging van de hoger gelegen gebieden op deze locaties voldoende is en er geen water tegen de modelranden staat.

Er zijn echter ook nog steeds locaties waar het water rijkt tot aan de modelgrens. Echter blijkt voor al deze locaties dat of 1) de waterdiepte op deze locaties zeer klein is, of 2) dat het water staat tegen de steile hellingen van nog hoger gelegen gebieden of 3) dat het water staat tegen het talud van snelwegen of spoorwegen of 4) dat het water staat tegen primaire keringen. De invloed op de berekende waterstanden zal daarom ook zeer klein zijn en verdere uitbreiding is niet nodig voor afvoeren tot 6000 m³/s .

5.3.2 maas-oi2023_mknov_6-v1

Ook voor het maas-oi2023_mknov_6-v1a model is gekeken naar de verschillen in inundatie t.o.v. het maas-hr2023_mknov_6-v1a voor de berekening met een stationaire afvoer van 6000 m³/s. Uit de waterdieptes blijkt dat bijna alle gebieden die achter de waterkeringen liggen en die droog bleven in het hr2023_mknov_6-v1a ook niet overstromen in het maas-oi2023_mknov_6-v1a.

Door de modeluitbreiding staat er in het oi2023_mknov model minder vaak water tegen de modelranden dan in het hr2023_mknov model. Doordat de keringen niet overstroombaar worden geacht staat het water vergeleken met het oi2023-model over het algemeen tegen de keringen aan en rijkt het water de modelranden niet. Echter zijn er net zoals in het oi2023 model enkele locaties waar het water nog wel tegen de modelranden rijkt. Dit betreffen over het algemeen dezelfde hoger gelegen gebieden of taluds van snel- en spoorwegen met een groot hoogteverschil op de modelrand.

6 Aanbevelingen

Aanbevolen wordt om in een volgende actualisatie van de oi-modellen de initiële condities voor waterstanden opnieuw af te leiden en niet te baseren op de condities van het hr2023 model, maar op het initiële waterstandsveld in baseline. Er is nu namelijk in de oi2023-modellen een ongeveer 30 cm lagere waterstand in de Boschmolenplas en De Lange Vlieter ter hoogte van rkm. 68. Voor de lagere afvoeren is er nog geen verbinding tussen deze plassen en de Maas. Bij hogere afvoeren vanaf 4100 m³/s is er in de plassen extra waterberging en een extra reductie van de waterstand in de oi2023-modellen.

In het hr2023-model, dat gebaseerd is op het beno19-model, ontbreken de in- en uitlaatwerken bij de maatregelen van Elerweerd, Heerenlaak en Contelmo. Op 1 inlaatwerk na zijn deze goed opgenomen in het beno22-model dat in het jaar 2023 is opgebouwd. Het hr2023-model is nog niet formeel vastgesteld omdat er nog discussies lopen, dus voor een eventuele volgende actualisatie van het oi-model zou gekozen kunnen worden om het beno22- model te gebruiken als basis of de actualisatie maatregelen van beno19 naar beno22 ook door te voeren in het huidige oi-model.

7 Referenties

- De Jong (2021). Randvoorwaarden dynamische afvoergolven Maas-model voor toepassing in BOI. Deltares memo 11206813-002-ZWS-0019 concept v0.6 d.d. 10 december 2021
- De Jong, J.S., E. van der Deijl & A. Spruyt (2021) Synthetische randvoorwaarden zesde generatie. Deltares memo 11205258-002-ZWS-0009 v0.13 15 november 2021
- De Waal, H., A. Spruyt en A.J. Smale (2013a). Uitgangspunten productieberekeningen WT12017. Aansturing, schematisaties en uitvoerlocaties. Deltares rapport 1207807-009-HYE-0006-v2, oktober 2013
- Fujisaki, A., R. Agtersloot, A. Becker. (2023). B&O-modellen en deelmodellen Maas. Deltares rapport 11208053-002-ZWS-0005, versie 1.0, 10 juli 2023
- Ottevanger, W., R. Plieger (2020) Roosteruitbreiding Maas. Extreem hoogwater. Deltares rapport 11203684-010-ZWS-0001
- Rijkswaterstaat en Deltares (2022). Nog af te stemmen punten tussen KPP-project Hydraulica Schematisaties met BOI over de D-HYDRO modelschematisaties. Notulen van overleggen- Versie 9: 2 maart 2022
- RWS-ZN (2022). Metadata voor de maatregel ma_wbbg6_a2 (Metadata ma_wbbg6_a2.doc), 12 oktober 2022.
- Spruyt, A. & T. Visser (2022). Werkzaamheden Baseline-NL 2021: Actualisatie j19-v2, beno19 en hr2023. Deltares rapport 11206813-017-ZWS-0008, Versie 0.3. Definitief. 24 maart 2022.
- Van den Hoek, A. & E.C. van der Deijl (2023). Actualisatie zesde-generatie Maasmodel 2023 – schematisatie dflofm2d-maas-j23_6. Deltares rapport 1209233-002-ZWS-0005 v1.0 13 juli 2023
- Van der Deijl, E.C. (2023). Update van de standaardsommen JAMM2022 naar JAMM 2023. Deltares-memo 11209233-002-ZWS-003 v1.0
- Van der Wijk (2022). Afleiden QH-relatie Rijn-Maasmonding voor Rijntakken en Maas. Deltares memo 11206813-006-ZWS-0008 v4.0 d.d. 1 maart 2022.
- Van Lente & Da Silva (2021). RWS INFORMATIE; Begrenzing rivierbed in lijn met actuele normering. Definitief. 6 augustus 2021.

A Bijlage maatregellijsten baseline

A.1 maatregellijst baseline-nl_land-oi2023_6-v1

```
#####  
# Baseline_nl_land  
#  
# De naam voor deze variant is : baseline-nl_land-oi2023_6-v1  
# De basis voor deze variant is : baseline-nl_land-hr2023_6-v1  
#  
#####  
#  
# Lianita Suryawinata (RWS-ZN)  
# 12-10-2022  
#  
# Met deze maatregel_lijst wordt een variant gemaakt waarmee het winterbed van de Maas in baseline  
nl model wordt uitgebreid.  
# een aantal waterkeringen en hoogwatervrije lijnen zijn verwijderd door de maatregel ma_wbbg_b2  
# Door de maatregel ma_wbbg6_a2 wordt in totaal ong 200 km2 aan gebieden langs de rand van het  
model toegevoegd.  
# Door maatregel ma_Qraai6GvoorBOI2023_a1 worden alle cross secties toegevoegd  
# PR4375.10  
#  
# Ton Visser (Deltares)  
# 10-10-2023  
# De maatregel ma_hwvprimairekeringen_a4 zit al in de hr-schematisatie, maar wordt voor een paar  
lijnen ongedaan gemaakt door  
# de maatregel ma_wbbg6_b2. Door ma_hwvprimairekeringen_a5 opnieuw in te mixen wordt deze fout  
weer hersteld.  
# (ma_hwvprimairekeringen_a5=ma_hwvprimairekeringen_a4 + verbetering)  
#  
# Lianita Suryawinata (RWS-ZN)  
# 23-10-2023  
#  
# De maatregel ma_featuresbuitengrens_a1 voegt de weggeknipte Elevated_line_routes en  
Flow_blocking_lines langs de grens van het Maas model toe.  
#  
#####  
#  
..\nederland-maatr_6\oi\ma_wbbg6_b2  
..\nederland-maatr_6\oi\ma_wbbg6_a2  
..\nederland-maatr_6\oi\ma_Qraai6GvoorBOI2023_a1  
..\nederland-maatr_6\beno\ma_hwvprimairekeringen_a5  
..\nederland-maatr_6\act\ma_featuresbuitengrens_a1  
#  
# *****  
# Einde maatregellijst  
# *****
```

A.2 maatregellijst baseline-maas-oi2023_mknov_6-v1

```
#####  
# Baseline_nl_land  
#  
# De naam voor deze variant is : baseline-maas-oi2023_mknov_6-v1  
# De basis voor deze variant is : baseline-maas-oi2023_6-v1  
#  
#####  
#  
# Deltares  
# 17-10-2022  
#  
#####  
#  
# ..\..\Maas-maatr_6\niet overstroombare_kaden\ma_mknov19_a2  
#  
# *****  
# Einde maatregellijst  
# *****
```

B Waterstandsverschillen op de rivieras

B.1 Verschilanalyse maas-oi2023_6-w1a versus maas-hr2023_6-v1a stationaire berekeningen

De Excel met de absolute waterstanden, verschillen in waterstanden en de figuren met waterstandsverschillen (zie Figuur 3.1, Figuur 3.2, Figuur 3.3 en Figuur 3.4) voor de stationaire berekeningen van maas-oi2023_6-w1a en maas-hr2023_6-w1a is apart opgeleverd als bijlage B1.

11209233-002-ZWS-0011_v1.0-Ontwikkeling modellen ontwerpinstrumentarium Maas – Appendices - Appendix_B1_verschil_waterstand_last25_oi2023_6-w1a-hr2023_6-v1a.xlsx

B.2 Verschilanalyse maas-oi2023_6-w1a versus maas-hr2023_6-v1a dynamische berekeningen

De Excel met de absolute waterstanden, verschillen in waterstanden en de figuren met waterstandsverschillen (zie Figuur 3.10, Figuur 3.11, Figuur 3.12 en Figuur 3.13) voor de dynamische berekeningen van maas-oi2023_6-w1a en maas-hr2023_6-w1a is apart opgeleverd als bijlage B2.

11209233-002-ZWS-0011_v1.0-Ontwikkeling modellen ontwerpinstrumentarium Maas – Appendices - Appendix_B2_verschil_waterstand_max13_oi2023_6-w1a-hr2023_6-v1a.xlsx

B.3 Verschilanalyse maas-oi2023_mknov_6-w1a versus maas-hr2023_mknov_6-v1a stationaire berekeningen

De Excel met de absolute waterstanden, verschillen in waterstanden en de figuren met waterstandsverschillen (zie Figuur 3.20, Figuur 3.21, Figuur 3.22 en Figuur 3.23) voor de stationaire berekeningen van maas-oi2023_mknov_6-w1a en maas-hr2023_mknov6-w1a is apart opgeleverd als bijlage B3.

11209233-002-ZWS-0011_v1.0-Ontwikkeling modellen ontwerpinstrumentarium Maas – Appendices - Appendix_B3_verschil_waterstand_last25_oi2023_mknov_6-w1a-hr2023_mknov_6-v1a.xlsx

B.4 Verschilanalyse maas-oi2023_mknov_6-w1a versus maas-hr2023_mknov_6-v1a dynamische berekeningen

De Excel met de absolute waterstanden, verschillen in waterstanden en de figuren met waterstandsverschillen (zie Figuur 3.24, Figuur 3.25, Figuur 3.26 en Figuur 3.27) voor de dynamische berekeningen van maas-oi2023_mknov_6-w1a en maas-hr2023_mknov6-w1a is apart opgeleverd als bijlage B4.

11209233-002-ZWS-0011_v1.0-Ontwikkeling modellen ontwerpinstrumentarium Maas – Appendices - Appendix_B4_verschil_waterstand_max13_oi2023_mknov_6-w1a-hr2023_mknov_6-v1a.xlsx

B.5 Verschilanalyse maas-oi2023_6-v1a versus maas-hr2023_6-v1a dynamische berekening

De Excel met de absolute waterstanden, verschillen in waterstanden en de figuren met waterstandsverschillen (zie Figuur 4.2 en Figuur 4.3) voor al de dynamische berekeningen van maas-oi2023_6-w1a en maas-hr2023_6-v1a en voor de dynamische hoge afvoergolf van 6000 m³/s voor maas-oi2023_6-v1a is apart opgeleverd als bijlage B5.

11209233-002-ZWS-0011_v1.0-Ontwikkeling modellen ontwerpinstrumentarium Maas – Appendices - Appendix_B5_verschil_waterstand_max13_oi2023_6-v1a-hr2023_6-v1a.xlsx

B.6 Verschilanalyse maas-oi2023_mknov_6-v1a versus maas-hr2023_mknov_6-v1a dynamische berekening

De Excel met de absolute waterstanden, verschillen in waterstanden en de figuren met waterstandsverschillen (zie Figuur 4.4 en Figuur 4.5) voor al de dynamische berekeningen van maas-oi2023_mknov_6-w1a en maas-hr2023_mknov6-v1a en voor de dynamische hoge afvoergolf van 6000 m³/s voor maas-oi2023_mknov6-v1a is apart opgeleverd als bijlage B6.

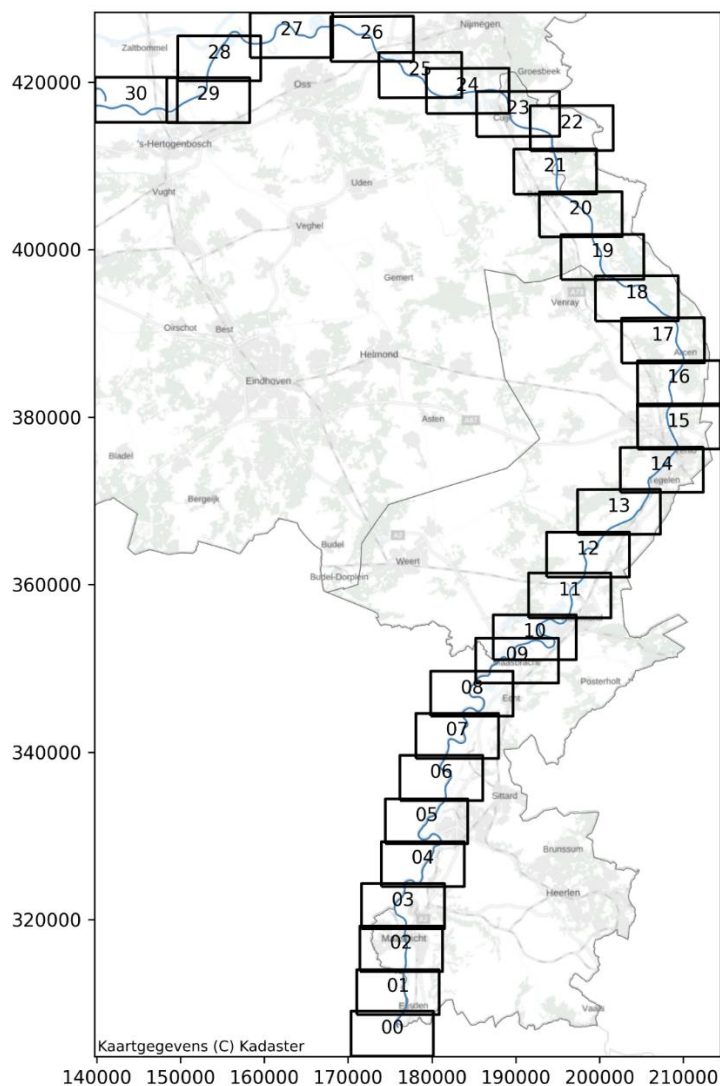
11209233-002-ZWS-0011_v1.0-Ontwikkeling modellen ontwerpinstrumentarium Maas – Appendices - Appendix_B6_verschil_waterstand_max13_oi2023_mknov_6-v1a-hr2023_mknov_6-v1a.xlsx

C Kaarten

Voor de verschilanalyse tussen zowel het maas-oi2023 versus maas-hr2023 als het maas-oi2023_mknov versus maas-hr2023_mknov zijn kaarten met zowel de maximale waterdieptes of maximale waterstanden en de verschillen bijgeleverd als digitale bijlagen. De kaarten zijn gemaakt en genummerd volgens de kaartbladen in Figuur C.1.

Voor de dynamische sommen is de maximale waterdiepte of maximale waterstand zoals bepaald uit de max13 uitvoer van de fou.nc-bestanden gebruikt.

Voor de stationaire sommen wordt de waterstand of waterdiepte van de laatste tijdstap weergegeven aangezien de last25 waterstand voor de hr2023-modellen nog geen deel uitmaakte van het fou.nc-bestand. De maximale waterstanden en waterdieptes en verschillen in waterstanden in de kaartbeelden kunnen hierdoor soms wel enige afwijking vertonen van de last25 waterstanden en verschillen in waterstand zoals bepaald uit de tijdseries voor de uitvoerpunten op de rivieras.



C.1 Overzicht van de nummering voor de gebruikte kaartbladen langs de Maas

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