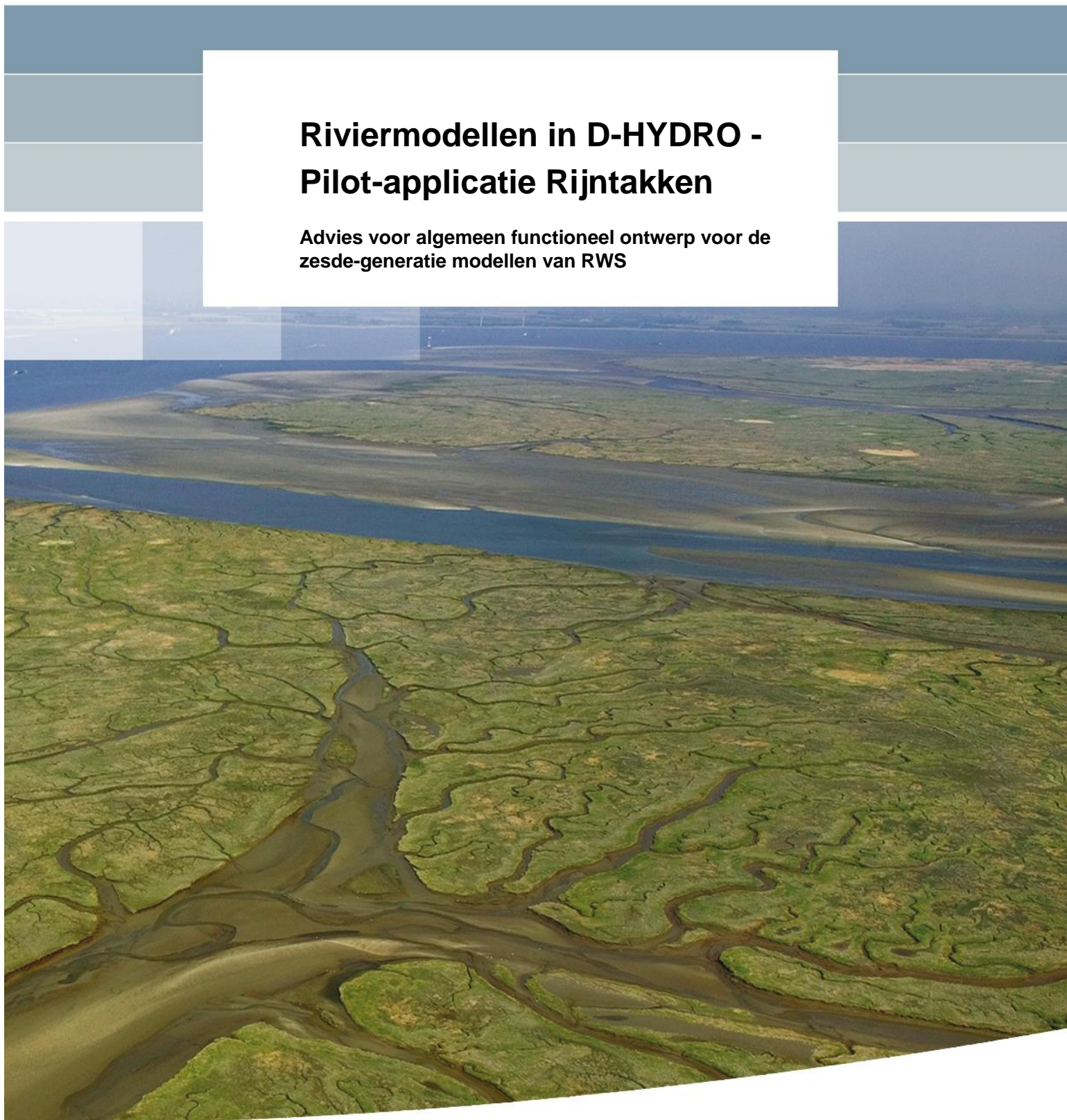


Riviermodellen in D-HYDRO - Pilot-applicatie Rijntakken

**Advies voor algemeen functioneel ontwerp voor de
zesde-generatie modellen van RWS**



Riviermodellen in D-HYDRO - Pilot- applicatie Rijntakken

**Advies voor algemeen functioneel ontwerp voor de zesde-
generatie modellen van RWS**

Jurjen de Jong
Mohamed Yossef

1230071-011

Titel

Riviermodellen in D-HYDRO - Pilot-applicatie Rijntakken

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
RWS-WVL	1230071-011	1230071-011-ZWS-0017	57

Trefwoorden

D-HYDRO, D-Flow Flexible Mesh, Pilot, Rijntakken

Samenvatting

Dit rapport is onderdeel van de overkoepelende rapportage 'Advies voor algemeen functioneel ontwerp voor de zesde-generatie modellen van RWS'. In dit rapport wordt ingegaan op het modelleren van rivieren met de D-HYDRO Suite door een pilot-applicatie voor de Rijntakken uit te voeren. Het doel van deze studie is het opdoen van ervaring met het opzetten van een nieuw D-Flow Flexible Mesh model, het kalibreren van dit model en het functioneren van het model in de nieuwe modelleeromgeving. De resultaten van deze pilot zullen samengevat en toegepast worden in een overkoepelende rapportage, waarvan het doel is om een roadmap te geven voor de bouw van de eerste modellen volgens de methodiek van de zesde generatie modellen.

In het onderzoek dat in dit rapport beschreven wordt is een nieuw model opgezet van de Rijntakken tijdens het hoogwater van 1995. De modelgrenzen van dit model lopen van Emmerich tot aan Hardinxveld (Waal), stuw Driel (Nederrijn) en Doesburg (IJssel). De basis van de meeste modelinvoer is een conversie met BAS2FM van data uit baseline-rijn-j95_5-v1. Er is een simulatieperiode van 18 dagen doorgerekend rondom de piek van het hoogwater van 1995.

Na het uitvoeren van deze referentiesimulatie zijn een reeks onderzoeken opgesteld en zijn de resultaten van de bijbehorende simulaties met de referentiesimulatie vergeleken. Er is onderzoek gedaan naar onder meer de bodemhoogtediscretisatie, gridconvergentie, overlatendiscretisatie en -formulering, rekentijdstapconvergentie, testen van processen en het maken van een deelmodel.

Daarnaast is er onderzoek gedaan naar de kalibratiemethodiek. Allereerst is de wijze van kalibratie uit de vijfde generatie herhaald. Vervolgens zijn testen uitgevoerd met het toepassen van een transitie in zomerbedruwheden ten behoeve van morfologische toepassingen van het model. Ten slotte zijn testen uitgevoerd voor het aanpassen van de ruwheid van het winterbed bij de kalibratie van hoge afvoerniveaus.

De uitgevoerde studies in deze pilot-applicatie geven waardevolle kennis voor het maken van de eerste officiële zesde-generatie Rijkswaterstaat-modellen met de nieuwe D-HYDRO Suite. Er is kennis opgedaan over de werking van de software, er zijn testen uitgevoerd voor een groot aantal parameters en methodieken. Daarnaast is er terugkoppeling geweest naar de ontwikkelaars van D-HYDRO voor verbeteringen, reparaties en noodzakelijke toevoegingen aan de code.

De ervaringen en conclusies uit deze pilot zijn opgenomen in de overkoepelende rapportage 'Advies voor algemeen functioneel ontwerp voor de zesde-generatie modellen van RWS' (Minns, 2016).

Referenties

Bijlage van Deltares rapport 1230071-011-ZWS-0009

Titel

Riviermodellen in D-HYDRO - Pilot-applicatie
Rijntakken

Opdrachtgever
RWS-WVL

Project
1230071-011

Kenmerk
1230071-011-ZWS-0017

Pagina's
57

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1.0	dec. 2016	Jurjen de Jong Mohamed Yosser		Erik de Goede		Gerard Blom	

Status

definitief

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Achtergrond	1
1.2	Doelstelling	1
1.3	Organisatie en bijdragen	1
1.4	Leeswijzer	2
2	Achtergrond	3
2.1	Kader van deze pilot-applicatie	3
2.2	Programmatuur	3
2.3	Definities voor een grid cel	3
2.4	Berekeningswijze statistiek	4
3	Modelopzet	7
3.1	Roostergeneratie	7
3.2	Schematisatie	7
3.3	Mapindeling	9
3.4	Randvoorwaarden	9
3.5	Data kalibratie	11
4	Onderzoek parameter- en schematisatiekeuzes	13
4.1	Opzet onderzoek	13
4.2	Definitie bodemhoogte	15
4.2.1	Middelingstypen voor bodemhoogte samples	16
4.2.2	Bedleveltype and conveyance	17
4.3	Gridconvergentie	21
4.4	Overlaten	24
4.4.1	Projectie van overlaten	24
4.4.2	Overlaatformulering	25
4.5	Rekentijdstap	27
4.6	Viscositeit	28
4.7	Wall roughness	29
4.8	Spiraalstroming	31
4.9	Testen van processen	31
4.10	Opbouw deelmodel	33
4.11	Partitionering en rekenwijze	35
4.12	Overige testen	36
4.12.1	Reductie rekentijd bij uitschakeling componenten	36
4.12.2	Opsomming overige testen	37
5	Onderzoek kalibratiemethodiek	39
5.1	Motivatie	39
5.2	Kalibratie met aanpak vijfde-generatie modellen	39
5.3	Overgangstraject in kalibratie zomerbed	41
5.3.1	Methode	41
5.3.2	Resultaten	42
5.4	Kalibratie winterbed bij hoge afvoeren	44

6 Conclusies en aanbevelingen	47
6.1 Conclusies en aanbevelingen modelopzet	47
6.1.1 Roostergeneratie	47
6.1.2 Schematisatie	48
6.1.3 Mapindeling	48
6.2 Conclusies en aanbevelingen parameter- en schematisatiekeuzes	48
6.2.1 Middelingstypen voor bodemhoogte samples	48
6.2.2 Bedleveltype en Conveyance	49
6.2.3 Gridconvergentie	49
6.2.4 Overlaten	50
6.2.5 Rekeningtimestep	50
6.2.6 Viscositeit	51
6.2.7 Wall roughness	51
6.2.8 Spiraalstroming	52
6.2.9 Testen van processen	52
6.2.10 Opbouw deelmodel	53
6.2.11 Partitionering en rekenwijze	53
6.3 Conclusies en aanbevelingen kalibratie onderzoeken	53
6.3.1 Kalibratie met aanpak vijfde-generatie modellen	54
6.3.2 Overgangstraject in kalibratie zomerbed	54
6.3.3 Kalibratie winterbed bij hoge afvoeren	55
7 Referenties	57
Bijlage(n)	
A Referentie-simulatie	A-1
A.1 MDU-file	A-1
A.2 External forcings	A-6
A.2.1 EXT-bestand	A-6
A.2.2 BND-EXT-bestand	A-7
A.3 Trachytopen Definitie	A-7
A.4 Projectie van subgrid overlaten en hoogwatervrije lijnen in D-HYDRO	A-16
A.5 Voorbeeldfiguren projectie	A-17
B Mapindeling	B-1
C Rekenrooster van het D-Flow FM model voor de 2016 Rijn Pilot	C-1
C.1 Criteria	C-1
C.2 Opzet van het rooster	C-2
C.3 Uitvoering	C-3
C.4 Opmerkingen	C-5
C.5 Voorbeelden	C-5
C.6 Orthogonaliteit	C-8
C.7 Smoothness	C-8
C.8 Limiterende timestep	C-8
D Modelresultaten onderzoeken	D-1
D.1 Middelingstypen voor bodemhoogte samples	D-2
D.1.1 Bedlevel1 Convey-1 Averag1	D-2

D.1.2	Bedlevel1 Convey-1 Averag2	D-4
D.1.3	Bedlevel1 Convey-1 Averag4	D-6
D.2	Bedleveltype en conveyance	D-8
D.2.1	Bedlevel3 Convey-1 Averag1	D-8
D.2.2	Bedlevel3 Convey-1 Averag2	D-10
D.2.3	Bedlevel3 Convey 1 Averag1	D-12
D.2.4	Bedlevel3 Convey 1 Averag2	D-14
D.2.5	Bedlevel3 Convey 3 Averag1	D-16
D.3	Gridconvergentie	D-18
D.3.1	Bedlevel1 Convey-1 Averag1 Finer20m	D-18
D.3.2	Bedlevel1 Convey-1 Averag1 Medium80m	D-20
D.3.3	Bedlevel1 Convey-1 Averag1 Coarse160m	D-22
D.3.4	Bedlevel1 Convey-1 Averag1 Coarse160m (zonder brugpijler Nijmegen)	D-24
D.3.5	Bedlevel3 Convey 1 Averag1 finer20m	D-26
D.3.6	Bedlevel3 Convey 1 Averag1 medium80m	D-28
D.3.7	Bedlevel3 Convey 1 Averag1 coarse160m	D-30
D.3.8	Bedlevel3 Convey 1 Averag1 coarse160m (zonder brugpijler Nijmegen)	D-32
D.4	Fixed weir type	D-34
D.4.1	Fixed weir type 6: Numeriek, Frictscheme=0	D-34
D.4.2	Fixed weir type 8: Tabellenboek	D-36
D.4.3	Fixed weir type 9: Vilemonte	D-38
D.5	Rekentijdstap	D-40
D.5.1	CFLMax=0.5	D-40
D.5.2	CFLMax=0.9	D-42
D.5.3	DtMax=0.5	D-44
D.5.4	DtMax=1.0	D-46
D.5.5	DtMax=2.0	D-48
D.5.6	DtMax=5.0	D-50
D.6	Viscositeit	D-52
D.6.1	Vicouv=0.5	D-52
D.6.2	Vicouv=1.5	D-54
D.6.3	Vicouv=5.0	D-56
D.6.4	Vicouv=1E-5; Smagorinsky=0.10	D-58
D.6.5	Vicouv=1E-5; Smagorinsky=0.15	D-60
D.6.6	Vicouv=1E-5; Smagorinsky=0.50	D-62
D.6.7	Vicouv=1E-5; Smagorinsky=0.10; Elder=1	D-64
D.7	Wall roughness	D-66
D.7.1	Irov=1; Wall_ks=0.3	D-66
D.7.2	Irov=2	D-68
D.8	Spiraalstroming	D-70
D.8.1	SecondaryFlow=1; BetaSpiral=0.0	D-70
D.9	Testen van processen	D-72
D.9.1	Restart	D-72
D.9.2	Zoutindringing overdreven	D-74
D.9.3	Zoutindringing beperkt	D-76
D.9.4	Toevoegen temperatuur overdreven	D-78
D.9.5	Toevoegen temperatuur beperkt	D-80
D.9.6	Toevoegen regen overdreven	D-82
D.9.7	Toevoegen regen minimaal	D-84
D.9.8	Toevoegen wind overdreven	D-86
D.9.9	Toevoegen wind minimaal	D-88

D.10	Deelgebieden	D-90
D.10.1	Enkel Waal, bijgesneden rekenroosterbegrenzing	D-90
D.10.2	Enkel Waal, bijgesneden rooster	D-92
D.11	Overige testen	D-94
D.11.1	Boundary smoothing, Tlfsmo=3600	D-94
E	Kalibratie	E-1
E.1	Technische details	E-1
E.1.1	Transities in kalibratie zomerbed	E-1
E.1.2	Kalibratie op winterbed	E-2
E.2	Resultaten zomerbedkalibratie	E-3
E.2.1	Referentie	E-4
E.2.2	Lineair 2 km	E-5
E.2.3	Lineair 5 km	E-6
E.2.4	Lineair 10 km	E-7
E.2.5	Tweede orde 2 km	E-8
E.2.6	Tweede orde 5 km	E-9
E.2.7	Tweede orde 10 km	E-10
E.2.8	Tweede orde 10 km, transitie bovenstrooms	E-11
E.3	Resultaten winterbedkalibratie	E-12
E.3.1	Zomerbed + Winterbed	E-13
E.3.2	Winterbed	E-14

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In 2015 is door Deltares aan RWS-WVL versie 1.0 van het softwarepakket D-HYDRO Suite opgeleverd. Deze software-suite wordt de vervanger voor de door RWS gebruikte Simona software en de uitgefaseerde SOBEK-RE software. Op den duur worden Simona (WAQUA en TRIWAQ) en Delft3D modelschematisaties vervangen door D-Flow Flexible Mesh modelschematisaties binnen de D-HYDRO Suite.

Met het in gebruik nemen van D-HYDRO Suite stapt RWS over van modelschematisaties in de vijfde generatie naar modelschematisaties in de zesde generatie.

De overgang naar D-HYDRO Suite houdt in het opzetten van nieuwe modelschematisaties gebruikmakend van de nieuwe beschikbare mogelijkheden en concepten in deze software suite. Op basis van reeds opgedane ervaring en in overleg met de eindgebruikers, worden eisen en wensen gesteld aan de zesde-generatie modelschematisaties. Het gebruik van D-HYDRO Suite biedt op sommige vlakken nieuwe kansen (functionaliteiten en mogelijkheden) die niet bij Simona en/of Delft3D aanwezig waren (bijv. modelleerflexibiliteit, ongestructureerd rekenen, modelonafhankelijke invoer, etc.).

Door RWS is aan Deltares gevraagd om de mogelijkheden te onderzoeken die de nieuwe software biedt en een functioneel ontwerp te leveren voor de bouw van de toekomstige zesde-generatie modellen. Dit functioneel ontwerp is bedoeld om de ontwikkeling (opzet, kalibratie en gebruik) van de eerste modelschematisaties in goede banen te leiden. Deze eerste modelschematisaties zullen bestaan uit *pilotschematisaties* voor een riviergebied, voor zeeën en estuaria en voor meren. Nadat de eerste modelschematisaties zijn opgezet, zullen de richtlijnen opnieuw worden bekeken en indien nodig aangepast.

1.2 Doelstelling

Dit rapport is onderdeel van de overkoepelende rapportage 'Advies voor algemeen functioneel ontwerp voor de zesde-generatie modellen van RWS'. In dit rapport wordt ingegaan op het modelleren van rivieren met de D-HYDRO Suite door een pilotapplicatie voor de Rijntakken uit te voeren. Het doel van deze studie is het opdoen van ervaring met het opzetten van een nieuw D-Flow Flexible Mesh model, het kalibreren van dit model en het functioneren van het model in de nieuwe modelleeromgeving. D-Flow Flexible Mesh is de hydrodynamische module in de D-HYDRO suite. De resultaten van deze pilot zullen samengevat en toegepast worden in overkoepelende rapportage, waarvan het doel is om een roadmap te geven voor de bouw van de eerste modellen volgens de methodiek van de zesde-generatie modellen.

1.3 Organisatie en bijdragen

Het onderzoek in deze rapportage is uitgevoerd door Jurjen de Jong met begeleiding van Mohamed Yossef. Het rekenrooster is opgezet door Sander van der Pijl. Daarnaast is er ondersteuning geboden door de ontwikkelaars van de D-HYDRO software om deze pilot succesvol af te ronden. Een review van deze rapportage is uitgevoerd door Erik de Goede en Aukje Spruyt.

1.4 Leeswijzer

Dit rapport bestaat uit zes hoofdstukken, waaronder deze inleiding. In Hoofdstuk 2 wordt begonnen met het schetsen van enige achtergrondinformatie van het onderzoeksgebied, de toegepaste programmatuur en de gebruikte statistische parameters. In Hoofdstuk 3 wordt een overzicht gegeven van de opzet van het referentiemodel, waaronder de bouw van het rekenrooster en de bouw van een schematisatie met behulp van Baseline. Op basis van dit referentiemodel zijn in Hoofdstuk 4 en 5 analyses gedaan naar de modelbouw en naar de kalibratiemethodiek. Van iedere analyse zijn een gestandaardiseerde verzameling van figuren opgenomen in de Bijlagen. Ten slotte volgen de conclusies en aanbevelingen van het onderzoek in Hoofdstuk 6.

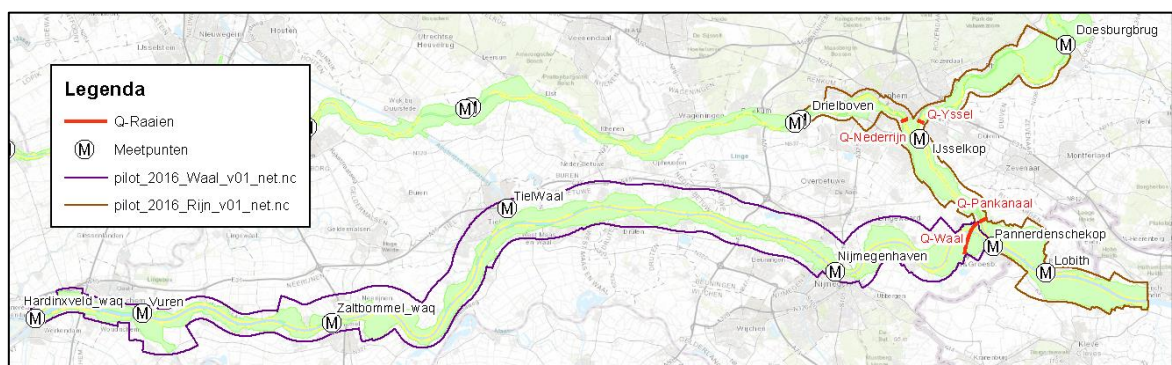
2 Achtergrond

2.1 Kader van deze pilot-applicatie

De basis van deze pilot wordt gevormd door een nieuw model van de Rijntakken (zie Figuur 2.1) dat de volgende Nederlandse rivieren omvat:

- de Bovenrijn vanaf de Duitse grens tot de Pannerdenschekop,
- de Waal vanaf de Pannerdenschekop tot de Merwedekop,
- het Pannerdensch kanaal,
- de Nederrijn tot de stuw bij Driel, en
- de IJssel tot Doesburg.

Er is gekozen voor deze gebiedsgrenzen om een balans te hebben in de complexiteit en de hoeveelheid werk dat nu gestopt wordt in de bouw van het rekenrooster. Het model bevat de splitsingspunten Pannerdenschekop en IJsselkop zodat er ervaring opgedaan kan worden met bifurcaties. Daarnaast is er veel kennis en ervaring met de gekozen riviertakken uit eerdere studies.



Figuur 2.1 Kaart met hierop de omhulling van het rooster voor de onderzoeken naar modelopbouw (Hoofdstuk 4) en voor de onderzoeken naar kalibratie (Hoofdstuk 5). De gebruikte meetpunten (waterstand) en Q-raaien (afvoer) zijn aangegeven. De achtergrond is de baseline-schematisatie j95_5-v1.

2.2 Programmatuur

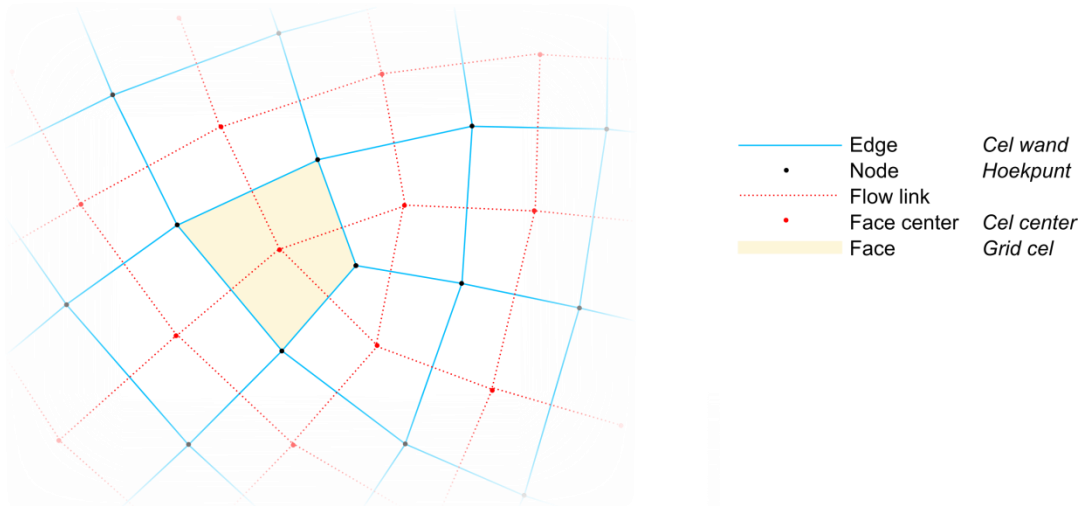
Bij deze pilot is gebruik gemaakt van diverse programmatuur. Voor toekomstige referenties zijn hieronder de gebruikte versies gegeven.

- D-HYDRO Suite 1.2.0
- D-Flow Flexible Mesh (trunk): 1.1.198.48600¹
- Bas2FM 1.0.0 bij Baseline 5.3.0

¹ Tijdens het onderzoek zijn diverse bugfixes uitgevoerd door de ontwikkelaars. Voor het merendeel van de onderzoeken is uiteindelijk de genoemde versie gebruikt. Tijdens de start van het onderzoek is ook build 48328 gebruikt. Tussen de genoemde versies zijn geen verschillen in modelresultaten.

2.3 Definities voor een grid cel

D-HYDRO maakt gebruik van de UGRID-definitie voor ongestructureerde roosters. Op een dergelijk rooster wordt data op drie plekken in het model opgelegd. Ter verduidelijking van de verschillende locaties en de gebruikte begrippen zijn deze weergegeven in Figuur 2.2.



Figuur 2.2 De gebruikte definities in deze rapportage voor de verschillende locaties op een (ongestructureerde) grid cel.

2.4 Berekeningswijze statistiek

In deze pilot-applicatie wordt gefocust op de vergelijking van een simulatie (*sim*) met een referentie (*ref*) simulatie. Het kan daarom ook als gevoeligheidsanalyse worden gezien. Alleen tijdens kalibratie (Hoofdstuk 5) wordt gebruik gemaakt van metingen.

Om de verschillen tussen simulaties of tussen berekeningen en simulaties te kwantificeren wordt gebruik gemaakt van enkele statistische parameters. Voor de berekening van de statistieken van gesimuleerde waterstanden (h_{sim}) tot de waterstanden in de referentie (h_{ref}) zijn deze hieronder beschreven.

- Gemiddeld verschil (bias)

$$GV = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (h_{sim,k} - h_{ref,k})$$

- Standaardafwijking of σ (*StDev*) van de fout

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

- Root Mean Square Error (*RMSE*)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (h_{sim,k} - h_{ref,k})^2}$$

- Verschil in maximale 13 waterstanden rond de piek ($\Delta z_{max,13}$). Hierin is max13 het gemiddelde van de 13 waarden rondom de maximale waterstand. Met de wegschrijffrequentie van 5 minuten, komt dit neer op een gemiddelde over een uur.

$$\Delta z_{max,13} = \max13(h_{sim,k}) - \max13(h_{ref,k})$$

3 Modelopzet

3.1 Roostergeneratie

Er is een nieuw rooster ontworpen voor deze pilot. Zoals vermeld in Hoofdstuk 2.1 omvat het domein van deze pilot:

- de Bovenrijn vanaf de Duitse grens tot de Pannerdensche kop,
- de Waal vanaf de Pannerdensche kop tot de Merwedekop,
- het Pannerdensch kanaal,
- de Nederrijn tot de stuw bij Driel, en
- de IJssel tot Doesburg.

Bij de bouw van het rooster is rekening gehouden met de volgende eisen:

- zomerbed:
 - rooster is curvilineair en uitgelijnd met de begrenzing van het zomerbed,
 - een resolutie van 40 meter in stromingsrichting,
 - ten minste acht roostercellen in dwarsrichting, en maximaal 20 tot 30 meter resolutie.
- winterbed:
 - zo min mogelijk driehoekige cellen,
 - rooster aansluitend op de begrenzing met het zomerbed,
 - rooster niet noodzakelijkerwijs aansluitend op de andere begrenzingen, maar wel het gehele winterbed bedekkend,
 - roosterresolutie van ten hoogste 40 meter dwars op het zomerbed,
 - gelijkmatige overgang van het zomerbed naar het winterbed.

Het rooster is ontworpen op het beperkt houden van de verhouding in grootte van twee naburige cellen (smoothness) en ontworpen op een zo loodrecht mogelijke hoek tussen flow link en cel wand (orthogonaliteit).

In D-HYDRO wordt de rekentijdstep automatisch bepaald met behulp van het Courant criterium. Dit criterium is afhankelijk van de dimensies van een grid cel en de stroomsnelheid in de cel. Cellen met grote stroomsnelheden of kleine dimensies zullen maatgevend zijn in de bepaling van de rekentijd van het gehele model en dienen voorkomen te worden. Hiermee is rekening gehouden bij de bouw van het rooster door kleine cellen enkel toe te laten in gebieden waar de verwachte stroomsnelheid laag is (het winterbed).

Een beschrijving van de toegepaste methoden voor de bouw van het rooster zijn beschreven in Bijlage C. In deze bijlage staan ook afbeeldingen van het rooster, de orthogonaliteit, smoothness en een onderzoek naar de locaties van de limiterende tijdstep. Enkele dimensies van het rooster zijn gegeven in Tabel 3.2.

3.2 Schematisatie

Voor de schematisatie op het rooster is gebruik gemaakt van de baseline-schematisatie baseline-rijn-j95_5-v1. Door de applicatie BAS2FM worden de verschillende lagen in de baseline-schematisatie geconverteerd naar bestandsformaten die geschikt zijn voor D-HYDRO. Deze bestanden zijn onafhankelijk van het grid. Dit geldt niet voor de gebiedsbeschrijving ten behoeve van de ruwheid in het trachytopen-bestand. Deze projectie wordt direct door BAS2FM gemaakt.

Naast de bestanden uit Baseline zijn enkele bestanden handmatig aangemaakt.

- Bodemhoogte samples op basis van het hoogtemodel in Baseline. De bodemhoogtes zijn geprikt op de face centers. Baseline biedt ook de optie om de bodemhoogte te projecteren op het rooster, maar dit is alleen mogelijk bij een bodemhoogte definitie op hoekpunten. Nader onderzoek en uitleg over naar bodemhoogtediscretisatie is gegeven Paragraaf 4.2.
- Conversie van de WAQUA-bestanden *roughcombination-general-2015_5-v1* en *roughcombination-rijn-2015_5-v1* naar het gecombineerde trachytopen definitie bestand *roughcombination-general_rijn-2015_5-v1.ttd* (zie Bijlage A.3).
- Conversie van Q-Raaien uit WAQUA.
- Initiële rekenvelden op basis van modelresultaten van initiële simulatie. Deze zijn met een script aangemaakt door een uitvoerbestand om te schrijven naar samples.

Padverwijzing naar deze bestanden zijn ingevoegd in een MDU-bestand (Model Definition Unstructured) dat zo volledig mogelijk is opgezet. Daarnaast zijn de bodemhoogte, initiële conditie en lateralen als External Forcings verwerking in een EXT-bestand en zijn de afvoer- en waterstandsrandvoorwaarden verwerkt in een BND.EXT-bestand (meer informatie over de randvoorwaarden in Paragraaf 3.4). De inhoud van deze drie bestanden is te vinden in respectievelijk Bijlage A.1, A.2.1 en A.2.2.

De gridonafhankelijke bestanden worden tijdens de initialisatie van een model in D-HYDRO geprojecteerd op het rekenrooster:

- De bodemhoogte wordt geïnterpoleerd of gemiddeld naar de gegeven locatie op het rekenrooster. Nader onderzoek en uitleg naar zowel de mogelijke locaties als de wijze van middeling zijn gegeven Paragraaf 4.2.
- De *thin dams* en *dry areas* worden geprojecteerd op het rooster waar deze een flow link doorkruisen. Deze flow link wordt in dat geval geblokkeerd. Tevens wordt via de *dry area* de rekenroosterbegrenzing aangegeven. Deze projectie is verder onderzocht in Bijlage A.4.
- De *fixed weirs* worden geprojecteerd op het rooster waar deze een flow link doorkruisen. De breedte en de hoogte van de geprojecteerde overlaat worden afgeleid volgens de methode zoals beschreven staat in Bijlage A.4.
- Overige elementen worden geprojecteerd op het dichtstbijzijnde face center.

Enkele statistieken van de gemaakte invoerbestanden en de hieruit volgende projectie van Flexible Mesh zijn gegeven in Tabel 3.1. Bij de projectie wordt enkel nog de invoer meegenomen van elementen die binnen het rekenrooster liggen, waardoor de meeste elementen op de Nederrijn/Lek en IJssel niet worden meegenomen. De dimensies van het rekenrooster na projectie zijn te vinden in Tabel 3.2. Enkele afbeeldingen van de projectie zijn gegeven in Bijlage A.5.

Tabel 3.1 Kentallen van de projectie voor de pilot Rijntakken. Steunpunten ('vertex') zijn de locaties waar het betreffende lijn-element een knik maakt. Ieder steunpunt heeft eigen eigenschappen als 'hoogte' en 'talud'.

Bron	Type	Na conversie		Na projectie
		Aantal elementen	Gemiddeld aantal steunpunten per element	Aantal elementen
Baseline	Dry areas ¹	6299	14.6	-
	Fixed weirs	13,890	15.8	46,586
	Landboundaries ²	3,650	61.0	-
	Laterals ³	20	-	7
	Observation Points	771	-	354
	Thin Dams ¹	6303	11.5	-
	Trachytopes	-	-	592,009
	Weirs Gates ⁴	6	2.0	-
Handmatig	Bed level samples (face center) ⁵	193,607	-	193,607
	Bed level samples (5 m) ⁵	17,703,169	-	193,665
	Q-raaien	62	58.2	36
	Initiële waterstand	87706	-	193,310

¹ Dry-areas en thin dams worden niet geprojecteerd maar schakelen waterstands- en snelheidspunten uit in het model. Het komt daarmee terug in de eerder genoemde statistieken van actieve punten in Tabel 3.2

² Dit bestand wordt niet toegepast op de simulatie en dient ter visualisatie

³ Dit bestand wordt niet direct toegepast, maar de relevante locaties worden gekopieerd naar individuele locaties voor de laterale randvoorwaarden

⁴ Niet aanwezig in binnen modelgrenzen

⁵ De bed level samples op face centers is toegepast in het referentie model; de samples met een resolutie van 5 m zijn toegepast bij de studie naar bodemhoogte-definitie en middelingstypen. De verschillen na projectie liggen buiten de rekenroosterbegrenzing.

Tabel 3.2 Kentallen van het rooster pilot_2016_Rijn_v01_net.

	Fine (40 m)
Grid cellen ¹	303,359
Nodes ¹	307,176
Actieve grid cellen ²	193,837
Actieve Flow Links ²	378,181

¹ Vastgesteld met RGFGRID

² Vastgesteld bij een lopende berekening na toepassing van 'dry areas' en 'thin dams'

3.3 Mapindeling

Onderdeel van het werken met Rijkswaterstaat-modellen is het gebruik van gestandaardiseerde procedures, databeheer en mapindeling. In Bijlage B is gegeven hoe tijdens dit onderzoek de bestanden van momenteel zijn gebundeld en hoe dit in de toekomst (na enkele verbeteringen in D-HYDRO) gedaan kan worden.

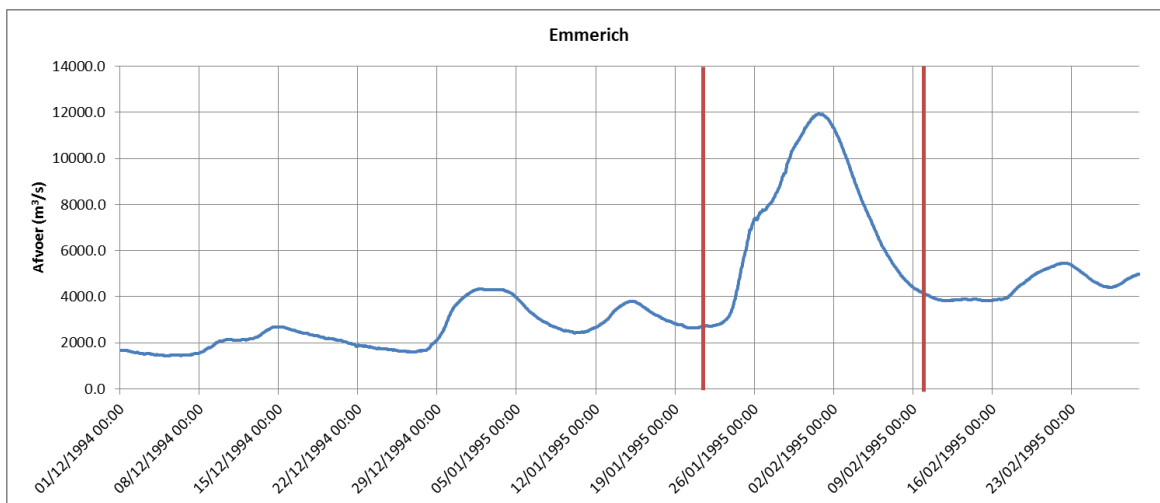
3.4 Randvoorwaarden

Voor de randvoorwaarden van het model is gebruik gemaakt van dezelfde data als de kalibratie van de vijfde-generatie modellen in WAQUA (Becker, 2012). Het model in D-HYDRO is echter afgeknipt bij op de Nederrijn (stuw Driel) en IJssel (Doesburg). Op deze locaties worden gemeten waterstanden toegepast. Daarnaast is op een zevental locaties een laterale instroming gedefinieerd.

Berekeningen binnen het onderzoek naar de modelopbouw (Hoofdstuk 4) zijn uitgevoerd in de periode 23 januari 1995 tot 10 februari 1995. De afvoer bij Emmerich in deze periode is te vinden in Figuur 3.1.

Tabel 3.3 Overzicht randvoorwaarden en de herkomst van de data. Bij de lateralen staat ook de verkorte naam binnen de hulpprogrammatuur genoemd. Meer informatie over herkomst is te vinden in Becker (2012).

Locatie	Randvoorwaarde
Emmerich	Afvoer, aangepaste Qf-relatie
Hardinxveld	Waterstand, gecorrigeerde metingen
Driel_boven	Waterstand, metingen
Doesburgbrug	Waterstand, metingen
Hollands_Duits_gemaal_Nijmegen (WAAL_1)	Afvoer, afgeleid met hulpprogrammatuur
Land_van_Altena (WAAL_2)	Afvoer, afgeleid met hulpprogrammatuur
gemaal_Kandia (PANKAN)	Afvoer, afgeleid met hulpprogrammatuur
Arnhem_ca (NEDR_1)	Afvoer, afgeleid met hulpprogrammatuur
Rozendaalsche_en_Beekhuizerbeek (YSSEL1)	Afvoer, afgeleid met hulpprogrammatuur
Liemers_en_Bevermeer (YSSEL2)	Afvoer, afgeleid met hulpprogrammatuur
Oude_Ijssel (OUDEYS)	Afvoer, afgeleid met hulpprogrammatuur



Figuur 3.1 Afvoer bij Emmerich met hierin aangegeven de periode van 23 januari 1995 tot 10 februari 1995 waarbinnen het onderzoek heeft plaatsgevonden

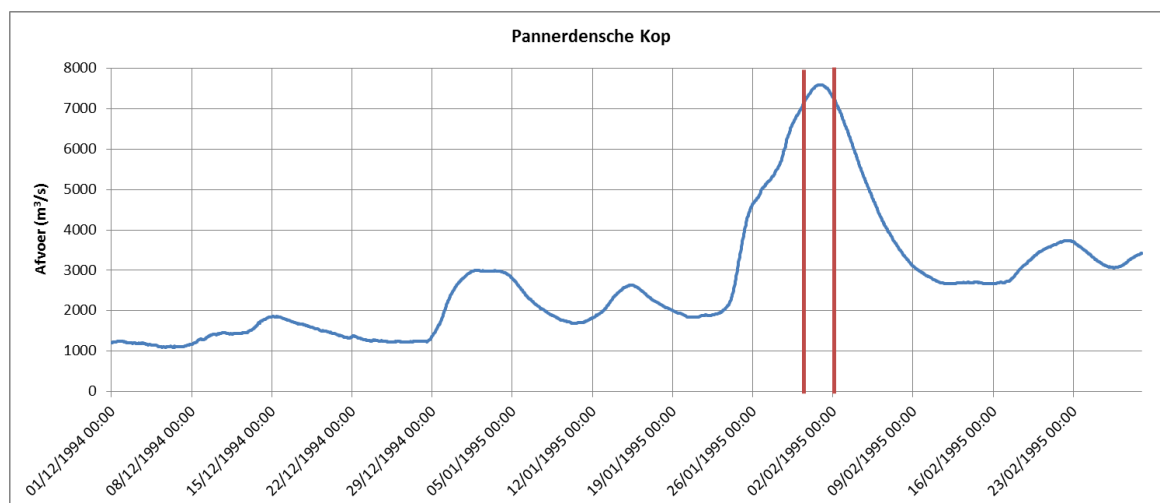
3.5 Data kalibratie

Voor de kalibratiesimulaties wordt het model gereduceerd tot alleen de Waal. Een bovenstroomse randvoorwaarde wordt nu opgelegd bij de Pannerdensch Kop (zie Figuur 3.2).

De kalibratieperioden zijn gelijk gehouden aan de kalibratie van de vijfde generatie in WAQUA. Het afvoerniveau Midden wordt gekalibreerd tussen 31 december 1994 en 6 januari 1995, het afvoerniveau Hoog wordt gekalibreerd tussen 29 januari en 3 februari 1995. Daarnaast wordt er ook een afvoerbereik toegepast op de kalibratie in WAQUA. Omdat het nog niet mogelijk is deze afvoerbereiken direct op te leggen aan OpenDA in combinatie met D-Flow Flexible Mesh, wordt de datum van de kalibratie per station voor het niveau Hoog bijgesteld zodat het tijdvenster van de kalibratie overeenkomt met het afvoervenster in WAQUA. De data voor de vijf meetstations waarop is gekalibreerd, zijn gegeven in Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Start en einde van de periode waarop per meetstation gekalibreerd is

	Hoog (7300 tot 7600 m ³ /s)	
	Start	Einde
Pannerdensch Kop	1995-01-30 21:00	1995-02-02 00:00
Nijmegen (haven)	1995-01-31 01:00	1995-02-02 06:00
Tiel	1995-01-31 08:00	1995-02-02 11:00
Zaltbommel	1995-01-31 12:00	1995-02-02 15:00
Vuren	1995-01-31 14:00	1995-02-02 18:00



Figuur 3.2 Afvoer bij Emmerich met hierin aangegeven de periode van 30 januari 1995 tot 2 februari 1995 waarbinnen de kalibratie op afvoerbereik Hoog heeft plaatsgevonden.

4 Onderzoek parameter- en schematisatiekeuzes

4.1 Opzet onderzoek

Bij de opzet van het onderzoek is uitgegaan van een basismodel met instellingen op basis van de huidige kennis. Deze opzet is gegeven in Hoofdstuk 3 en dient als een referentie voor een reeks verdere analyses.

In de analyses in dit hoofdstuk worden voor diverse aanpassingen aan modelparameters en schematisatiekeuzes gedaan en worden de uitkomst van de simulatie vergeleken met de uitkomst van het referentiemodel. Aan elke deelonderzoek is een paragraaf gewijd waarbij gekeken wordt naar de volgende onderzoekdoelen:

- Heeft het model correct doorgerekend?
- Hoe verhouden de resultaten zich tot de referentie?
- Wat is de beste parameter voor de zesde generatiemodellen?

Een overzicht van alle uitgevoerde simulaties is te vinden in Tabel 4.1. De simulaties zijn geclusterd per onderzoek en bepalen de invloed van processen, parameters en aanpassingen aan de schematisatie. Voor de simulaties in de Paragrafen 4.2 en 0 is gebruik gemaakt van een ander referentiemodel waarbij de generatie van de bodemhoogte is aangepast om een betere vergelijking uit te kunnen voeren.

Details van de instellingen van alle genoemde simulaties is te vinden in de bijbehorende paragrafen. Een vooraf vastgestelde set van figuren is gemaakt voor alle simulaties en terug te vinden in Bijlage D. De codenaam van iedere simulatie is gebruikt voor de verwijzing in de figuren.

In sommige gevallen zijn de modelresultaten identiek aan de resultaten van het referentiemodel en zijn daarom niet opgenomen in de Bijlage. In andere gevallen zijn de figuren onvolledig doordat de simulatie gerekend heeft met een andere (kortere) tijdsperiode of een ander rekenrooster, waardoor het vergelijkingsscript de figuren foutief of niet kon maken.

In het vervolg van dit hoofdstuk wordt een selectie van de resultaten gebruikt om de verschillende modellen te vergelijken met de referentie. In veel gevallen is hier gekeken naar een selectie van de gemiddelde rekentijd, de totale rekentijd en de verandering in de waterstand bij Nijmegen (gemiddeld over de gehele simulatie). Er wordt hiermee aangenomen dat Nijmegen de veranderingen in de simulatie tot de referentie goed illustreert. Het referentiemodel is in alle tabellen aangegeven met een groene tint.

Tabel 4.1 Uitgevoerde simulaties

Par.	Codenaam	Beschrijving van de aanpassing	Bijl.
	S00_Reference	Referentie voor de onderzoeken	
4.2.1	S06_Bedlevel1_ConveyNeg1_Averag1	Referentie voor alle S06-onderzoeken	D.1.1
	S06_Bedlevel1_ConveyNeg1_Averag2	Dichtstbijzijnde bodemhoogtesample	D.1.2
	S06_Bedlevel1_ConveyNeg1_Averag4	Minimale bodemhoogtesample	D.1.3
4.2.2	S06_Bedlevel3_ConveyNeg1_Averag1	Bodemhoogte in hoekpunten	D.2.1
	S06_Bedlevel3_ConveyNeg1_Averag2	Bodemhoogte in hoekpunten; Conveyance2D = 1; Middeling dichtstbijz	D.2.2
	S06_Bedlevel3_ConveyPos1_Averag1	Bodemhoogte in hoekpunten; Conveyance2D = 1	0
	S06_Bedlevel3_ConveyPos1_Averag2	Bodemhoogte in hoekpunten; Conveyance2D = 1; Middeling dichtstbijz	D.2.4
	S06_Bedlevel3_ConveyPos3_Averag1	Bodemhoogte in hoekpunten; Conveyance2D = 3	D.2.5
0	S06_Bedlevel1_ConveyNeg1_Averag1_Finer20m	Rooster van 20 m	D.3.1
	S06_Bedlevel1_ConveyNeg1_Averag1_Medium80m	Rooster van 80 m	D.3.2
	S06_Bedlevel1_ConveyNeg1_Averag1_Coarse160m	Rooster van 160 m	D.3.3
	S06_Bedlevel1_ConveyNeg1_Averag1_Coarse160m_noPilar	Rooster van 160 m; Pilaar Waalbrug verwijderd	D.3.4
	S06_Bedlevel3_ConveyPos1_Averag1_finer20m	Bodemhoogte in hoekpunten; Conveyance2D = 1; Rooster van 20 m	D.3.5
	S06_Bedlevel3_ConveyPos1_Averag1_medium80m	Bodemhoogte in hoekpunten; Conveyance2D = 1; Rooster van 80 m	D.3.6
	S06_Bedlevel3_ConveyPos1_Averag1_coarse160m	Bodemhoogte in hoekpunten; Conveyance2D = 1; Rooster van 160 m	D.3.7
	S06_Bedlevel3_ConveyPos1_Averag1_coarse160m_noPilar	Bodemhoogte in hoekpunten; Conveyance2D = 1; Rooster van 160 m; Pilaar Waalbrug verwijderd	D.3.8
4.4	S16_FixedWeir_6_frictscheme_0	Overlaten met numerieke overlaten met frictscheme=0	D.4.1
	S16_FixedWeir_8	Overlaten met tabellenboekdefinitie	D.4.2
	S16_FixedWeir_9	Overlaten met Villemontdefinitie	D.4.3
4.5	S07_Timestepconvergence_CFLMax_0_5	CFLMax=0.5	D.5.1
	S07_Timestepconvergence_CFLMax_0_9	CFLMax=0.9	D.5.2
	S07_Timestepconvergence_DtMax_0_5	DtMax=0.5	D.5.3
	S07_Timestepconvergence_DtMax_1_0	DtMax=1.0	D.5.4
	S07_Timestepconvergence_DtMax_2_0	DtMax=2.0	D.5.5
	S07_Timestepconvergence_DtMax_5_0	DtMax=5.0	D.5.6
	S07_InitialTimestep_5_0	DtInit=5.0 s	
4.6	S08_Viscosity_vicouv_0_5	Vicouv=0.5	D.6.1
	S08_Viscosity_vicouv_1_5	Vicouv=1.5	D.6.2
	S08_Viscosity_vicouv_5_0	Vicouv=5.0	D.6.3
	S08_Viscosity_Smagorinsky_0_10	Vicouv=1E-5; Smagorinsky=0.1	D.6.4
	S08_Viscosity_Smagorinsky_0_15	Vicouv=1E-5; Smagorinsky=0.15	D.6.5
	S08_Viscosity_Smagorinsky_0_50	Vicouv=1E-5; Smagorinsky=0.50	D.6.6
	S08_Viscosity_Elder	Vicouv=1E-5; Smagorinsky=0.1; Elder=1	D.6.7
4.7	S08_WallRoughness_irov_1	Irov=1; Wall_ks=0.3	D.7.1
	S08_WallRoughness_irov_2	Irov=2;	D.7.2
4.8	S09_SpiralFlow	SecondaryFlow=1; BetaSpiral=0.0	D.8.1
	S09_SpiralFlow_Beta_0_5	SecondaryFlow=1; BetaSpiral=0.5	
4.9	S01_Restart_enabled	Restart vanaf 26 januari	D.9.1
	S02_Salinity_enabled_applied	Toevoegen zout overdreven	D.9.2
	S02_Salinity_enabled_notApplied	Toevoegen zout beperkt	D.9.3
	S03_Temperature_enabled_applied	Toevoegen temperatuur overdreven	D.9.4
	S03_Temperature_enabled_notApplied	Toevoegen temperatuur beperkt	D.9.5
	S04_Rain_active	Toevoegen regen overdreven	D.9.6
	S04_Rain_inactive	Toevoegen regen beperkt	D.9.7
	S05_Wind_active	Toevoegen wind overdreven	D.9.8
	S05_Wind_inactive	Toevoegen wind beperkt	D.9.9
4.10	S15_WaalOnly_DryArea	Enkel Waal, bijgesneden rekenroosterbegrenzing	D.10.1
	S15_WaalOnly_Grid	Enkel Waal, bijgesneden rooster	D.10.2
0	S13_Runtypes_Windows	Simulatie draaien op Windows	
	S13_Runtypes_Linux_sequential	Simulatie draaien in sequentiële modus	

Par.	Codenaam	Beschrijving van de aanpassing	Bijl.
	S13_Runtypes_Linux_nodes_2	Simulatie draaien met 2 nodes (8 partities)	
	S13_Runtypes_Linux_nodes_2_2cores	Simulatie draaien met 2 nodes (4 partities)	
	S13_Runtypes_Linux_nodes_2_3cores	Simulatie draaien met 2 nodes (6 partities)	
	S13_Runtypes_Linux_nodes_2_5cores	Simulatie draaien met 2 nodes (10 partities)	
	S13_Runtypes_Linux_nodes_3	Simulatie draaien met 3 nodes (12 partities)	
	S13_Runtypes_Linux_nodes_4	Simulatie draaien met 4 nodes (16 partities)	
4.12.1	S14_ComputationSpeed_ReducedOutput	De hoeveel weggeschreven uitvoer beperken	
	S14_ComputationSpeed_SplitOutput	De uitvoer voor iedere dag weggeschrijven naar nieuwe bestanden	
	S14_ComputationSpeed_NoTrachytopen	Uitschakeling van de trachytopenmodule	
0	S13_Runtypes_ICGsolver_7	Simulatie draaien met andere parallele solver	
	S08_Diffusivity_0_5	Dicouv=0.5	
	S08_Diffusivity_1_5	Dicouv=1.5	
	S10_NumericalsettingsBoundaries_BoundarySmoothing	Tlfsmo=3600	D.11.1
	S11_Epshu_0_0005	Epshu=0.0005	
	S11_Epshu_0_0010	Epshu=0.0010	
	S11_Epshu_0_0050	Epshu=0.0050	
	S11_Epshu_0_0100	Epshu=0.0100	

4.2 Definitie bodemhoogte

Een belangrijk onderdeel van het model betreft de schematisatie van de bodemhoogte in het model. Er zijn verschillende parameters die aangepast kunnen worden:

- **Middelingstype:** Hoe worden de gridonafhankelijke samples met een hoge resolutie geprojecteerd op het rekenrooster? Drie methoden zijn getest:
 - Gemiddelde
 - Dichtstbijzijnde
 - Diepste punt
- **Bedleveltype:** Waar wordt de bodemhoogte geprojecteerd op het rekenrooster? Twee methoden zijn getest:
 - Discretisatie op grid cellen (face)
 - Discretisatie op hoekpunten (node)
- **Conveyance:** Hoe wordt het doorstroomoppervlak berekend op de edges? Binnen de bodemhoogte discretisatie op hoekpunten zijn hiervoor drie methoden getest:
 - Het doorstroomoppervlak (op de cel wand) wordt berekend als het gemiddelde van de twee hoekpunten.
 - Het doorstroomoppervlak (op de cel wand) wordt analytisch berekend met hierin een uniforme stroomsnelheid.
 - Het doorstroomoppervlak (op de cel wand) wordt analytisch berekend met hierin een stroomsnelheid afhankelijk van de lokale (analytische) waterdiepte.

Naar ieder van deze instellingen is in onderstaande paragrafen onderzoek gedaan. Bij dit onderzoek wordt geen gebruik gemaakt van de bodemhoogte samples op face centers, maar zijn nieuwe (gridonafhankelijk) samples van het hoogtemodel in Baseline gecreëerd met een uniforme resolutie van 5 meter (ruim 17 miljoen samples). Hierdoor neemt de initialisatietijd van het model toe (zie Tabel 4.2).

Tabel 4.2 Initialisatietijd voor verschillende hoeveelheden bedlevel samples. Rekentijden zijn met de hand getimed op een Windows machine.

Sample methode	Aantal bedlevel samples	Initialisatietijd
Op face centers	193,607	2 sec
Resolutie van 5 meter	17,703,169	95 sec

De projectie van de bodemhoogte in WAQUA maakt gebruik van discretisatie van hoekpunten. De bodemhoogte wordt in de hoekpunten geprikt in het hoogtemodel (ongeveer gelijk aan het middelingstype dichtstbijzijnde punt). De hoogte op snelheidspunten is het gemiddelde van de hoekpunten. De methode in WAQUA komt dus het meest overeen met de combinatie (AVERAGINGTYPE=2, BEDLEVTYPE = 3 & CONVEYANCE2D=-1).

4.2.1 Middelingstypen voor bodemhoogte samples

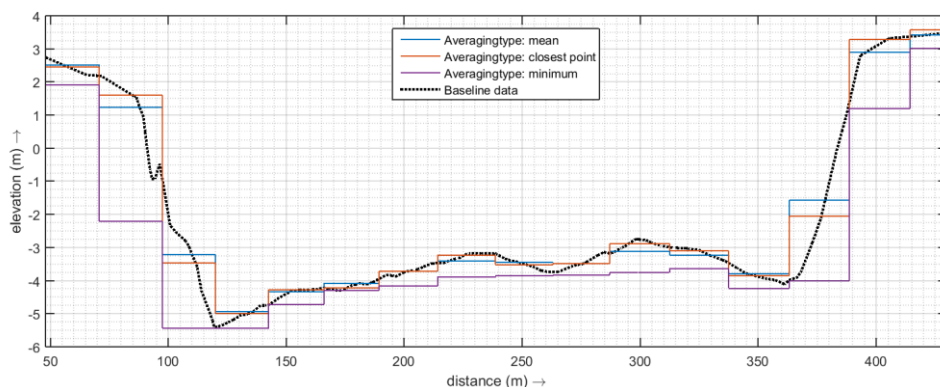
Het hoogtemodel in Baseline is gesampled naar een 5 meter grid. Bij het initialiseren van het model kunnen diverse methoden gebruikt worden om de bodemhoogte te discretiseren op het rekenrooster. De gediscretiseerde bodemhoogte is de enige bodemhoogte-informatie die gebruikt wordt tijdens de simulatie. Er wordt geen gebruik gemaakt van een sub-grid bodemhoogte.

In de keuze tussen triangulatie en middeling (FILETYPE) is gekozen voor middeling. Hierbij zijn meerdere methoden mogelijk voor het middelingstype (AVERAGINGTYPE) van de grid cellen binnen een opgegeven radius (RELATIVESEARCHCELLSIZE=1.1, zie Hoofdstuk 4.2.2). Van deze methoden zijn 1,2 en 4 verder onderzocht.

- 1 : Gemiddelde van de samples binnen de aangegeven radius
- 2 : Dichtstbijzijnde sample
- 3 : Maximum van de samples binnen de aangegeven radius (hoogste punt)
- 4 : Minimum van de samples binnen de aangegeven radius (diepste punt)
- 5 : Gewogen gemiddelde van de samples binnen de aangegeven radius
- 6 : Minimum van absolute waarde van samples binnen de aangegeven radius

Het effect van het middelingstype op de bodemhoogteprojectie in het zomerbed is te zien in Figuur 4.1. In de figuur is voor iedere methode de bodemhoogte van de grid cell (face center) te zien over een cross-sectie van de rivier. Daarnaast toont de figuur een doorsnede van het hoogtemodel uit Baseline. Resultaten op de waterstanden bij Nijmegen zijn weergegeven in Tabel 4.3 en voor een langsdoorsnede over de rivier in Figuur 4.2. Figuren van de vergelijking met de referentie zijn te vinden in Bijlage D.1.

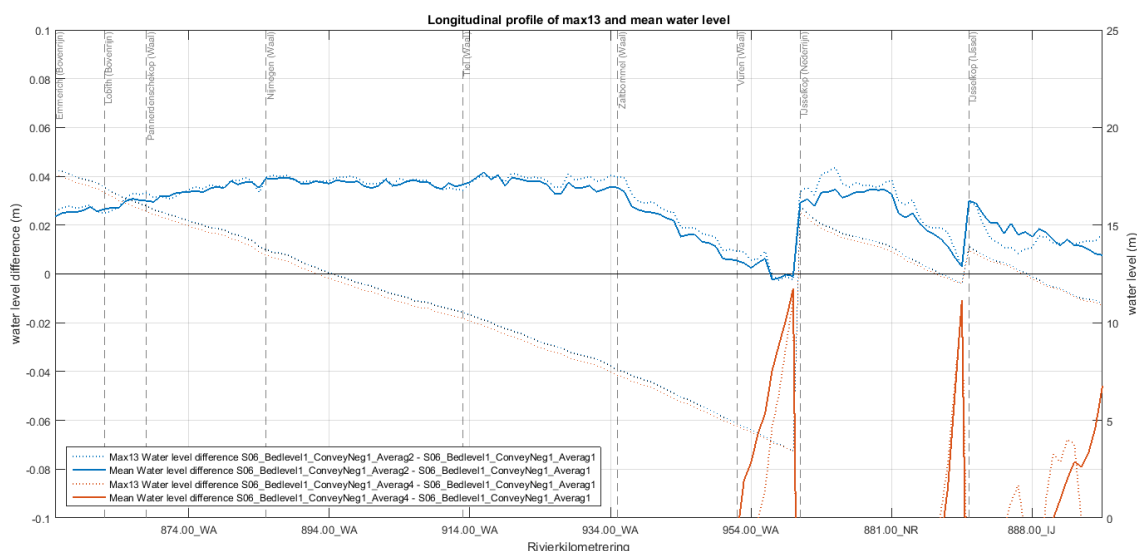
Het is ook mogelijk om in verschillende samples op verschillende manieren te middelen naar het rekenrooster. Zo zou er onderscheid gemaakt kunnen worden tussen de middeling in zomerbed en winterbed. Dit is niet verder onderzocht.



Figuur 4.1 Verschil in bodemhoogte van de rivier in face centers bij verschillende middelingmethoden nabij rivierkilometer 939.

Tabel 4.3 Het effect van het middelingstype op de waterstanden.

Middeling	Effect waterstand Nijmegen (m)
Gemiddelde (Averagingtype=1)	-
Dichtstbijzijnde punt (Averagingtype=2)	+0.039
Diepste punt (Averagingtype=4)	-0.284



Figuur 4.2 Het effect op de waterstandstand in een langsdoorsnede voor verschillende methoden van middeling van samples

Uit de analyse kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- De methode “Dichtstbijzijnde punt” (Averagingtype=2) geeft een grotere amplitude in bodemhoogte doordat er geen middeling wordt toegepast. Hierdoor zijn de verliezen in advectie groter. Dit resulteert in hogere waterstanden.
- De methode “Diepste punt” (Averagingtype=4) geeft een bodemhoogte die decimeters tot enkele meters lager kan zijn dan de bodemhoogte in de referentie. Met name rondom de oevers zorgt dit voor een vergroting van het doorstroomoppervlak. De waterstanden in het hele model zijn enkele meters lager.
- Aanbevolen wordt om gebruik te maken van de methode “Gemiddelde” (Averagingtype=1). Hierdoor worden grote uitschieters in de bodemhoogte afgevlakt. Deze methode wijkt af van de huidige projectie van Baseline. Deze methode vereist hoge resolutie samples voor een nauwkeurige middeling.

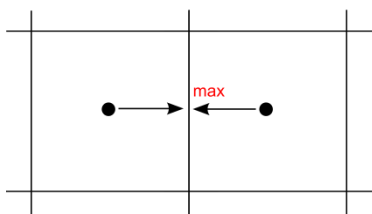
4.2.2 Bedleveltype and conveyance

D-HYDRO werkt met bodemhoogtes en niet met bodemdieptes, zoals in Delft3D en soms in Simona het geval is. In Simona kan je de oriëntatie opgeven worden (default is positive downwards), maar is in alle vijfde-generatie modellen gebruik gemaakt van positive upward. D-HYDRO werkt met bodemhoogtes en dus met een ‘positive upward’ oriëntatie.

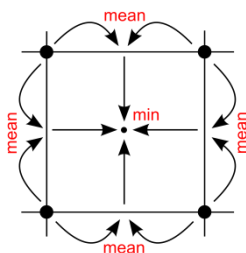
In D-HYDRO kan de discretisatie van de bodemhoogte volgens twee methodes worden geadmistreerd. De overige bodemhoogte-definities in het model zijn afgeleiden. Ook hiervoor zijn diverse instellingen mogelijk (zie ook Figuur 4.3). Er worden vier methoden met elkaar vergeleken, hierbij dient de eerste methode als referentie. De bodemhoogte is het gemiddelde van de samples in de cel (AVERAGINGTYPE=1).

- **Bedlevtype=1:** Discretisatie van de bodemhoogte op grid cellen (face center)
 - Het doorstroomoppervlak (op edge) wordt berekend op basis van maximale bodemhoogte van de twee omliggende cellen.
- **Bedlevtype=3:** Discretisatie van de bodemhoogte op hoekpunten (nodes)
 - **Conveyance2D=-1:** Het doorstroomoppervlak (op de cel wand) wordt berekend als het gemiddelde van de twee hoekpunten.
 - De bodemhoogte in de grid cel (face) wordt berekend als het minimum van de aangesloten edges.
 - **Conveyance2D=1:** Het doorstroomoppervlak (op de cel wand) wordt analytisch berekend met hierin een uniforme stroomsnelheid.
 - De bodemhoogte in de grid cel (face) wordt berekend als het minimum van de hoekpunten.
 - **Conveyance2D=3:** Het doorstroomoppervlak (op de cel wand) wordt analytisch berekend met hierin een stroomsnelheid afhankelijk van de lokale (analytische) waterdiepte.
 - De bodemhoogte in de grid cel (face) wordt berekend als het minimum van de hoekpunten.

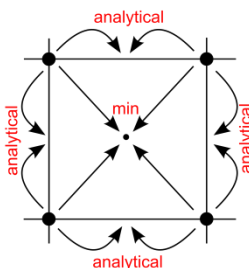
BedlevType = 1



BedlevType = 3, Conveyance2D = -1



BedlevType = 3, Conveyance2D ≥ 1

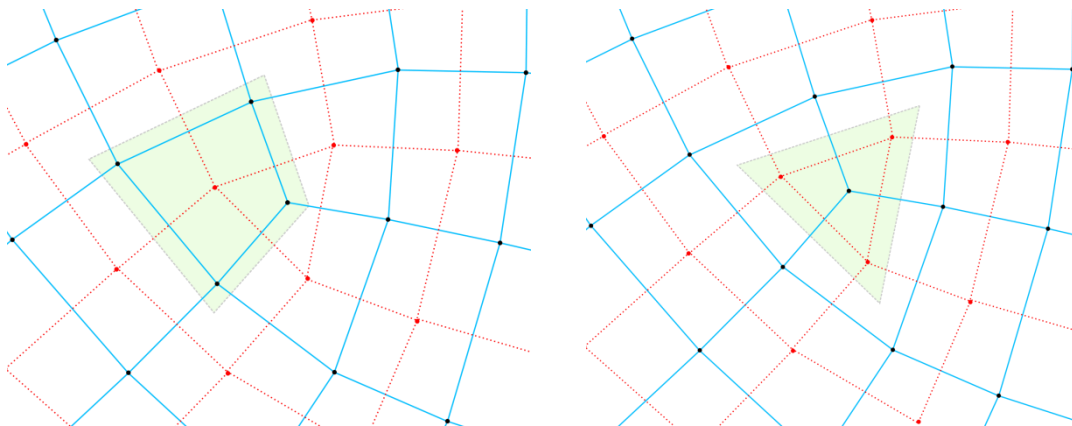


Figuur 4.3 Schematische weergave hoe voor verschillende combinaties van BedlevType en Conveyance2D de bodemhoogte op de verschillende locaties van het rekenrooster wordt geprojecteerd

Voor toepassing van morfologie is de keuze voor de administratie van bodemhoogtepunten cruciaal. Beide methoden bieden mogelijkheid om sedimenttransport en verandering in de bodemhoogte te berekenen. De rekenwijze herkomst van de morfologische module is echter verschillend.

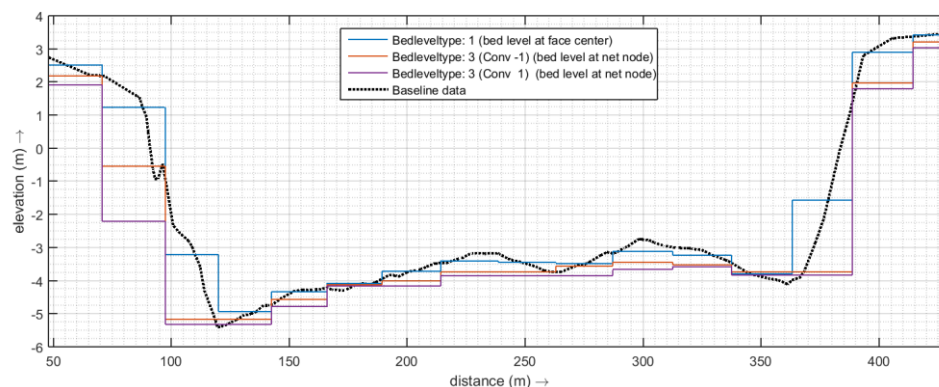
- Bodemhoogte in grid cellen (Bedlevtype=1): Deze implementatie van de morfologie is overgenomen uit Delft3D. Het is de meest volledige implementatie en zowel binnen Delft3D als binnen D-HYDRO is validatie en verificatie van deze methode uitgevoerd.
- Bodemhoogte in hoekpunten (Bedlevtype=3): Deze implementatie van de morfologie is als prototype beschikbaar in D-HYDRO. Er is geen validatie en verificatie van deze methode geweest.

De radius waarbinnen naar samples gezocht wordt is op te geven met de variabele `RELATIVESEARCHCELLSIZE`. Dit definieert een polygoon waarbinnen de samples geselecteerd worden. Deze polygoon wordt verkregen door de afstand van de hoekpunten van de grid cel tot het zwaartepunt van de grid cel te vermenigvuldigen met de `RELATIVESEARCHCELLSIZE` (zie Figuur 4.4). Bij een bodemhoogte op hoekpunten wordt gebruik gemaakt van de cel die de flow links verbindt (de duale cel).



Figuur 4.4 Definitie van de `RELATIVESEARCHCELLSIZE` (of 1.2) bij bodemhoogte op face centers (links) en hoekpunten (rechts)

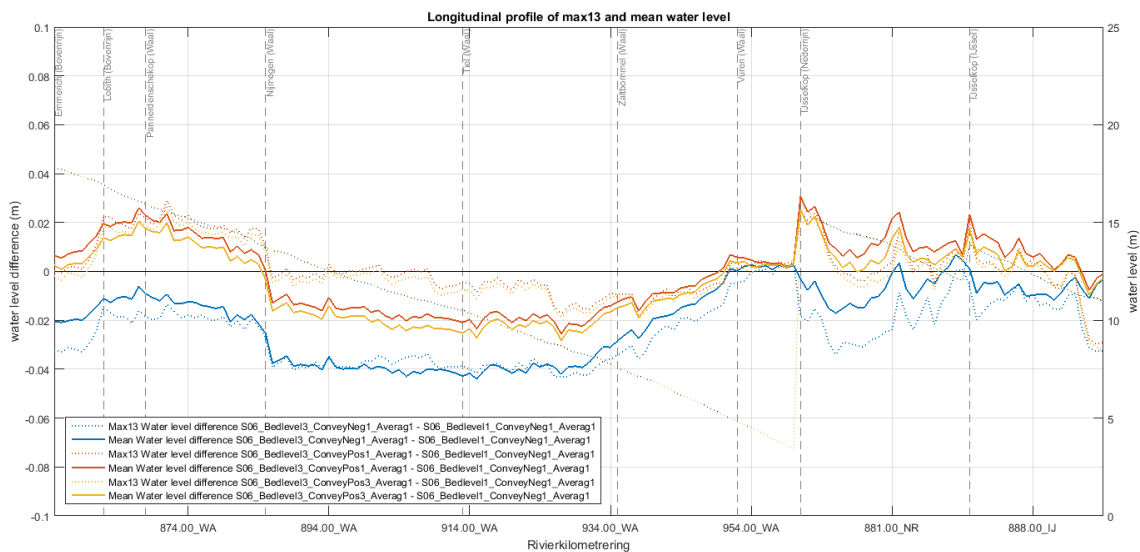
Het effect van het middelingstype op de bodemhoogteprojectie in het zomerbed is te zien in Figuur 4.5. In de figuur is voor iedere methode de bodemhoogte van de grid cell (face center) te zien over een cross-section van de rivier. Daarnaast toont de figuur een doorsnede van het hoogtemodel uit Baseline. Resultaten op de waterstanden bij Nijmegen zijn weergegeven in Tabel 4.4. Resultaten van de waterstanden over een langsdorsnede staan in Figuur 4.6. Figuren van de vergelijking met de referentie zijn te vinden in Bijlage D.2.



Figuur 4.5 Verskil in bodemhoogte van de rivier in face centers bij verschillende bodemhoogte-definities nabij rivierkilometer 939.

Tabel 4.4 Het effect van het bodemhoogtetype op de waterstand bij Nijmegen.

Setup	Effect waterstand Nijmegen (m)
BedlevType=1	-
BedlevType=3 en Conveyance2d=-1	-0.027 m
BedlevType=3 en Conveyance2d=1	-0.007 m
BedlevType=3 en Conveyance2d=3	-0.011 m



Figuur 4.6 Het effect op de waterstandstand in een langsdoorsnede van Bedleveltype=3 en Conveyance2D=-1, 1 en 3.

Uit de analyse kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- De bodemhoogte bij discretisatie op hoekpunten (BEDLEVTYPE=3) heeft een hogere bodemhoogte in face center bij CONVEYANCE2D=-1 dan bij CONVEYANCE2D=1. Dit is consistent met de wijze waarop de bodemhoogte in face centers is afgeleid, omdat bij CONVEYANCE2D=-1 het minimum van de hoekpunten wordt gebruikt en bij CONVEYANCE2D=1 het minimum van de edges.
- Bodemhoogte op hoekpunten (BEDLEVTYPE=3) geeft lagere waterstanden op de Waal ten opzichte van de bodemhoogte op grid cellen (BEDLEVTYPE=1). Dit geldt voor alle methoden van Conveyance-berekening.
 - Bij CONVEYANCE2D=-1 daalt de waterstand gemiddeld 4 centimeter op de Waal.
 - De resultaten van CONVEYANCE2D=1 en CONVEYANCE2D=3 verschillen slechts enkele millimeters van elkaar en hebben beiden een verschil met de referentie van 2 centimeter op de Waal.
- Deze verschillen vertonen dezelfde trend als de veranderingen in de bodemhoogte in grid cellen. De verschillen in waterstand kunnen direct veroorzaakt worden door de verschillen in bodemhoogte.
- Aanbevolen wordt om gebruik te maken van een discretisatie van de bodemhoogte op grid cellen vanwege de mogelijkheden die dit biedt voor de toepassing van een gevalideerde implementatie van de morfologie.
- De projectie naar D-HYDRO met BAS2FM biedt geen mogelijkheid om de bodemhoogte te projecteren op face centers. Ook biedt het geen mogelijkheid om de wijze van middeling te bepalen, maar worden de data geprikt uit het bodemhoogtemodel (ongeveer gelijk aan het dichtstbijzijnde punt). Aanbevolen wordt om Baseline uit te breiden met functionaliteit voor de projectie van de bodemhoogte. In plaats van het een keuze voor een van de projectie algoritmes, kan er ook een voor gekozen worden om export te maken van hoge resolutie samples door BAS2FM. De rekentijd van de discretisatie van deze samples in D-HYDRO is beperkt.

4.3 Gridconvergentie

Er zijn binnen dit onderzoek twee studies naar gridconvergentie uitgevoerd. Zowel bij een bodemhoogtediscretisatie op grid cellen als op hoekpunten.

Naast het referentierooster “Fine (40 m)” zijn er drie andere roosters opgezet. De lengtemaat die naast de naam van het rooster genoemd wordt is de lengte in stroomrichting van een grid cel en daarnaast ook de gemiddelde resolutie van gridcellen in het winterbed. De breedte van grid cellen in het zomerbed is ongeveer de helft hiervan. Enkele kentallen van de rekenroosters zijn gegeven in Tabel 4.5.

- Finer (20 m)
- Medium (80 m)
- Coarse (160 m)

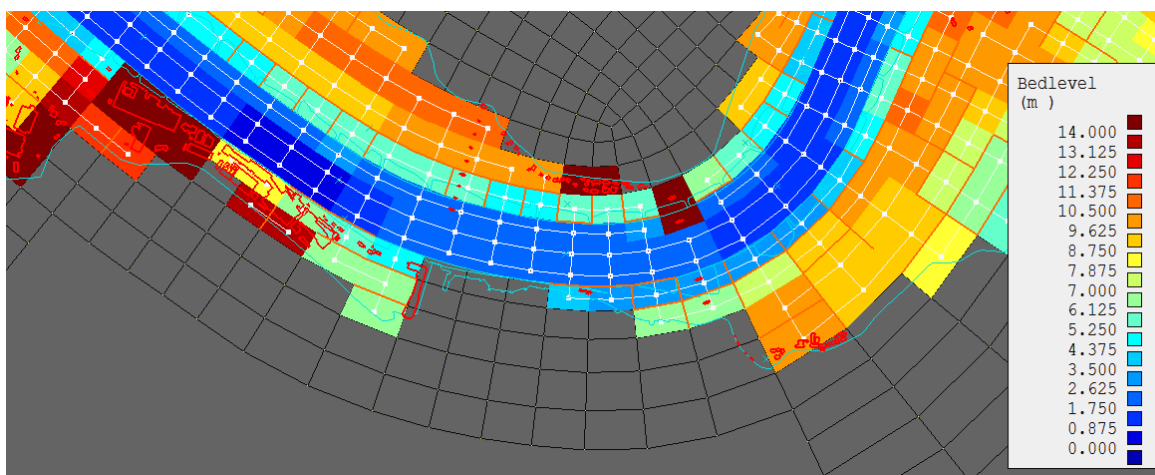
Aangezien grotendeels de meeste elementen in de schematisatie van een model in D-HYDRO gridonafhankelijk zijn, zijn er weinig aanpassingen nodig aan de schematisatie. Alleen de definitie van de trachytopen (per edge) dient opnieuw geprojecteerd te worden voor ieder rekenrooster. Door de grote hoeveelheid grid cellen in het rekenrooster Finer, loopt BAS2FM vast bij de projectie van de trachytopen op het rekenrooster. Om toch een projectie van de trachytopen te krijgen is het rekenrooster in tweeën geknipt en zijn de trachytopenbestanden na projectie met BAS2FM samengevoegd. Mogelijk zijn de trachytopen op de kniprand niet goed geprojecteerd en wordt de defaultwaarde toegevoegd. De bodemhoogte is het gemiddelde van de samples (gelijk aan de samples in Paragraaf 4.2) in de cel (AVERAGINGTYPE=1).

Tabel 4.5 Dimensies van de rekenroosters gebruikt voor de studie naar gridconvergentie. De grid cellen en nodes zijn berekend door RGFGRID voor de toepassing van de rekenroosterbegrenzing.

	Finer (20 m)	Fine (40 m)	Medium (80 m)	Coarse (160 m)
Resolutie in stroomrichting	20 m	40 m	80 m	160 m
Aantal cellen zomerbed Waal	24	12	6	3
Grid cellen	1,213,408	303,359	75,340	18,795
Nodes	1,220,927	307,176	77,234	19,751

In het rooster coarse is ter hoogte van de Waalbrug bij Nijmegen een vernauwing, waardoor de Waal hier slechts een breedte heeft van twee grid cellen (zie Figuur 4.7). Deze vernauwing wordt veroorzaakt doordat één van de brugpijlers een cel volledig afsluit met thin dams. In D-HYDRO wordt een flow link geblokkeerd wanneer deze flow link doorsneden wordt door een thin dam, zie Paragraaf 4.4 en Bijlage A.4.

Een simulatie is ook uitgevoerd waarin de desbetreffende pilaar is verwijderd. Resultaten staan alleen gegeven in de Bijlage. Deze leiden tot een structurele verhoging van de waterstand over de gehele Waal.



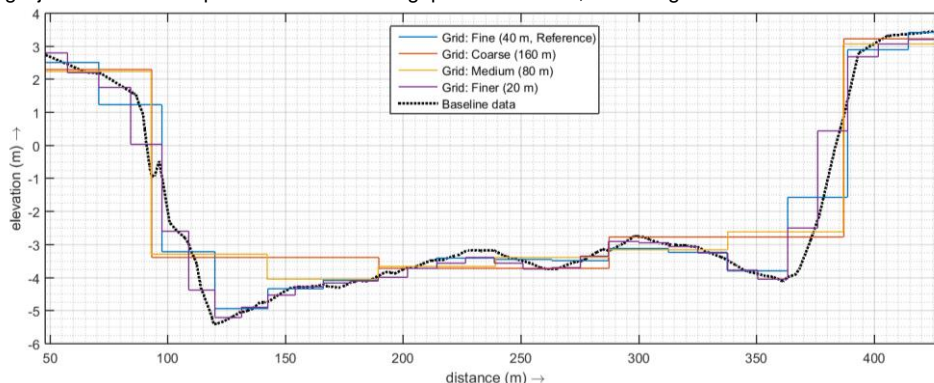
Figuur 4.7 Een pilaar van de Waalbrug bij Nijmegen blokkeert lokaal een gehele grid cel in het rooster Coarse. Dit is te zien door de afwezigheid van Flow Links (witte lijnen) in de figuur.

Het effect van de verschillende resolutie op de rekestijd en waterstanden is gegeven in Tabel 4.6. Figuren per simulatie zijn te vinden in Bijlage D.3.

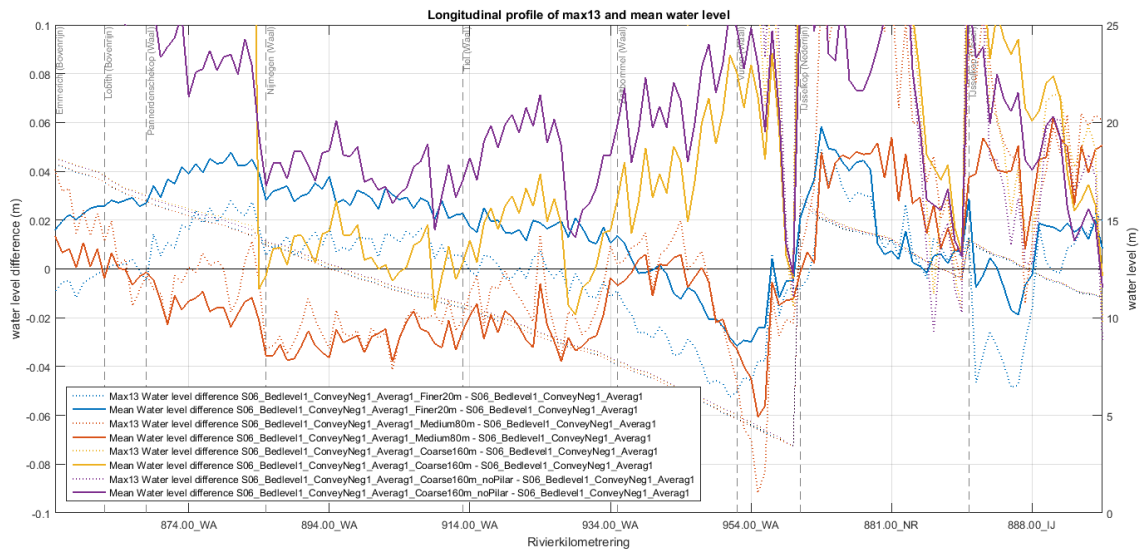
Tabel 4.6 Resultaten van de rekenroosters op de gemiddelde waterstand bij Nijmegen

		Gemiddelde rekestijdstap (s)	Effect waterstand (m)			
			Lobith	Nijmegen	TielWaal	Zaltbom
Bedleveltype=1 (grid cellen)	Coarse	31.0264 ¹	+0.179	+0.007	+0.004	-0.010
	Coarse zonder brugpijler	31.5578 ¹	+0.138	+0.045	+0.038	+0.020
	Medium	10.3474	+0.003	-0.030	+0.053	+0.010
	Fine	3.1369	-	-	-	-
	Finer	1.2819	+0.029	+0.019	+0.120	+0.008
Bedleveltype=3 (hoekpunten)	Coarse	29.7407 ¹	+0.583	+0.357	+0.288	+0.275
	Coarse zonder brugpijler	37.8837 ¹	+0.554	+0.389	+0.318	+0.302
	Medium	10.7137	+0.121	+0.045	-0.001	+0.049
	Fine	3.5347	+0.021	-0.007	-0.021	-0.014
	Finer	1.4273	+0.015	-0.013	-0.021	-0.025

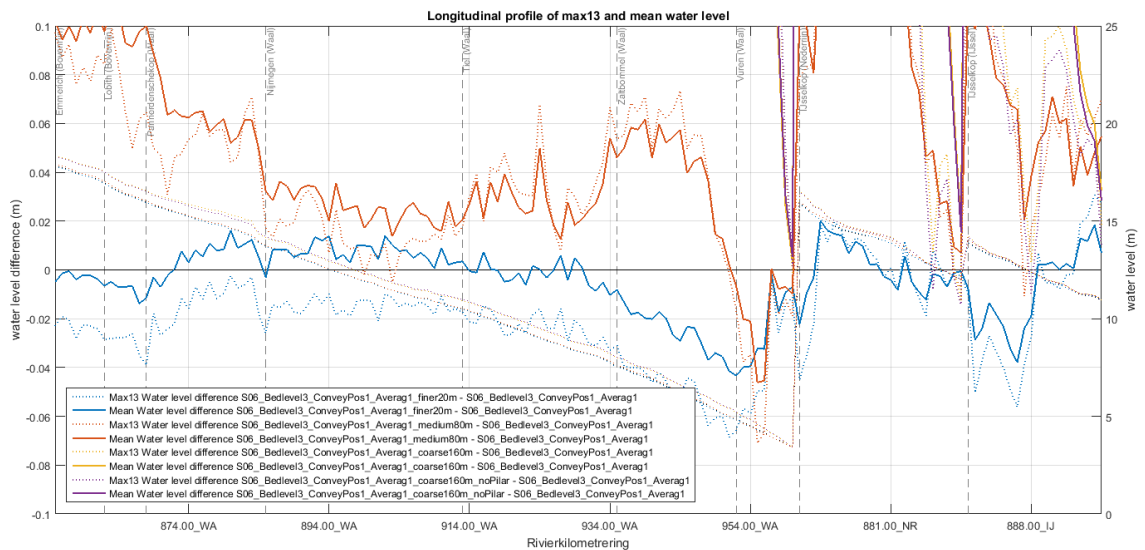
¹ Om dit mogelijk te maken is de parameter DTMAX aangepast naar 300 s, zie Paragraaf 4.5 voor meer informatie hierover



Figuur 4.8 Verschil in bodemhoogte van de rivier in face centers bij verschillende roosters nabij rivierkilometer 939



Figuur 4.9 Het effect op de waterstandstand in een langsdoorsnede voor de roosters Finer (blauw), Medium (Rood), Coarse (Geel) en Coarse zonder brugpijler (Paars) voor Bedleveltype=1



Figuur 4.10 Het effect op de waterstandstand in een langsdoorsnede voor de roosters Finer (blauw), Medium (Rood), Coarse (Geel) en Coarse zonder brugpijler (Paars) voor Bedleveltype=3. Beide simulaties met het rooster Coarse hebben verschillen groter dan 0.1 meter en vallen daardoor grotendeels buiten de grafiek.

Uit de analyse kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Voor de verschillende roosters dienen de trachytopen opnieuw geprojecteerd te worden, omdat dit als enige model-input niet grid-onafhankelijk is. Bij de projectie van trachytopen op het rooster Finer loopt BAS2FM vast op de grote hoeveelheid grid cellen. Indien roosters met een vergelijkbare hoeveelheid grid cellen vaker geprojecteerd dient te worden, dan dient dit in BAS2FM gerepareerd te worden.
- De studie naar gridconvergentie in D-HYDRO geeft goede resultaten. Er is in het rekenrooster Coarse een groot verlies in de nauwkeurigheid van de projectie van geometrische beschrijving, waardoor de waterstanden voor beide bedleveltypes enkele decimeters toenemen. De verschillen van de roosters Medium en Finer met het referentie rekenrooster Fine zijn slechts enkele centimeters. Voor de aanwezige

verschillen kan bij een kalibratie gecorrigeerd worden. Dit kan wel invloed hebben op de mogelijkheid om het model toe te passen buiten de gekalibreerde bereiken.

- Voor de discretisatie van de bodemhoogte op hoekpunten is een goede eenduidige convergentie zichtbaar: de waterstanden in het model nemen af bij rekenroosters met een hogere resolutie. Het is niet mogelijk om op basis van de geteste resoluties te bepalen naar welke oplossing het model convergeert. Door de beperkingen in de projectie van de trachytopen en in de rekentijd is de generatie van een rooster met een hogere resolutie (10 m) niet eenvoudig uit te voeren.
- Voor de discretisatie van de bodemhoogte op grid cellen is er geen eenduidige convergentie zichtbaar bij de verschillende resoluties van het rekenrooster.
- De wijze van projectie van hoogwatervrije lijnen (thin dams) kan ervoor zorgen dat een kleine hoogwatervrije lijnen toch een gehele celwand (edge) blokkeren. Het wordt aanbevolen om de afhandeling van thin dams door Bas2FM of D-HYDRO aan te passen. Dit staat verder uitgewerkt in Paragraaf 4.4.

4.4 Overlaten

Voor een nauwkeurige projectie van overlaten (fixed weirs) zijn twee modelleeraspecten belangrijk:

- De wijze van projectie van de overlaten op het rekenrooster
- De formulering gebruikt voor het berekenen van de afvoer over een overlaat

4.4.1 Projectie van overlaten

Zoals reeds vermeld in Paragraaf 3.2 is de projectie van overlaten op het rekenrooster onderdeel van het opzetten van een modelschematisaties. In D-HYDRO is een de invoer van een overlaat gridonafhankelijk (XYZ) en wordt deze door D-HYDRO op het rooster geprojecteerd. In de vijfde generatie modellen wordt de projectie naar het WAQUA-rooster uitgevoerd door het programma Baswaq (onderdeel van Baseline).

Een uitleg van de wijze waarop de projectie van de overlaten (en thin dams) plaatsvindt in D-HYDRO is beschreven in Bijlage A.4. Deze werkwijze verschilt aanzienlijk van de werkwijze in Baswaq zoals beschreven staat de technische documentatie hiervan. Enkele voorbeelden van handelingen die uitgevoerd worden door Baswaq zijn (Rijkswaterstaat, 2005):

- In Baswaq wordt ieder (x,y)-punt van de overlaatlijn vertaald naar het dichtstbijzijnde (m,n)-punt. Ook als de overlaten (vele malen) kleiner zijn dan de grid cel.
- Wanneer in Baswaq meerdere steunpunten (knikpunten) van een overlaat op één punt worden geprojecteerd. Vervolgens vindt een afweging plaats over wat de waarde van dit geprojecteerde punt moet worden
- Een overlaat van een krib wordt altijd gestart met de oever om achterloopse stroming te voorkomen. Op de kribkop zijde vindt nog een eventuele verlaging plaats. Deze verlaging is afhankelijk van de relatieve lengte van de krib de laatste cel.

De momenteel aanwezige projectie van overlaten in D-HYDRO wijkt af van dan de projectie in Baswaq. Dit heeft met name betrekking voor kleine overlaten met een lengte kleiner dan de roostercel. Uit de NGHS acceptatietesten (De Goede, 2015) is geconcludeerd dat de verschillen in waterstanden tussen de Baswaq-projectie en de D-HYDRO-projectie klein zijn. Er is toen echter niet gekeken naar de locatie en hoogte van de geprojecteerde overlaten. Op basis van deze analyse kan er nog niet geconcludeerd worden dat de projectie in D-HYDRO voldoende is voor de zesde-generatie modellen. Er zijn aanvullende analyses en mogelijk verbeteringen nodig aan D-HYDRO voor gestart kan worden met de officiële Rijkswaterstaat-modellen.

4.4.2 Overlaatformulering

In D-Flow FM zitten twee concepten voor het berekenen van het energieverlies door kribben en overlaten, te weten:

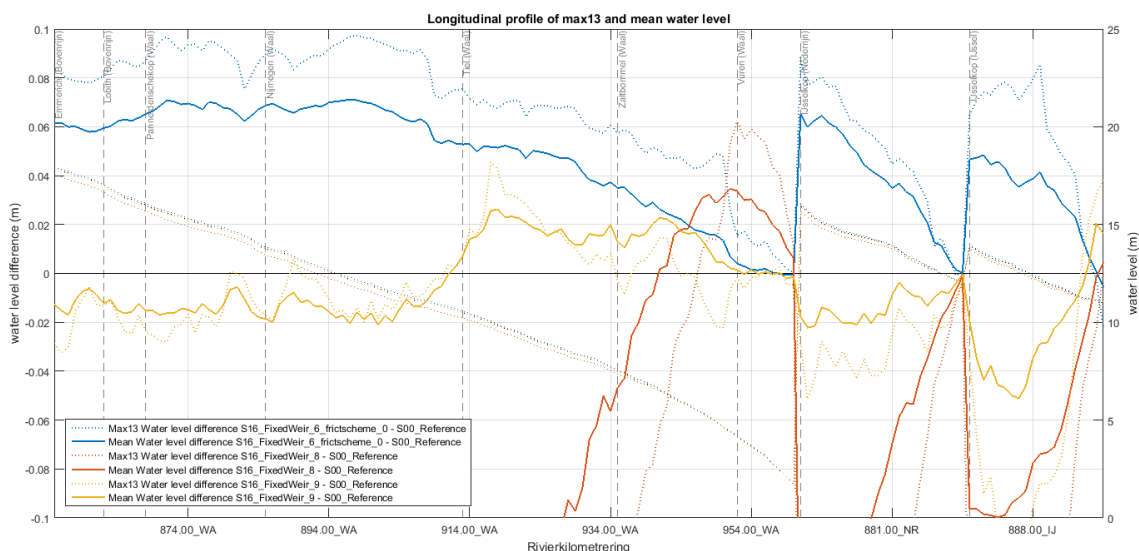
- een numerieke aanpak via de discretisatie van de advectietermen (Fixedweirscheme=6); en
- een empirische aanpak waarbij gootproefmetingen gefit zijn in een empirische formule. Hiervoor zijn twee opties:
 - Tabellenboek (Fixedweirscheme=8) of
 - Villemonte (Fixedweirscheme=9).

In de referentie is gebruik gemaakt van de numerieke aanpak. Een vergelijking met de andere methoden is gegeven in Figuur 4.11 en Tabel 4.7. Hierin zijn ook resultaten van de numerieke aanpak bij FrictScheme=0 toegevoegd. Deze instelling zorgt ervoor dat de waterdiepte (en de hieruit volgende weerstand) van de overlaat niet wordt berekend op basis van de waterstand boven de overlaathoogte (sub-grid; FrictScheme=1), maar op basis van de waterstand boven de bodemhoogte.

In WAQUA zit de overlaatformulering van Tabellenboek en Villemonte. Een directe vergelijking van de simulaties in D-Flow FM met de WAQUA-simulatie is niet uitgevoerd. Ten tijde van de toetsing van de acceptatiemodellen (De Goede, 2015) bleek geen verschil in resultaten. Sindsdien zijn echter aanpassingen gedaan aan de implementatie om ook de linker- en rechterhoogte van de overlaat correct mee te nemen. Er blijken echter nog fouten te zitten in de implementatie waardoor deze extra eigenschappen niet correct worden meegenomen in de berekening. Na verbetering van de code dient onderstaande analyse nogmaals uitgevoerd te worden.

Van de numerieke aanpak (Fixedweirscheme=6) is het nadeel dat er geen overlaten/kribben in naburige rekencellen mogen liggen. Dan zijn de modelresultaten minder nauwkeurig. In het Rijntakkenmodel komt dit zeer vaak voor (zie Bijlage A.5). Daarom is het plausibel dat de modelresultaten verschillen opleveren bij de vergelijking met WAQUA. Deze conclusies zijn in lijn met die van het NGHS-acceptatietestenrapport (De Goede et al., 2015).

Recent is ook de Villemonte-aanpak toegevoegd aan D-Flow FM. Dit zou vergelijkbare resultaten moeten opleveren met de Tabellenboek-aanpak. Bij WAQUA simulaties is dit inderdaad het geval. De D-Flow FM resultaten laten echter een ander resultaat zien, namelijk dat er forse verschillen optreden en dat de resultaten meer vergelijkbaar zijn aan de numerieke methode. Dit is niet conform de verwachting. De Villemonte-aanpak in D-Flow FM is vooral in vereenvoudigde modelschematisaties getest, waarvoor de resultaten wel in overeenstemming met die van het Tabellenboek zijn. Mogelijk is er een probleem met de conversie van dwars op het rooster gelegen kribben en overlaten met Villemonte. De oorzaak van dit verschil dient uitgezocht te worden en is gemeld aan de B&O-organisatie van D-Flow FM.



Figuur 4.11 Het effect op de waterstandstand in een langsdoorsnede voor diverse overlaatformuleringen

Tabel 4.7 Effect van de overlaatformulering op de gemiddelde waterstand bij Nijmegen

	Effect waterstand Nijmegen (m)
Fixed weir type 6	-
Fixed weir type 6 (FrictScheme=0)	+0.068
Fixed weir type 8	-0.158
Fixed weir type 9 (C1=1, C2=10)	-0.016

Uit de analyse in deze paragraaf en het onderzoek naar de modelkalibratie (zie Hoofdstuk 5) kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- De projectie van de overlaten op het rooster in D-HYDRO verschilt aanzienlijk van de projectie door Baswaq. Deze verschillen hebben mogelijk grote invloed op de schematisatie van de overlaten en de resultaten van het model.
- Het gebruik van de numerieke overlaatformulering (Fixed Weir Type=6) wordt afgeraden omdat deze methode zorgt voor minder nauwkeurige resultaten wanneer er meerdere overlaten aansluiten op één gridcel. Zoals te zien in de figuren van de projectie (Bijlage A.5) is dit voor deze pilot-applicatie vaak het geval.
- Bij toepassing van de Villemonte-overlaatformulering wijken de modelresultaten aanzienlijk af van de Tabellenboek-formulering. Uit eerdere ervaringen was verwacht dat deze resultaten vergelijkbaar zouden zijn.
- Op basis van deze punten wordt aanbevolen:
 - Een controle uit te voeren van de implementatie van de diverse overlaatformuleringen en de invoer die hiervoor noodzakelijk is met betrekking tot onder meer de linker- en rechterhoogte. Pas na deze controle kan een conclusie getrokken worden welke aanpak aanbevolen dient te worden voor Rijkswaterstaatmodellen. De uitvoering van deze controle is inmiddels gestart.
 - Extra onderzoek dient uitgevoerd te worden naar de projectie van overlaten op het rekenrooster. Mogelijk zijn verbeteringen aan de projectie van overlaten in D-HYDRO noodzakelijk. Een plan voor de uitvoering van dit onderzoek is inmiddels opgesteld. De eerste stap in dit onderzoek is het onderzoeken van de projectie in Baswaq.

- Het is noodzakelijk dat deze beide acties met hoge prioriteit worden behandeld vanwege de grote invloed op modelopzet en kalibratie. Zonder deze conclusies en eventuele verbeteringen kan niet gestart worden met de bouw van de officiële Rijkswaterstaat-modellen.

4.5 Rekentijdstep

In D-HYDRO wordt de berekening van advectieterm expliciet uitgevoerd. Dit introduceert een beperkende rekentijdstep welke automatisch wordt ingesteld op basis van het Courant criterium. De modelleur heeft de mogelijkheid om instellingen te doen aan de maximale rekentijdstep (DTMAX) en het maximaal toelaatbare Courant criterium (CFLMAX).

Er zijn twee testen uitgevoerd waarbij de rekentijdstep indirect of direct wordt beïnvloed. Allereerst wordt het Courant-getal (CFLMAX) aangepast, deze resultaten staan in Tabel 4.8. Vervolgens is de maximaal toegestane rekentijdstep (DTMAX) aangepast, deze resultaten staan in Tabel 4.9. Ten slotte is een test uitgevoerd met het variëren van de initiële rekentijdstep (DTINIT), hiervan staat het resultaat onder de tabellen.

Tabel 4.8 Effect van het criterium CFLmax op de gemiddelde rekentijdstep en de gemiddelde waterstand bij Nijmegen

CFLMax (-)	Gemiddelde rekentijdstep (s)	Rekentijd (s)	Effect waterstand Nijmegen (m)
0.5	2.20628	52,441.9	-0.001
0.7	3.09379	39,142.4	-
0.9	3.98402	32,682.9	+ 0.001

Tabel 4.9 Effect van de parameter DtMax op de gemiddelde rekentijdstep en de gemiddelde waterstand bij Nijmegen. De langere rekentijd van DtMax=30, wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat er meer uitvoer is weggeschreven bij het referentiemodel.

DtMax (s)	Gemiddelde rekentijdstep (s)	Rekentijd (s)	Effect waterstand Nijmegen (m)
0.5	0.50000	204,663.0	-0.002
1.0	1.00000	106,143.0	-0.002
2.0	2.00000	56,505.5	-0.002
5.0	3.09324	38,934.9	+0.000
30.0	3.09379	39,142.4	-

Ten slotte zorgt het veranderen van de initiële rekentijdstep (DtInit) van 30 seconden naar 5 seconden voor een kleine afname in de rekentijd (gemiddelde rekentijdstep = 3.09381 s, rekentijd = 38922.8 s).

Uit de analyse kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Wanneer door de instellingen van de modelleur de automatische rekentijdstep verder wordt verkleind dan in het referentiemodel, zijn de effecten op de resultaten nog zeer beperkt (maximaal 2 mm). De convergentie van de rekentijdstep is hiermee goed.
- De instelling van de parameter DTMAX heeft grote invloed op de rekentijd. Het is daarom belangrijk dat DTMAX groter wordt gekozen dan de rekentijdstep bij toepassing van het Courant criterium om zo de simulatie niet te beïnvloeden. Er wordt aanbevolen een grote DTMAX te gebruiken.
- Een vermindering van de parameter CFLMAX van 0.7 naar 0.5 zorgt voor een significante toename in de rekentijd (toename naar 134%) terwijl het effect op de waterstanden beperkt is. Een toename van CFLMAX van 0.7 naar 0.9 geeft een beperkte reductie van

de rekentijd (afname naar 83%), terwijl het effect op de waterstanden beperkt is. Er wordt aanbevolen gebruik te maken van de defaultwaarde van CFLMAX (0.7).

4.6 Viscositeit

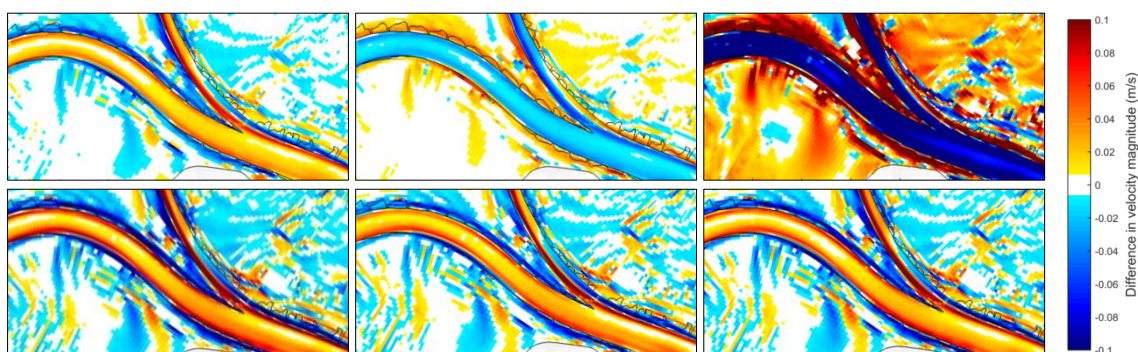
Er zijn twee mogelijkheden om de horizontale turbulente viscositeit te definiëren. Deze kan als een constante waarde worden ingegeven of berekend worden met de gridonafhankelijke (ruimtelijk variërende) Smagorinsky-formulering. De volgende varianten zijn onderzocht:

- Toepassing van een globale viscositeit van 0.5, 1.0 (referentie), 1.5 en 5.0
- Toepassing van Smagorinsky-formulering met diverse coëfficiënten en toepassing van de Elder-formulering.

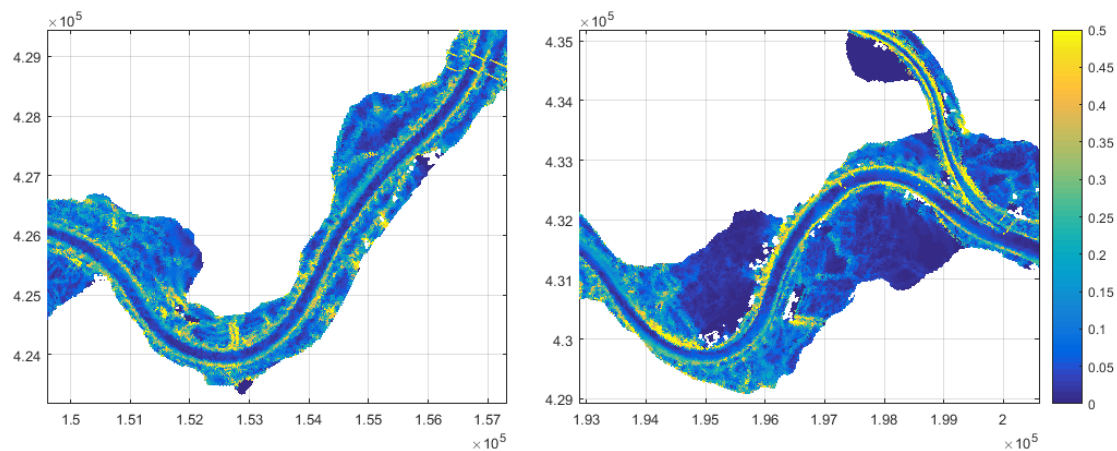
De resultaten van de simulaties zijn hieronder gegeven voor de waterstand bij Nijmegen (Tabel 4.10) en de stroomsnelheid bij de Pannerdensch Kop (Figuur 4.12). Daarnaast is in Figuur 4.13 de viscositeit bij Smagorinsky=0.15 te zien.

Tabel 4.10 Effect van de viscositeit op de rekentijd en de gemiddelde waterstand bij Nijmegen

Viscositeit	Rekentijd (s)	Effect waterstand Nijmegen (m)
Vicouv=0.5	40,545.1	-0.047
Vicouv=1.0	39,142.4	-
Vicouv=1.5	38,688.0	+0.043
Vicouv=5.0	33,961.9	+0.269
Vicouv=1E-5 Smagorinsky=0.10	41,526.0	-0.080
Vicouv=1E-5 Smagorinsky=0.15	42,977.9	-0.060
Vicouv=1E-5 Smagorinsky=0.10 Elder=1.00	41,880.1	-0.074



Figuur 4.12 Het effect op de stroomsnelheid (m/s) van de verschillende viscositeitsberekeningen. Boven: Vicouv = 0.5, 1.5 en 5.0; Onder: Smagorinsky=0.10, Smagorinsky=0.15 en Smagorinsky=0.10 met Elder-formulering.



Figuur 4.13 Viscositeit op 1 februari 1995 bij simulatie $Smag=0.15$ op twee locaties op de Waal. links: bocht bij Sint Andries. rechts: bocht bij Erlecom en Pannerdensch Kop;

Uit de analyse kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Uit Figuur 4.12 kan geconstateerd worden dat een toename in de viscositeit leidt tot een afname van de stroomsnelheid in het zomerbed en een toename van de stroomsnelheid in het winterbed. Deze resultaten waren reeds verwacht omdat een toename in de viscositeit ervoor zorgt dat de verschillen in stroomsnelheid over een dwarsdoorsnede van de rivier worden verkleind.
- Daarnaast is uit de relatie tussen Figuur 4.12 en Tabel 4.10 te zien dat een toename in de stroomsnelheid in het zomerbed leidt tot een verlaging van de waterstand bij Nijmegen en visa versa.
- Uit Figuur 4.13 kan geconcludeerd worden dat tijdens de piek van het hoogwater de viscositeit van $Smagorinsky=0.15$ in het winterbed ongeveer $0.15 \text{ m}^2/\text{s}$, en in het zomerbed ongeveer $0.02 \text{ m}^2/\text{s}$ is. Op de overgang van zomerbed naar winterbed is de snelheidsgradiënt het grootst en is ook de berekende viscositeit het grootst ($0.5 \text{ m}^2/\text{s}$). Deze waarden zijn veelal lager dan het bereik voor een constante viscositeit dat doorgaans gebruikt wordt vergelijkbare resolutie van rekenroosters ($0.5 - 1.0 \text{ m}^2/\text{s}$).
- In de bijlage is te vinden dat bij gebruik van Smagorinsky de rekentijd met 6-10% toeneemt.
- Het gebruik van een viscositeits-formulering op basis van de formulering van Smagorinsky geeft de mogelijkheid om een keuze te maken voor een gridonafhankelijke coëfficiënt. Dit in tegenstelling tot een constante waarde welke gevarieerd zou moeten worden voor verschillende resoluties van het rekenrooster. Om deze reden wordt geadviseerd om gebruik te maken van de Smagorinsky-formulering. Er dient echter wel aanvullend onderzoek te gebeuren voor een optimale afregeling van de parameters.

4.7 Wall roughness

Wanneer er geen stroming is door een celwand (edge), dan kan de diffusie van de ruwheid van deze celwand niet worden uitgerekend op basis van de stroomsnelheid en wordt er gebruik gemaakt van een slip-randvoorwaarde. Er zijn drie instellingen mogelijk.

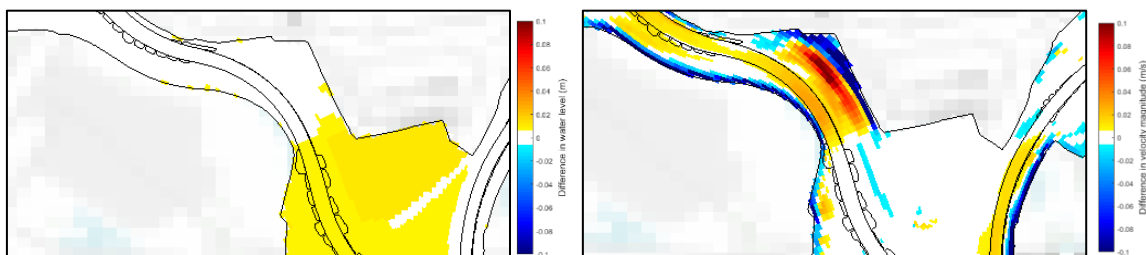
- Vrije slip (*referentie*) ($i_{rov}=0$)
- Gedeeltelijke slip met coëfficiënt $wall_ks$ ($i_{rov}=1$, $wall_ks=0.3$)
- Geen slip ($i_{rov}=2$)

Bij vrije slip is er geen wandwrijving en dus een lagere weerstand, terwijl een simulatie zonder slip (geen slip) zal zorgen voor een grotere weerstand. Vrije slip komt overeen met de aanpak in WAQUA.

De resultaten voor de verschillende instellingen zijn te vinden in Tabel 4.11 en een detailplot van de Nederrijn voor “Geen slip” in Figuur 4.14.

Tabel 4.11 Effect van de slip methode bij dichte celwanden op de rekentijd en de gemiddelde waterstand bij Nijmegen

	Rekentijd (s)	Effect waterstand Nijmegen (m)
Free slip (irov=0)	39,142.4	-
Partial slip using wall_ks (irov=1, wall_ks=0.3)	39,031.3	+0.000
No slip (irov=2)	39,433.6	+0.003



Figuur 4.14 Verandering in de waterstanden (links, -0.1 tot +0.1 m) en stroomsnelheden (rechts, -0.1 tot 0.1 m/s) op de Nederrijn bij rkm 881_NR op 1 februari 1995 voor irov=2

Uit de analyse kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Het effect op de waterstanden bij gedeeltelijke slip (irov=1) is een verwaarloosbare toename tot 0.4 mm. Door de toegevoegde weerstand was een toegenomen waterstand verwacht.
- Het effect op de waterstanden bij geen slip (irov=2) is een kleine verhoging. Dit wordt veroorzaakt door de toegenomen weerstand. De verschillen zijn het grootst bij de piek van de afvoergolf (1 mm). Tijdens de piek van de afvoergolf stroomt het water tot de bandijken, hier is de toename in weerstand het grootst.
- Bij irov=2 is een plotselinge toename in de waterstand zichtbaar op de Nederrijn bij 881_NR. De weerstand bij de bandijken zorgt ervoor dat de stroming zich meer concentreert in de rivier en in de benedenstreams aangetakte “Nieuwe Haven”. Bovenstreams van deze haven neemt de waterstand toe.
- De instelling van deze weerstand heeft vooral effect bij steile hellingen, waar een hoge stroomsnelheid kan voorkomen bij een droge cel in de grid cel ernaast.
- Opvallend bij irov=2 is de toename van de afvoer op de Waal bij de piek van de afvoergolf, terwijl er geen afname in de afvoer op het Pannerdensch Kanaal is. Dit betekent mogelijk dat de afvoer over een afvoerraai niet correct berekend is doordat deze niet over de volledige breedte van het rekenrooster loopt. Deze aanname dient nog geverifieerd te worden met modelresultaten.
- Hoewel het effect klein is, wordt aanbevolen om gebruik te maken van ruwheid op basis van de gedeelte slip (irov=1). Rapporten van eerdere onderzoeken benadrukken de noodzaak van deze instelling voor een juiste berekening van de circulatie in kribvakken bij gebruik van een rekenrooster met een hogere resolutie in deelmodellen (Yossef, 2005 en Platzek & Patzwahl, 2015b). Door gebruik te maken van irov=1 wordt de fysica beter gerepresenteerd en kan de instelling gelijk blijven voor verschillende resoluties. De coëfficiënt wall_ks=0.3 kan gebruikt worden als initiële waarde, maar dient in verder onderzoek als kalibratiecoëfficiënt aangepast te worden.

4.8 Spiraalstroming

Voor het toepassen van spiraalstroming (secondaire flow) zijn twee berekeningen uitgevoerd. In de eerste berekening is de spiraalstroming wel berekend, maar wordt dit niet meegenomen in de berekening van de overige hydrodynamica. In een tweede berekening wordt een coëfficiënt $\text{BetaSpiral}=0.5$ toegepast waardoor de secondaire stroming wel invloed heeft op de stroomsnelheden en waterstanden.

Hoewel de spiraalstroming in D-HYDRO in studies al vaker is toegepast op ongestructureerde roosters, is de simulatie met $\text{BetaSpiral}=0.5$ niet stabiel. De stroomsnelheden worden oneindig hoog in een ondiepe plas naast het Pannerdensch Kanaal nabij het dorp Boerenhoek.

Tabel 4.12 Effect van de spiraalstroming op de gemiddelde waterstand bij Nijmegen

	Effect waterstand Nijmegen (m)
Geen spiraalstroming	-
$\text{BetaSpiral}=0$	0.000
$\text{BetaSpiral}=0.5$	Niet stabiel

Uit de analyse kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Een berekening met spiraalstroming kan succesvol worden uitgevoerd, maar wanneer de spiraalstroming wordt meegenomen in de berekening van het momentum ($\text{BetaSpiral}>0$), dan zorgt dit voor instabiliteiten in het model. Binnen enkele rekentijdstappen is door de hoge stroomsnelheid in enkele ondiepe plassen, de rekentijdstep geconvergeerd naar 0 s.
- In eerdere studies met een eenvoudigere geometrie is het wel mogelijk geweest om met spiraalstroming te rekenen. Uitgezocht dient te worden waarom deze functionaliteit in deze pilot-applicatie van de Rijntakken niet werkt.

4.9 Testen van processen

Er zijn enkele eenvoudige testen uitgevoerd met het toevoegen van extra processen of randvoorwaarden. Doel van deze testen het verifiëren dat deze processen kunnen worden toegevoegd, en dat deze in toegevoegde vorm ook kunnen worden uitgeschakeld. Door uitvoering van deze testen kan bevestigd worden dat het model gekoppeld kan worden met modellen met andere belangrijke (en toegepaste) processen, zonder dat dit invloed heeft op de modelresultaten.

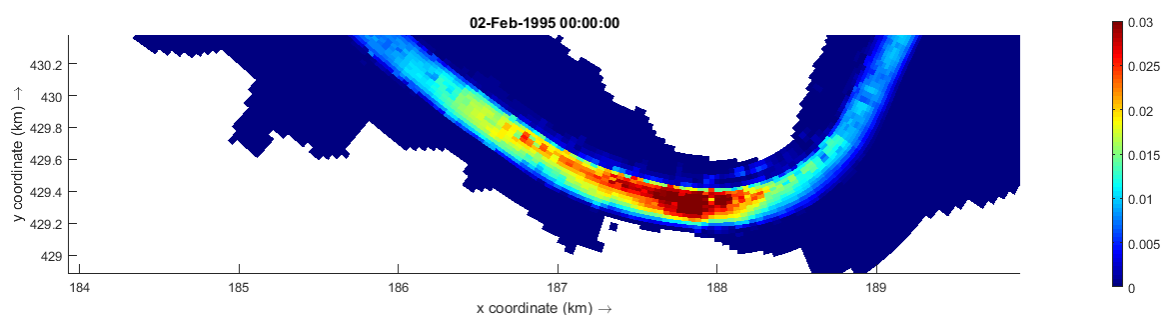
Tabel 4.13 Invoer berekeningen

Type		Aanpassing
Restart	-	Een simulatie wordt gestart op basis van een restart-bestand dat gegenereerd is door de referentie
Zout	Overdreven	Zout wordt toegevoegd bij een lateraal en bij de BC Hardinxveld
	Beperkt	Zout wordt maar in beperkte mate toegevoegd
Temperatuur	Overdreven	Temperatuur wordt toegevoegd bij lateraal en bij BC Emmerich
	Beperkt	Temperatuur wordt in beperkte mate toegevoegd
Regen	Overdreven	Een zware regenbui (50 mm) met variatie in ruimte en tijd wordt opgelegd aan het model met een (ander) ongestructureerd grid
	Beperkt	Een lichte regenbui (1 mm) met variatie in ruimte en tijd wordt opgelegd aan het model met een (ander) ongestructureerd grid
Wind	Overdreven	Een sterke wind (Noord: 25 m/s, Oost: 5 m/s) met variatie in ruimte en tijd wordt opgelegd aan het model met een (ander) ongestructureerd grid
	Beperkt	Een zwakke wind (Noord: 2 m/s, Oost: 1 m/s) met variatie in ruimte en tijd wordt opgelegd aan het model met een (ander) ongestructureerd grid
Sediment	Zonder morfologie	In een simulatie van de Waal is berekening gemaakt met een versie van D-HYDRO uit de morfologie-branch. BedUpd = false
	Met morfologie	In een simulatie van de Waal is berekening gemaakt met een versie van D-HYDRO uit de morfologie-branch. BedUpd = true

Resultaten van de processen zijn te vinden in de Bijlage D.9. In Tabel 4.14 is beschreven wat het effect van de toevoeging van een proces op de modelresultaten is geweest.

Tabel 4.14 Beschrijving van de resultaten van de toevoeging van processen

Type		Rekentijd (s)	Beschrijving resultaten
Restart	-	35,531.3	Geen veranderingen
Zout	Overdreven	46,218.5	Kleine toename in de waterstand bij Hardinxveld. Zeer kleine toename in zoutgehalte bij het gemaal
	Beperkt	47,254.9	Geen veranderingen
Temperatuur	Overdreven	45,864.9	Kleine toename in de waterstand in het gehele model
	Beperkt	45,898.2	Geen veranderingen
Regen	Overdreven	87,918.1	Significante toename in en om de rivier
	Beperkt	68,688.5	Minimale toename in de rivier. Lichte toename zichtbaar in gebieden omhuld door schotjes.
Wind	Overdreven	54,096.3	Een duidelijk verhang in Noord-Zuid richting wordt veroorzaakt door de Zuidelijke wind.
	Beperkt	39,833.2	Er zijn verwaarloosbare veranderingen
Sediment	Zonder morfologie	-	De berekening is succesvol afgerond. Vanwege de veranderde modelgrenzen en randvoorwaarden is de rekestijd niet relevant.
	Met morfologie	-	Er zijn grote veranderingen in de bodemhoogte waardoor het model binnen 1 s stopt met rekenen. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door instellingen in de morfologie. Dit is niet verder onderzocht.



Figuur 4.15 Sedimenttransport bij Nijmegen ($m^3/s/m$). De hogere ruwheid van de vaste laag is meegenomen in de simulatie maar is niet zichtbaar in het sedimenttransport.

Uit de analyse kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- De werking van een aantal processen is succesvol getest: Restart-bestanden, Zout, Temperatuur, Regen, Wind en Sediment. Met alle processen kan gerekend worden.
- Daarnaast is het mogelijk om de invloed van ieder proces ruimtelijk te variëren en zo het proces slechts actief te laten zijn in een deel van het model, zonder dat dit resulteert in veranderingen in modelresultaten waar het proces niet actief is.
- In veel gevallen zal het toevoegen van een proces wel resulteren in een toename van de rekestijd. Dit wordt veelal niet veroorzaakt door een afname van de gemiddelde rekestijdstap, maar door de extra modules die uitgerekend worden voor het proces. Daarnaast is bij sommige processen ook een groter deel het rooster actief doordat deze cellen nu als nat worden meegenomen. De toename in rekestijd is vergelijkbaar met WAQUA.

4.10 Opbouw deelmodel

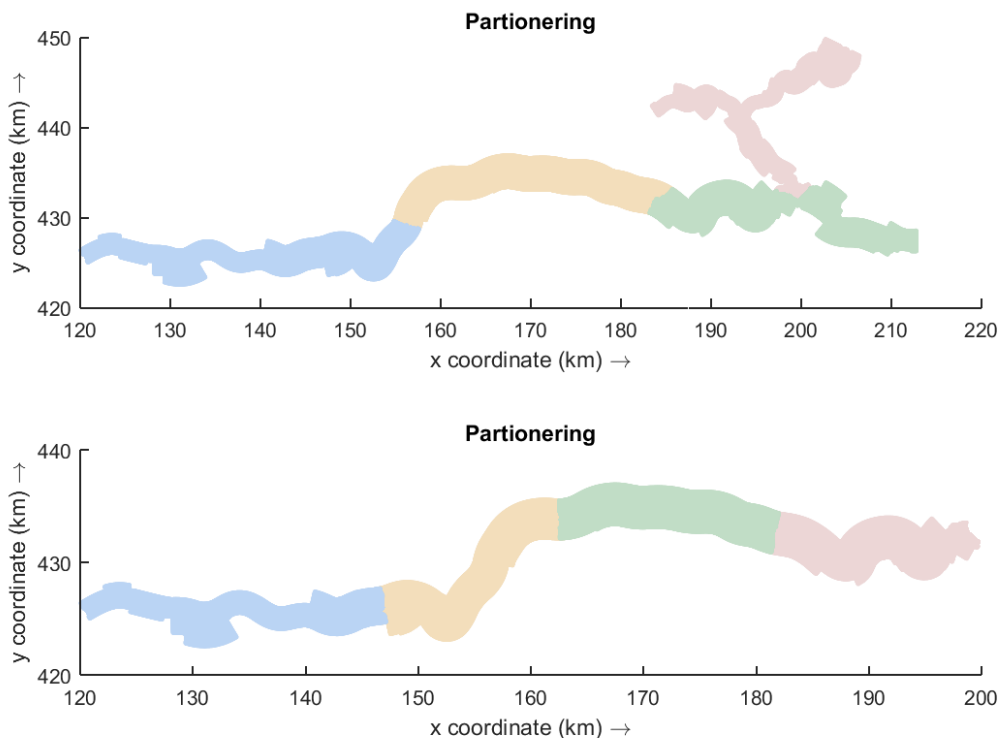
Voor de kalibratie (Hoofdstuk 5) wordt het model afgeknipt tot enkel de Waal. In deze paragraaf worden enkele methoden onderzocht om dit deelmodel te genereren en wordt onderzocht of de resultaten plausibel zijn. De resolutie van het rekenrooster is niet aangepast

Er zijn twee methoden onderzocht om het volledig model te verkleinen tot een model van enkel de Waal. In de eerste methode “verkleinde rekenroosterbegrenzing” is de rekenrooster begrenzing aangepast zodat enkel nog de Waal wordt doorgerekend. In de tweede methode “verkleind rekenrooster” is een aanpassing gedaan aan het rekenrooster door met RGFRID de overige riviertakken te verwijderen.

Resultaten op de waterstand, rekestijdstap en rekestijd zijn gegeven in Tabel 4.15. De partitionering van beide methoden is te zien in Figuur 4.16.

Tabel 4.15 Effect van het bijsnijden van de rekenroosterbegrenzing of het rekenrooster op de rekestijd en de gemiddelde waterstand bij Nijmegen

	Gemiddelde rekestijdstap (s)	Rekestijd (s)	Effect waterstand Nijmegen (m)
Rijntakken model van deze pilot	3.09379	39,142.4	-
Enkel Waal, verkleinde rekenroosterbegrenzing	7.71739	12,107.3	+0.081
Enkel Waal, verkleind rekenrooster	8.37088	8,230.7	+0.081



Figuur 4.16 Automatische partitionering in het geval een bijgesneden rekenroosterbegrenzing (boven) en in het geval van het bijgesneden rooster (onder)

Uit de analyse kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Er is geen verschil in de gesimuleerde waterstand tussen het verkleinen van het model met behulp van de rekenroosterbegrenzing of door het rekenrooster zelf af te verkleinen. De beide simulaties verschillen echter wel van het referentiemodel doordat in de deelmodellen een nieuwe bovenstroomse randvoorwaarde is opgelegd bij de Pannerdenschse Kop.
- Er is een significant effect op de rekentijdstep en de totale rekentijd tussen beide methoden, in het voordeel van het bijsneden van het rooster. Zowel de toename in de rekentijdstep als de afname in de rekentijd worden waarschijnlijk veroorzaakt door de partitionering. Bij de toegepaste automatische partitionering wordt niet meegenomen welke cellen buiten de rekenroosterbegrenzing vallen, waardoor de partitionering niet aangepast is ten opzichte van het volledige rooster. Hierdoor functioneren niet alle partities efficiënt. Dientengevolge wordt aanbevolen om bij de bouw van een deelmodel het rekenrooster te verkleinen.
- Hierdoor is de rekentijd van het verkleind rooster efficiënter door de betere partitionering kan worden toegepast. In de toekomst kan het mogelijk gemaakt worden de rekenroosterbegrenzing mee te nemen bij de partitionering.
- Aanbevolen wordt om bij het uitvoeren van een aanpassing te doen aan het rekenhart, zodat bij het uitvoeren van partitionering de rekenroosterbegrenzing meegenomen wordt. Als deze functionaliteit ontwikkelt is, wordt aanbevolen gebruik te maken van het verkleinen van de rekenroosterbegrenzing zodat er geen aanpassingen aan het rooster hoeven te gebeuren.

4.11 Partitionering en rekenwijze

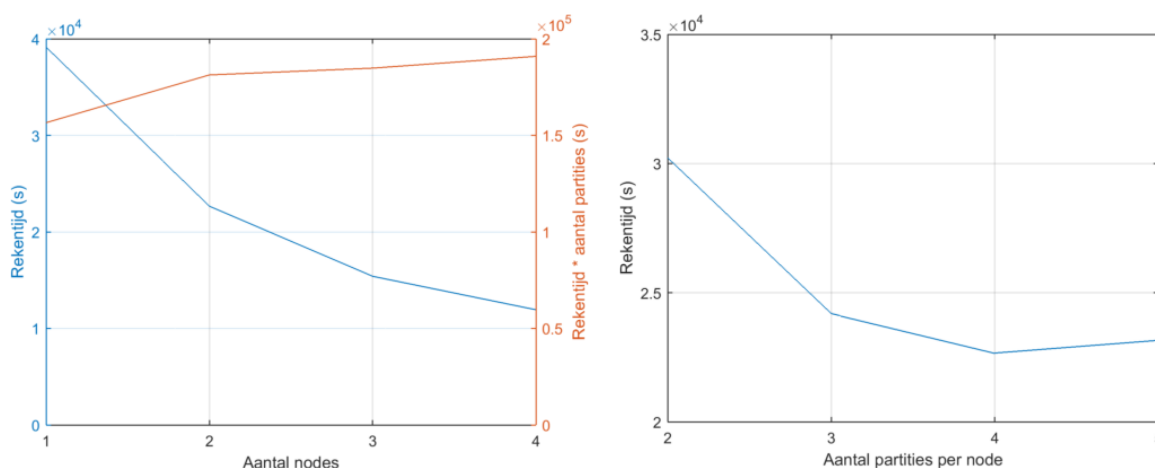
Er zijn diverse manieren om de berekeningen uit te voeren getest:

- Gepartitioneerde berekening op het Linux-rekencluster van Deltares (Hydrax H6) met diverse combinaties van nodes en partities.
- Sequentiële berekening op het Linux-rekencluster van Deltares (Hydrax H6)
- Sequentiële berekening op het Windows-rekencluster van Deltares (WCF)

Het Linux-rekencluster van Deltares (Hydrax H6) gebruikt nodes met 4 cores (of 8 cores met hyper-threading) met op een Intel Xeon CPU E3-1276 v3 @ 3.60GHz. Het Windows-rekencluster van Deltares is een virtuele omgeving waarin gerekend is met een virtuele machine met 4 cores en 16 GB RAM.

Bij een sequentiële berekening wordt nog steeds gebruik gemaakt van meerdere cores door met OpenMP parallelisatie uit te voeren op het DO-loop niveau. Hierdoor is er ook bij een sequentiële berekening nog steeds sprake van enige parallelisatie.

De resultaten hiervan zijn te vinden in Figuur 4.17 en Tabel 4.16.



Figuur 4.17 Effect van de partitionering op de rekentijd van het model. Links: Het effect van het aantal nodes, uitgaande van 4 partities per node; rechts: het effect van het aantal partities per node, uitgaande van 2 nodes.

Tabel 4.16 Effect op de rekentijd van verschillende partitionering en het draaien op Windows. Overige simulaties zijn gedraaid op Linux.

Partitionering	Rekentijd (s)
1 node, sequentieel, Windows	101,192.0
1 node, sequentieel	83,058.3
1 node, 4 partities	39,142.7
2 nodes, 4 partities	22,663.2
2 nodes, 6 partities	30,221.8
2 nodes, 8 partities	24,193.7
2 nodes, 10 partities	23,155.2
3 nodes, 12 partities	15,401.5
4 nodes, 16 partities	11,933.4

Uit de analyse kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Geen van de uitgevoerde simulaties heeft waarneembare veranderingen in de waterstand. De wijze van rekenen heeft dus geen gevolg voor de resultaten van de simulatie.
- Een sequentiële simulatie op Windows is langzamer dan deze zelfde simulatie op Linux. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de specificaties van de gebruikte machines.
- Een sequentiële simulatie is beduidend langzamer dan een parallelle simulatie op één machine. Aanbevolen wordt om voor een optimale rekestijd altijd gepartitioneerd te rekenen.
- Voor het rekencluster van Deltares geldt dat het optimaal is de simulaties op te splitsen in vier partities per node. Dit is gelijk aan het aantal cores per node.
- Wanneer meerdere nodes gebruikt worden voor de uitvoering van een berekening, dan is de afname in efficiency per node slechts beperkt. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de opschaling goed is.
- De schaal van deze testen is beperkt gebleven tot zestien partities over vier nodes. Op grotere (externe) rekenclusters kan de simulaties ook in meer partities opgedeeld worden. Het wordt aanbevolen dit nader te onderzoeken.

4.12 Overige testen

Deze paragraaf bevat enkele tests van ondergeschikt belang. Omdat het gevoel heerste dat sommige componenten grote impact hadden op de rekestijd van het model zijn hier enkele simulaties voor gedaan in Paragraaf 4.12.1. Daarnaast bevat Paragraaf 0 een samenraapsel van andere testen.

4.12.1 Reductie rekestijd bij uitschakeling componenten

Om een gevoel te krijgen voor het effect op de rekestijd van enkele componenten, zijn deze componenten uitgeschakeld of in aantal verminderd. De volgende testen zijn uitgevoerd:

- Het wegschrijven van uitvoer wordt vrijwel volledig uitgeschakeld. Enkel de afvoer noodzakelijk voor de afvoerafhankelijke ruwheden wordt weggeschreven.
- Het opsplitsen van de output in eigen MAP- en HIS-bestanden voor iedere berekende dag (TimeSplitInterval= 1 D).
- Het uitschakelen van de trachytopen module. Er wordt gebruik gemaakt van een constante ruwheid in het model.

Het effect op de rekestijd staat in Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Effect van uitschakelen componenten op de rekestijd

Simulatie	Rekestijd (s)
Referentie	39,142.4
Beperkt houden van de uitvoer	39,016.1
Opsplitsen van de uitvoer	38,923.0
Geen trachytopen	39,124.2

Uit de analyse kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Een verlaging van de hoeveelheid uitvoerparameters en vermindering van de uitvoerfrequentie heeft slechts zeer beperkt effect op de rekestijd. De keuze voor deze instellingen kan dus volledig door de gebruiker bepaald worden.
- Het uitschakelen van de trachytopen heeft een verwaarloosbaar effect op de rekestijd.

4.12.2 Opsomming overige testen

In deze paragraaf staan puntsgewijs nog enkele uitgevoerde testen genoemd:

- In plaats van de parallele solver ICGSolver=6 (parallel/Petsc) is een berekening uitgevoerd met ICGsolver=7 (parallel/GS). Dit resulteert in een grote toename van de rekentijd (98,076.3 s), maar de resultaten zijn identiek.
- De diffusie is aangepast van de standaardwaarde (Dicouv=1.0) naar een verlaging (Dicouv=0.5) en een verhoging (Dicouv=1.5). Dit heeft geen effect op de waterstanden. Dit is logisch omdat in dit model geen gebruik is gemaakt van zout of temperatuur.
- Op waterstandsranden kunnen grote schommelingen verholpen worden door een Fourier smoothing time (T1fsmo) toe te passen op waterstandsranden. Bij gebruik van deze optie wordt de afvoerrandvoorwaarde nadelig beïnvloed en begint het model zonder instroming bij Emmerich. Dit probleem is aangemeld bij de B&O helpdesk.
- Er kan ingesteld worden vanaf welke waterdiepte een cel als droog wordt meegenomen in de berekening (EpsHu). Deze waarde is gevarieerd van de standaard 0.0001 naar 0.0005, 0.0010, 0.0050 en 0.0100. Verandering op de waterstand zijn nauwelijks waarneembaar en het effect op de rekentijd is niet eenduidig en bovendien verwaarloosbaar.

5 Onderzoek kalibratiemethodiek

5.1 Motivatie

Bij de kalibratie van de vijfde-generatie modellen is gebruik gemaakt van aanpassingen van de ruwheid in het zomerbed als enige kalibratieparameter. De kalibratie streeft ernaar de waterstanden op enkele meetstations zo goed mogelijk te herproduceren in het model. Tussen de meetstations zijn kalibratietrajecten gedefinieerd waarin een constante correctie is toegepast. Dit kan ertoe leiden dat op de overgang van de kalibratietrajecten (op het meetstation) grote sprongen zijn in de zomerbedruwheid. Enerzijds zijn dergelijke sprongen in de ruwheid niet realistisch, anderzijds zorgt dit voor problemen wanneer het model gebruikt wordt voor morfologische studies. De scherpe overgang zal resulteren in een grote gradiënt in de sedimenttransportcapaciteit en leiden tot problemen van sedimentatie of erosie ter hoogte van de overgang. Derhalve zijn enkele alternatieve kalibratiemethoden onderzocht.

Het onderzoek naar de kalibratiemethodiek dient de volgende doelen:

- 1 Uitzoeken of het mogelijk is om een kalibratie uit te voeren volgens de huidige methodiek met OpenDA (Paragraaf 5.2).
- 2 Uitzoeken van de invloed van een geleidelijke transitie tussen de verschillende ruwheidsklassen in het zomerbed (Paragraaf 5.3).
- 3 Uitzoeken van de mogelijkheid om naast het zomerbed ook de uiterwaarden mee te nemen in de kalibratie (Paragraaf 5.4).

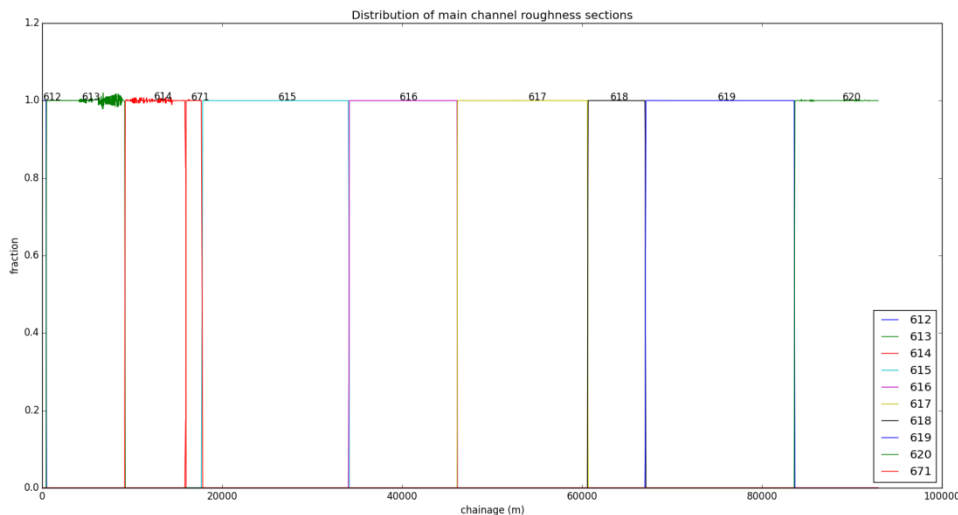
5.2 Kalibratie met aanpak vijfde-generatie modellen

In deze paragraaf wordt een kalibratie uitgevoerd op dezelfde wijze als de kalibratie van de vijfde-generatie modellen in WAQUA. Deze aanpak staat uitgebreid beschreven in Becker (2012). Enkele aspecten van de kalibratie worden hieronder nogmaals kort beschreven.

De ruwheid in het zomerbed wordt bepaald met een versimpelde formulering van Van Rijn. Deze formulering bevat twee coëfficiënten, waarvan de alpha-waarde wordt gekalibreerd en de beta-waarde constant wordt gehouden op 2.5.

$$k = \alpha h^{0.7} [1 - e^{-\beta h^{-0.3}}]$$

De Waal wordt opgedeeld in meerdere ruwheidstrajecten met ieder eigen coëfficiënten (r-code). In Figuur 5.1 is in een langsdoorsnede weergegeven hoe vanaf code 613 (Pannerdensche Kop) de codes toe nemen tot 620 (Hardinxveld). Bij Nijmegen heeft een vaste laag in de rivier een eigen r-code 671. Het aantal ruwheidstrajecten is gebaseerd op de locaties van meetstations in de huidige situatie, terwijl in 1995 slechts vijf meetstations aanwezig waren. De r-codes die worden aangepast per kalibratietraject staan aangegeven in Tabel 5.1.



Figuur 5.1 Verloop in R_code over een langsdoorsnede van de Waal zoals dit ook in de vijfde-generatie modellen gebruikt is

Er zijn twee kalibraties uitgevoerd. Details van de gebruikte data voor beide kalibraties zijn gerapporteerd in Hoofdstuk 0.

- Allereerst een initiële kalibratie voor het niveau Midden. Deze kalibratie is uitgevoerd om het effect van dit niveau op de kalibratie Hoog te beperken.
- Vervolgens is de kalibratie van het niveau Hoog uitgevoerd.

Beide kalibraties zijn in slechts enkele iteraties geconvergeerd naar een gemiddeld verschil van 5 mm tot de metingen. Resultaten van de kalibratie zijn gegeven in Tabel 5.1 met hierbij ook de oorspronkelijke kalibratiewaarden uit WAQUA (Becker, 2012). Aanvullende technische details van de implementatie en figuren van de resultaten zijn te vinden in respectievelijk Bijlage E.1.1 en E.2.

Tabel 5.1 R-codes die worden aangepast voor kalibratie van de genoemde trajecten en de resulterende alpha-waarde na kalibratie

Kalibratietrajecten		PanKop-Nijmegen	Nijmegen-Tiel	Tiel-Zaltbommel	Zaltbommel-Vuren	Vuren-Hardinxveld
R-Code		613 en 614	615 en 616	617 en 618	619	620
WAQUA	Midden	0.0611	0.0845	0.1091	0.1072	0.0659
	Hoog	0.0790	0.0737	0.0892	0.1086	0.1355
D-HYDRO	Midden	0.0713 (+17%)	0.0711 (-16%)	0.0918 (-16%)	0.0851 (-21%)	0.0534 (-19%)
	Hoog	0.0487 (-38%)	0.0298 (-60%)	0.0319 (-64%)	0.0607 (-44%)	0.1087 (-20%)

Uit de resultaten van de kalibratie kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Zowel de kalibratie op Midden als op Hoog zijn succesvol afgerond. Voor ieder station is het een gemiddeld verschil tot de metingen kleiner dan 5 mm.
- De ruwheid van het niveau Midden is voor de meeste trajecten 10 tot 20% afgenomen.
- De ruwheid van het niveau Hoog is voor de meeste trajecten 20 tot 60% afgenomen. Hier uit kan geconcludeerd worden dat gecorrigeerd moet worden voor een hogere ruwheid (en een groter verhang) in de berekening in D-HYDRO ten opzichte van WAQUA. Op basis van het onderzoek in Hoofdstuk 4.4 bestaat het vermoeden dat deze

verschillen veroorzaakt worden door de projectie en formulering van overlaten in het model. Na verder onderzoek naar en mogelijke verbeteringen aan overlaten dient deze conclusie geverifieerd te worden.

- Uitzondering hierop zijn:
 - Het traject Vuren-Hardinxveld, dit wordt mogelijk veroorzaakt door de kleinere afstand tot de benedenstroomse randvoorwaarde.
 - Het traject PanKop-Nijmegen, dit wordt mogelijk veroorzaakt doordat de numerieke weerstand van de stroming in het trapsgewijze rekenrooster is afgenomen nu het rooster in het zomerbed de rivier beter curvilineair volgt.
- Door het ontbreken van functionaliteit in OpenDA, is bij de kalibratie gebruik gemaakt van Python-scripts om afvoerafhankelijke ruwheden mogelijk te maken en zijn daarnaast handmatig de tijden het afvoervenster vastgesteld voor ieder meetstation. Beide opties dienen ontwikkeld te worden binnen OpenDA.

5.3 Overgangstraject in kalibratie zomerbed

5.3.1 Methode

Voor morfologische toepassingen van het model is het belangrijk dat de overgangen tussen ruwheidstrajecten geleidelijk gaan. Om te illustreren hoe de ruwheden nu in het model zitten is in Figuur 5.2 de alpha-waarde in een langsddoorsnede over de rivier-as gegeven. Hieraan zijn ook de ruimtelijke eerste en tweede afgeleide toegevoegd.

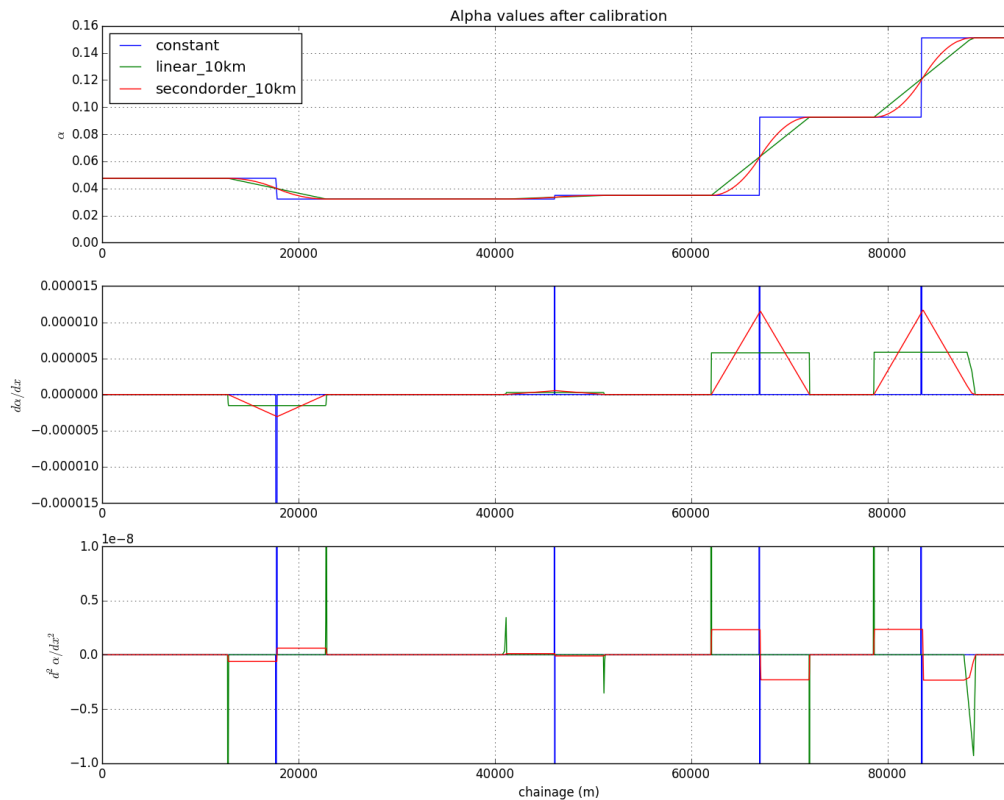
In de huidige aanpak 'constant' zijn er plotselinge veranderingen in de alpha-waarde van de zomerbedruwheid. Dit zorgt voor een asymptoot in de eerste afgeleide en erosie of depositie van sediment.

Er zijn twee varianten op deze aanpak weergegeven in de figuur:

- Een lineaire (eerste orde) transitie tussen ruwheidstrajecten.
- Een tweede orde transitie tussen ruwheidstrajecten

Zoals te zien in de figuur hebben beide transities andere eigenschappen voor de afgeleiden en daarbij andere effecten op de ruwheid. Een plotselinge overgang in de alpha-waarde geeft een asymptoot in de eerste afgeleide en zal zorgen voor een plotselinge verandering in stroomsnelheid en daarbij in de sedimentcapaciteit. Zowel een lineaire als een tweede orde transitie voorkomen dit.

Beide methoden zijn verder onderzocht in Paragraaf **Error! Reference source not found.** Details over de implementatie staan in Bijlage E.1.1.



Figuur 5.2 Alpha-waarde over de rivier-as en de eerste en tweede afgeleide hiervan voor drie varianten van de overgangen. De verticale uitschieters zijn asymptoten. Doordat het hier om een gediscrediteerde presentatie gaat, zijn deze asymptoten soms beperkt in grootte.

5.3.2 Resultaten

Voor verschillende transitie is een nieuwe kalibratie uitgevoerd van het niveau Hoog. De enige aanpassing in deze kalibratie is de samenstelling van het arl-bestand waarin de ruwheidstransities zijn verwerkt. Van zowel de lineaire als de tweede orde transitie zijn drie transitielengtes doorgerekend.

Bij de toegepaste methoden ligt het meetpunt precies halverwege de transitielengte. Er zijn ook alternatieve aanpakken mogelijk, zoals een transitie die bovenstrooms van het meetpunt begint. Hiervan is één test uitgevoerd.

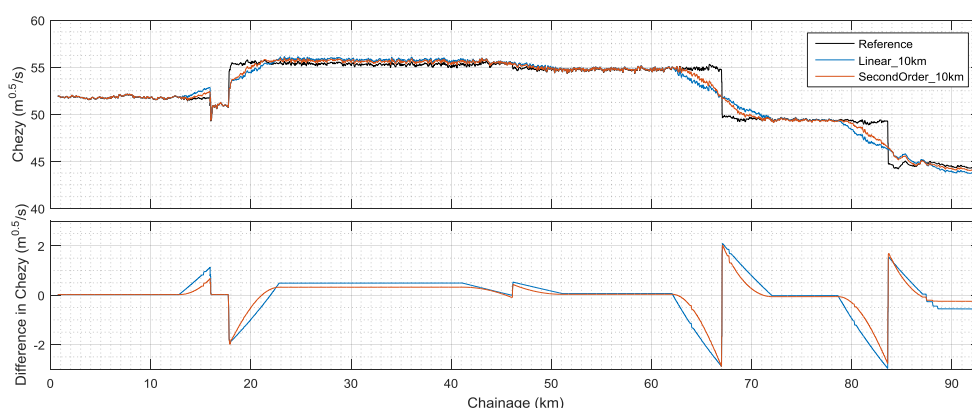
- Lineair 2 km
- Lineair 5 km
- Lineair 10 km
- Tweede orde 2 km
- Tweede orde 5 km
- Tweede orde 10 km
- Tweede orde 10 km, transitie bovenstrooms

Figuren van de verdelingen van de r_code (gelijk aan Figuur 5.1) zijn te vinden in Bijlage E.2. In deze bijlagen staan ook de verschillen in Chézy-waarden en waterstand.

De alpha-waarden na kalibratie zijn samengevat voor alle trajecten in Tabel 5.2. Voor drie transities is in Figuur 5.3 de alpha-waarde in een longitudinale doorsnede over de rivier-as gegeven.

Tabel 5.2 Alpha-waarden van het zomerbed na kalibratie voor verschillende transities in ruwheid

	PanKop-Nijmegen	Nijmegen-Tiel	Tiel-Zaltbommel	Zaltbommel-Vuren	Vuren-Hardinxveld
Constant	0.0487	0.0298	0.0319	0.0607	0.1087
Lineair 2 km	0.0487	0.0296	0.0318	0.0609	0.1099
Lineair 5 km	0.0485	0.0287	0.0316	0.0611	0.1122
Lineair 10 km	0.0485	0.0279	0.0316	0.0609	0.1168
Tweede orde 2 km	0.0486	0.0293	0.0318	0.0608	0.1093
Tweede orde 5 km	0.0488	0.0290	0.0317	0.0610	0.1109
Tweede orde 10 km	0.0485	0.0285	0.0318	0.0612	0.1122
Tweede orde 10 km (transitie bovenstrooms)	0.0525	0.0297	0.0298	0.0483	0.1078



Figuur 5.3 Chézy-waarden over de rivier-as bij gebruik van verschillende transities. De referentie bevat de constante transitie. De verschillen in de onderste plot zijn ten opzichte van deze referentie. Bij 17 km is het effect van de vaste laag bij Nijmegen zichtbaar

Uit de resultaten van de kalibratie kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Alle kalibraties zijn succesvol afgerond. Voor ieder station is het een gemiddeld verschil tot de metingen kleiner dan 5 mm.
- Uit een vergelijking van de alpha-waarden van de diverse kalibraties kan geconstateerd worden dat de toevoeging van een transitielengte slechts een beperkte invloed heeft op deze alpha-waarden.
 - De maximale verandering in alpha is 0.0081 en vindt plaats voor het benedenstroomse gelegen traject Vuren-Hardinxveld dat door de beperkte lengte meer invloed ondervindt van de transitie.
- In alle gevallen gaat de ruwheid geleidelijk over van ruwheidstraject naar ruwheidstraject. Omdat er geen reden is om gebruik te maken van een twee orde transitie wordt voorgesteld om gebruik te maken van een lineair verloop.
- Omdat meetpunten op sommige riviertakken dicht bij elkaar liggen, wordt aanbevolen om een transitielengte van 5 km te gebruiken.
- Aanbevolen wordt om een transitie mee te nemen in de zomerbedruwheden. De aanpassing van de ruwheidsdefinitie, zoals dit nu in een Python-script gebeurt is, dient

op een overzichtelijke manier overgenomen te worden in de officiële programmatuur (D-HYDRO / OpenDA). Hiervoor is nader onderzoek nodig.

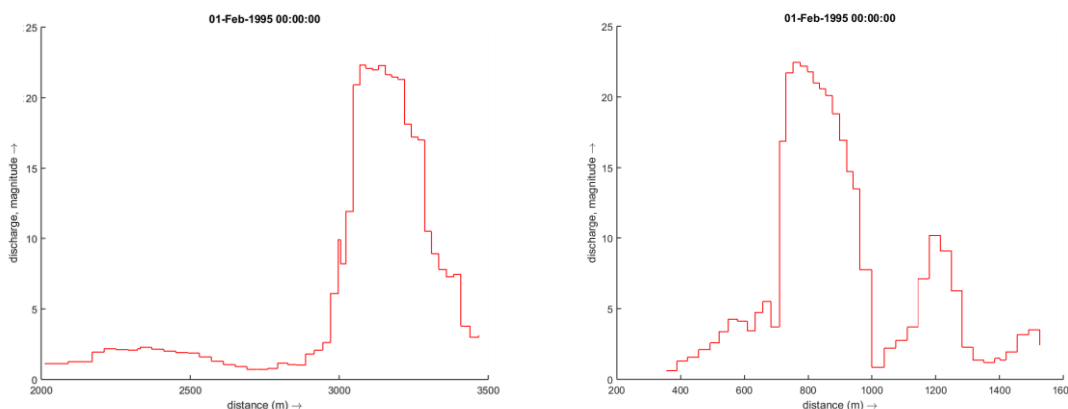
5.4 Kalibratie winterbed bij hoge afvoeren

Om te onderzoeken wat het de mogelijkheden zijn van het meenemen van het winterbed bij een kalibratie voor hoge afvoeren zijn er twee alternatieve kalibraties van het afvoerniveau Hoog uitgevoerd:

- Enkel de ruwheid van het “winterbed” wordt aangepast bij de kalibratie. De ruwheid van het zomerbed wordt constant gehouden op het niveau Midden.
- Er wordt eenzelfde relatieve correctie toegepast op de ruwheden van “zomerbed + winterbed”. Er is geen overgangstraject tussen ruwheidstrajecten in het zomerbed. .

Verdere details van de invoer is gespecificeerd in Bijlage E.1.2.

Om een gevoel te krijgen voor de afvoerverdeling door zomer- en winterbed is in Figuur 5.4 op twee locaties op de Waal een dwarsdoorsnede gegeven van de afvoer per strekkende meter (m²/s). Bij rivierkilometer 906 gaat vrijwel alle afvoer door het zomerbed. Bij rivierkilometer 926 ook een deel van de afvoer door het winterbed.



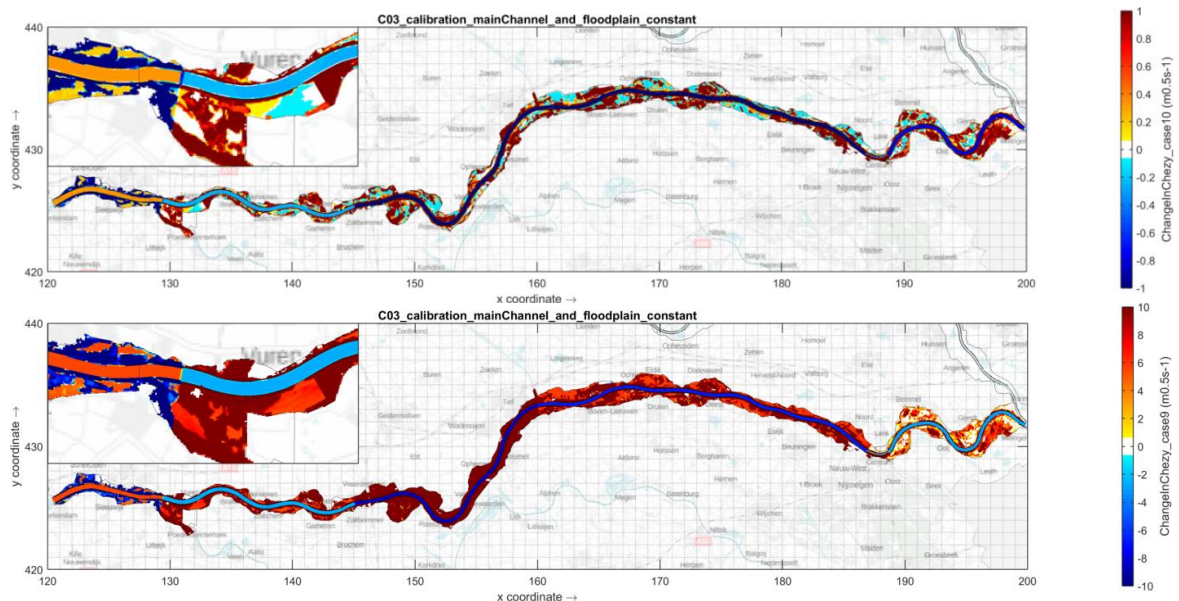
Figuur 5.4 Doorsnede van de afvoer (m²/s) (stroomsnelheid x waterdiepte) op 1 februari 1995 00:00 (rond de piek van het hoogwater), bij rivierkilometer 906 (links) en 926 (rechts). De doorsnede is gemaakt van zuid naar noord.

De resultaten van de verandering in ruwheid zijn weergegeven in Tabel 5.3, Figuur 5.5 en in Bijlage E.3. Omdat ieder traject nu uit een cluster van r-codes en verschillende ruwheidsformuleringen bestaat, zijn de ruwheden hier relatief weergegeven ten opzichte van de ruwheidscoëfficiënten (α) bij het niveau Midden. De wijze waarop de percentages zijn berekend is:

$$\text{Relatieve verandering in ruwheidcoëfficiënten } (\alpha) = \frac{(\alpha_{\text{hoog}} - \alpha_{\text{midden}})}{\alpha_{\text{midden}}}$$

Tabel 5.3 Relatieve verandering in ruwheidscoëfficiënten ten opzichte van initiële waarde na kalibratie. De variant “Zomerbed” is gelijk aan het verschil tussen Midden en Hoog in Tabel 5.1.

	PanKop-Nijmegen	Nijmegen-Tiel	Tiel-Zaltbommel	Zaltbommel-Vuren	Vuren-Hardinxveld
Zomerbed	-31.7%	-58.1%	-65.3%	-28.7%	+103.6%
Zomerbed + Winterbed	-24.6%	-51.7%	-58.9%	-26.4%	+95.0%
Winterbed	-77.6%	-99.6%	-99.9%	-99.5%	+29667.4%



Figuur 5.5 Relatieve verandering van de ruwheid voor Zomerbed+Winterbed (boven) en voor Winterbed (onder). De kleurschaling in beide figuren is verschillend om de kenmerken te verduidelijken

Uit de resultaten van de kalibratie kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- De kalibratie op zomerbed + winterbed is succesvol afgerond. Doordat in deze kalibratie een groter doorstroomoppervlak wordt gekalibreerd zijn de benodigde aanpassingen tot het niveau Midden kleiner dan wanneer enkel het zomerbed wordt gekalibreerd.
- De afvoer door het winterbed van de Waal is beperkt, waardoor de efficiency van een kalibratie op winterbedruwheden beperkt is. In de resultaten is dit duidelijk te zien door de grote correcties die nodig zijn aan de winterbedruwheden om gemeten waterstanden te benaderen.
- De kalibratie op alleen het winterbed is niet volledig succesvol afgerond. Op het traject Nijmegen-Tiel overschrijdt is gemiddeld verschil tot de metingen 6 mm, terwijl dit maximaal 5 mm mag zijn. Daarnaast zijn de benodigde correcties aan het winterbed onrealistisch hoog. In het geval van een afname van de ruwheid reduceert de ruwheid tot bijna 0 (Chézy naar oneindig), en in het geval van een toename van de ruwheid, neemt deze toe tot oneindig (Chézy naar 0). Het effect van een aanpassing in het winterbed is duidelijk te klein om te gebruiken in een kalibratie.
- Voor alle kalibraties van deze paragraaf is te zien dat er grote veranderingen zijn tussen de ruwheid van het niveau Midden (“bank full”) en het niveau Hoog (Piekafvoer 1995) waarin ook het winterbed mee stroomt. Deze verschillen kunnen veroorzaakt worden door de schematisatie van overlaten zoals genoemd in Paragraaf 4.4. Na verder onderzoek naar en mogelijke verbeteringen aan overlaten dienen deze resultaten geverifieerd te worden.
- Aanbevolen wordt om bij afvoerniveaus waar de waterstanden zich boven “bank full” bevinden, zowel het zomerbed en het winterbed te kalibreren. Dit zal ertoe leiden dat de verschillen in kalibratiecoëfficiënten tussen de afvoerniveaus zullen verkleinen.
- Voor de kalibratie van het winterbed wordt per ruwheidsformulering (Manning, White-Colebrook, etc.) een keuze gemaakt voor de coëfficiënt die aangepast wordt door de kalibratie. De invloed van deze correctie is per ruwheidsformulering verschillend, waardoor de toe- of afname van de intern berekende (Chézy-)ruwheid in het winterbed een niet-uniform verandering laat zien ten opzichte van het ongekalibreerde winterbed.

- Aanbevolen wordt om uit te zoeken of het mogelijk is om direct aanpassingen te doen aan de intern berekende Chézy-ruwheid. Door eerst met de trachytopen ruwheidsformuleringen een lokale ruwheid in het zomer- en winterbed te berekenen en hier met een kalibratiecoëfficiënt een correctie op te laten doen. De implementatie van deze kalibratiecoëfficiënt in D-HYDRO is al gestart. Dit nieuwe kalibratieconcept geeft nieuwe mogelijkheden voor de kalibratie die nader onderzocht dienen te worden. Hiervoor zijn de volgende stappen gedefinieerd:
 - Definieer het zomerbed met een realistische ruwheid op basis van een fysisch realistische methode. Dit kan zowel ruimtelijk variërend als een functie van de sedimenteigenschappen zijn.
 - Definieer het winterbed gelijk aan de huidige aanpak van trachytopen.
 - Definieer de initiële kalibratiecoëfficiënten als een ruimte en tijdsafhankelijke variabele. De waarde van de coëfficiënten voor kalibratie is 1.0.
 - Kalibreer zomer- en winterbed gescheiden of gecombineerd voor ieder ruwheidstraject door de kalibratiecoëfficiënten aan te passen.In deze aanpak is het ook mogelijk om de transities tussen de ruwheidstrajecten te beïnvloeden en ook om de winterbedruwheden aan te passen. De in deze pilot uitgevoerde onderzoeken kunnen daar herhaald worden.

6 Conclusies en aanbevelingen

Dit rapport is onderdeel van de overkoepelende rapportage 'Advies voor algemeen functioneel ontwerp voor de zesde-generatie modellen van RWS'. In dit rapport wordt ingegaan op het modelleren van rivieren met de D-HYDRO Suite door een pilot-applicatie voor de Rijntakken uit te voeren. Het doel van deze studie is het opdoen van ervaring met het opzetten van een nieuw D-Flow Flexible Mesh model, het kalibreren van dit model en het functioneren van het model in de nieuwe modelleeromgeving. De resultaten van deze pilot zullen samengevat en toegepast worden in een overkoepelende rapportage, waarvan het doel is om een roadmap te geven voor de bouw van de eerste modellen volgens de methodiek van de zesde generatie modellen.

In het onderzoek dat in dit rapport beschreven wordt is een nieuw model opgezet van de Rijntakken tijdens het hoogwater van 1995. De modelgrenzen van dit model lopen van Emmerich tot aan Hardinxveld (Waal), stuw Driel (Nederrijn) en Doesburg (IJssel). De basis van de meeste modelinvoer is een conversie met BAS2FM van data uit baseline-rijn-j95_5-v1. Er is een simulatieperiode van 18 dagen doorgerekend rondom de piek van het hoogwater van 1995.

Na het uitvoeren van deze referentiesimulatie zijn een reeks onderzoeken opgesteld en zijn de resultaten van de bijbehorende simulaties met de referentiesimulatie vergeleken. Er is onderzoek gedaan naar onder meer de bodemhoogtediscretisatie, gridconvergentie, overlatendiscretisatie en -formulering, rekentijdstapconvergentie, testen van processen en het maken van een deelmodel.

Daarnaast is er onderzoek gedaan naar de kalibratiemethodiek. Allereerst is de wijze van kalibratie uit de vijfde generatie herhaald. Vervolgens zijn testen uitgevoerd met het toepassen van een transitie in zomerbedruwheden ten behoeve van morfologische toepassingen van het model. Ten slotte zijn testen uitgevoerd voor het aanpassen van de ruwheid van het winterbed bij de kalibratie van hoge afvoerniveaus.

De uitgevoerde studies in deze pilot-applicatie geven waardevolle kennis voor het maken van de eerste officiële zesde-generatie Rijkswaterstaat-modellen met de nieuwe D-HYDRO Suite. Er is kennis opgedaan over de werking van de software, er zijn testen uitgevoerd voor een groot aantal parameters en methodieken. Daarnaast is er terugkoppeling geweest naar de ontwikkelaars van D-HYDRO voor verbeteringen, reparaties en noodzakelijke toevoegingen aan de code.

De ervaringen en conclusies uit deze pilot zijn opgenomen in de overkoepelende rapportage 'Advies voor algemeen functioneel ontwerp voor de zesde-generatie modellen van RWS'.

6.1 Conclusies en aanbevelingen modelopzet

6.1.1 Roostergeneratie

Er is een nieuw rooster ontworpen voor het Rijntakken-model ten behoeve van deze pilot (zie Paragraaf 3.1). Op basis van dit onderzoek zijn de volgende conclusies getrokken:

- Het rooster kon optimaal ontworpen worden door vooraf reeds te definiëren wat de gewenste dimensies zijn voor het zomer- en winterbed. Hieruit bleek dat een transitie

van driehoekige roosterzellen tussen zomer- en winterbed niet nodig was. Bij de bouw is daarnaast het aantal driehoekige roosterzellen in het winterbed geminimaliseerd.

- Aangezien het rekenrooster direct effect heeft op de rekentijdstep is het belangrijk om te voorkomen dat lokale kleine cellen de stroomsnelheid beïnvloeden. Uit de analyse van het rooster is gebleken dat enkel cellen in het zomerbed de rekensnelheid beperken en dat een optimalisatie van kleine cellen in het winterbed niet nodig is.

6.1.2 Schematisatie

Met behulp van BAS2FM en enkele handmatig aangemaakte bestanden is een schematisatie gemaakt van de status van de Rijntakken in 1995 (zie Paragraaf 3.2). Op basis van dit onderzoek zijn de volgende conclusies getrokken:

- Aan de automatische projectie van BAS2FM (1.0.0) zijn nog enkele beperkingen. Een voorstel is gedaan om deze programmatuur te verbeteren. Dit bevat onder andere de mogelijkheid om ook de bodemhoogte te kunnen projecteren op cel centers.
- De projectie van overlaten (*fixed weirs*) en hoogwatervrijelijnen (*thin dams*) op het rekenrooster is enkel afhankelijk van het doorkruisen van een flow link. In de onderzoeken is deze nader bediscussieerd (zie Paragraaf 4.4.1).

6.1.3 Mapindeling

Een voorstel is gedaan voor de organisatie van de bestanden van het model in een mappenstructuur (zie Paragraaf 3.3). Op basis van dit onderzoek zijn de volgende conclusies getrokken:

- Door onderscheid te maken tussen geautomatiseerde invoer (Baseline) en handmatige invoer, kan zonder diepgaande mappenstructuur een overzichtelijk project verkregen worden.
- Voor een optimaal bestandsbeheer ontbreken er nog enkele belangrijke functies, zoals het inlezen van meerdere bestanden voor één modelparameter (bijvoorbeeld observatiepunten) en de wijze waarop relatieve padverwijzingen binnen *External Forcing*-bestanden worden behandeld.

6.2 Conclusies en aanbevelingen parameter- en schematisatiekeuzes

6.2.1 Middelingstypen voor bodemhoogte samples

Er is onderzoek gedaan naar de verschillende methoden waarmee hoge resolutie (gridonafhankelijke) bodemhoogte samples gemiddeld konden worden op het rekenrooster. (zie Paragraaf 4.2.1). Op basis van dit onderzoek zijn de volgende conclusies getrokken:

- De methode "Dichtstbijzijnde punt" (Averagingtype=2) geeft een grotere amplitude in bodemhoogte doordat er geen middeling wordt toegepast. Hierdoor zijn de verliezen in advectie groter. Dit resulteert in hogere waterstanden.
- De methode "Diepste punt" (Averagingtype=4) geeft een bodemhoogte die decimeters tot enkele meters lager kan zijn dan de bodemhoogte in de referentie. Met name rondom de oevers zorgt dit voor een vergroting van het doorstroomoppervlak. De waterstanden in het hele model zijn enkele meters lager.
- Aanbevolen wordt om gebruik te maken van de methode "Gemiddelde" (Averagingtype=1). Hierdoor worden grote uitschieters in de bodemhoogte afgevlakt. Deze methode wijkt af van de huidige projectie van Baseline. Deze methode vereist hoge resolutie samples voor een nauwkeurige middeling.

6.2.2 Bedleveltype en Conveyance

De locatie waar de bodemhoogte naar gediscretiseerd wordt op het rooster (Bedleveltype) en de wijze waarop het doorstroomoppervlak op de gridwanden wordt berekend (Conveyance) zijn onderzocht (zie Paragraaf 4.2.1). Op basis van dit onderzoek zijn de volgende conclusies getrokken:

- De bodemhoogte bij discretisatie op hoekpunten (BEDLEVTYPE=3) heeft een hogere bodemhoogte in face center bij CONVEYANCE2D=-1 dan bij CONVEYANCE2D=1. Dit is consistent met de wijze waarop de bodemhoogte in face centers is afgeleid, omdat bij CONVEYANCE2D=-1 het minimum van de hoekpunten wordt gebruikt en bij CONVEYANCE2D=1 het minimum van de edges.
- Bodemhoogte op hoekpunten (BEDLEVTYPE=3) geeft lagere waterstanden op de Waal ten opzichte van de bodemhoogte op grid cellen (BEDLEVTYPE=1). Dit geldt voor alle methoden van Conveyance-berekening.
 - Bij CONVEYANCE2D=-1 daalt de waterstand gemiddeld 4 centimeter op de Waal.
 - De resultaten van CONVEYANCE2D=1 en CONVEYANCE2D=3 verschillen slechts enkele millimeters van elkaar en hebben beiden een verschil met de referentie van 2 centimeter op de Waal.
- Deze verschillen vertonen dezelfde trend als de veranderingen in de bodemhoogte in grid cellen. De verschillen in waterstand kunnen direct veroorzaakt worden door de verschillen in bodemhoogte.
- Aanbevolen wordt om gebruik te maken van een discretisatie van de bodemhoogte op grid cellen vanwege de mogelijkheden die dit biedt voor de toepassing van een gevalideerde implementatie van de morfologie.
- De projectie naar D-HYDRO met BAS2FM biedt geen mogelijkheid om de bodemhoogte te projecteren op face centers. Ook biedt het geen mogelijkheid om de wijze van middeling te bepalen, maar worden de data geprikt uit het bodemhoogtemodel (ongeveer gelijk aan het dichtstbijzijnde punt). Aanbevolen wordt om Baseline uit te breiden met functionaliteit voor de projectie van de bodemhoogte. In plaats van het een keuze voor een van de projectie algoritmes, kan er ook een voor gekozen worden om export te maken van hoge resolutie samples door BAS2FM. De rekentijd van de discretisatie van deze samples in D-HYDRO is beperkt.

6.2.3 Gridconvergentie

Er zijn drie rekenroosters ontworpen met een resolutie die een factor 0.5, 2 en 4 grover is dan het rekenrooster van het referentiemodel in beide richtingen (zie Paragraaf 0). Op basis van dit onderzoek zijn de volgende conclusies getrokken:

- Voor de verschillende roosters dienen de trachytopen opnieuw geprojecteerd te worden, omdat dit als enige model-input niet grid-onafhankelijk is. Bij de projectie van trachytopen op het rooster Finer loopt BAS2FM vast op de grote hoeveelheid grid cellen. Indien roosters met een vergelijkbare hoeveelheid grid cellen vaker geprojecteerd dient te worden, dan dient dit in BAS2FM gerepareerd te worden.
- De studie naar gridconvergentie in D-HYDRO geeft goede resultaten. Er is in het rekenrooster Coarse een groot verlies in de nauwkeurigheid van de projectie van geometrische beschrijving, waardoor de waterstanden voor beide bedleveltypes enkele decimeters toenemen. De verschillen van de roosters Medium en Finer met het referentie rekenrooster Fine zijn slechts enkele centimeters. Voor de aanwezige verschillen kan bij een kalibratie gecorrigeerd worden. Dit kan wel invloed hebben op de mogelijkheid om het model toe te passen buiten de gekalibreerde bereiken.
- Voor de discretisatie van de bodemhoogte op hoekpunten is een goede eenduidige convergentie zichtbaar: de waterstanden in het model nemen af bij rekenroosters met een hogere resolutie. Het is niet mogelijk om op basis van de geteste resoluties te

bepalen naar welke oplossing het model convergeert. Door de beperkingen in de projectie van de trachytopen en in de rekentijd is de generatie van een rooster met een hogere resolutie (10 m) niet eenvoudig uit te voeren.

- Voor de discretisatie van de bodemhoogte op grid cellen is er geen eenduidige convergentie zichtbaar bij de verschillende resoluties van het rekenrooster.
- De wijze van projectie van hoogwatervrije lijnen (thin dams) kan ervoor zorgen dat een kleine hoogwatervrije lijnen toch een gehele celwand (edge) blokkeren. Het wordt aanbevolen om de afhandeling van thin dams door Bas2FM of D-HYDRO aan te passen. Dit staat verder uitgewerkt in Paragraaf 4.4.

6.2.4 Overlaten

Er is onderzoek gedaan naar de projectie van overlaten en de overlaatformulering (zie Paragraaf 4.4). Op basis van dit onderzoek zijn de volgende conclusies getrokken:

- De projectie van de overlaten op het rooster in D-HYDRO verschilt aanzienlijk van de projectie door Baswaq. Deze verschillen hebben mogelijk grote invloed op de schematisatie van de overlaten en de resultaten van het model.
- Het gebruik van de numerieke overlaatformulering (Fixed Weir Type=6) wordt afgeraden omdat deze methode zorgt voor minder nauwkeurige resultaten wanneer er meerdere overlaten aansluiten op één gridcel. Zoals te zien in de figuren van de projectie (Bijlage A.5) is dit voor deze pilot-applicatie vaak het geval.
- Bij toepassing van de Villemonte-overlaatformulering wijken de modelresultaten aanzienlijk af van de Tabellenboek-formulering. Uit eerdere ervaringen was verwacht dat deze resultaten vergelijkbaar zouden zijn.
- Op basis van deze punten wordt aanbevolen:
 - Een controle uit te voeren van de implementatie van de diverse overlaatformuleringen en de invoer die hiervoor noodzakelijk is met betrekking tot onder meer de linker- en rechterhoogte. Pas na deze controle kan een conclusie getrokken worden welke aanpak aanbevolen dient te worden voor Rijkswaterstaat-modellen. De uitvoering van deze controle is inmiddels gestart.
 - Extra onderzoek dient uitgevoerd te worden naar de projectie van overlaten op het rekenrooster. Mogelijk zijn verbeteringen aan de projectie van overlaten in D-HYDRO noodzakelijk. Een plan voor de uitvoering van dit onderzoek is inmiddels opgesteld. De eerste stap in dit onderzoek is het onderzoeken van de projectie in Baswaq.
 - Het is noodzakelijk dat deze beide acties met hoge prioriteit worden behandeld vanwege de grote invloed op modelopzet en kalibratie. Zonder deze conclusies en eventuele verbeteringen kan niet gestart worden met de bouw van de officiële Rijkswaterstaat-modellen.

6.2.5 Rekentijdstap

In D-HYDRO wordt de beperkende rekentijdstap automatisch ingesteld op basis van het Courant criterium. De modelleur heeft enkel de mogelijkheid om instellingen te doen aan de maximale rekentijdstap (DTMAX) en het maximaal toelaatbare Courant criterium (CFLMAX). Aanpassingen aan deze criteria is onderzocht (zie Paragraaf 4.5). Op basis van dit onderzoek zijn de volgende conclusies getrokken:

- Wanneer door de instellingen van de modelleur de automatische rekentijdstap verder wordt verkleind dan in het referentiemodel, zijn de effecten op de resultaten nog zeer beperkt (maximaal 2 mm). De convergentie van de rekentijdstap is hiermee goed.
- De instelling van de parameter DTMAX heeft grote invloed op de rekentijd. Het is daarom belangrijk dat DTMAX groter wordt gekozen dan de rekentijdstap bij toepassing van het

Courant criterium om zo de simulatie niet te beïnvloeden. Er wordt aanbevolen een grote DTMAX te gebruiken.

- Een vermindering van de parameter CFLMAX van 0.7 naar 0.5 zorgt voor een significante toename in de rekentijd (toename naar 134%) terwijl het effect op de waterstanden beperkt is. Een toename van CFLMAX van 0.7 naar 0.9 geeft een beperkte reductie van de rekentijd (afname naar 83%), terwijl het effect op de waterstanden beperkt is. Er wordt aanbevolen gebruik te maken van de defaultwaarde van CFLMAX (0.7).

6.2.6 Viscositeit

Er zijn twee mogelijkheden om de horizontale turbulente viscositeit te definiëren. Deze kan als een constante waarde worden ingegeven of berekend worden met de gridonafhankelijke (ruimtelijk variërende) Smagorinsky-formulering. Varianten van beide methoden zijn onderzocht (zie Paragraaf 4.6). Op basis van dit onderzoek zijn de volgende conclusies getrokken:

- Uit Figuur 4.12 kan geconstateerd worden dat een toename in de viscositeit leidt tot een afname van de stroomsnelheid in het zomerbed en een toename van de stroomsnelheid in het winterbed. Deze resultaten waren reeds verwacht omdat een toename in de viscositeit ervoor zorgt dat de verschillen in stroomsnelheid over een dwarsdoorsnede van de rivier worden verkleind.
- Daarnaast is uit de relatie tussen Figuur 4.12 en Tabel 4.10 te zien dat een toename in de stroomsnelheid in het zomerbed leidt tot een verlaging van de waterstand bij Nijmegen en visa versa.
- Uit Figuur 4.13 kan geconcludeerd worden dat tijdens de piek van het hoogwater de viscositeit van Smagorinsky=0.15 in het winterbed ongeveer $0.15 \text{ m}^2/\text{s}$, en in het zomerbed ongeveer $0.02 \text{ m}^2/\text{s}$ is. Op de overgang van zomerbed naar winterbed is de snelheidsgradiënt het grootst en is ook de berekende viscositeit het grootst ($0.5 \text{ m}^2/\text{s}$). Deze waarden zijn veelal lager dan het bereik voor een constante viscositeit dat doorgaans gebruikt wordt vergelijkbare resolutie van rekenroosters ($0.5 - 1.0 \text{ m}^2/\text{s}$).
- In de bijlage is te vinden dat bij gebruik van Smagorinsky de rekentijd met 6-10% toeneemt.
- Het gebruik van een viscositeits-formulering op basis van de formulering van Smagorinsky geeft de mogelijkheid om een keuze te maken voor een gridonafhankelijke coëfficiënt. Dit in tegenstelling tot een constante waarde welke gevarieerd zou moeten worden voor verschillende resoluties van het rekenrooster. Om deze reden wordt geadviseerd om gebruik te maken van de Smagorinsky-formulering. Er dient echter wel aanvullend onderzoek te gebeuren voor een optimale afregeling van de parameters.

6.2.7 Wall roughness

De wall roughness kan ingesteld worden op volledige slip, gedeelte slip en geen slip. De invloed van deze methoden is onderzocht (zie Paragraaf 4.7). Op basis van dit onderzoek zijn de volgende conclusies getrokken:

- Het effect op de waterstanden bij gedeeltelijke slip ($i_{rov}=1$) is een verwaarloosbare toename tot 0.4 mm. Door de toegevoegde weerstand was een toegenomen waterstand verwacht.
- Het effect op de waterstanden bij geen slip ($i_{rov}=2$) is een kleine verhoging. Dit wordt veroorzaakt door de toegenomen weerstand. De verschillen zijn het grootst bij de piek van de afvoergolf (1 mm). Tijdens de piek van de afvoergolf stroomt het water tot de banddijken, hier is de toename in weerstand het grootst.
- Bij $i_{rov}=2$ is een plotselinge toename in de waterstand zichtbaar op de Nederrijn bij 881_NR. De weerstand bij de banddijken zorgt ervoor dat de stroming zich meer

concentreert in de rivier en in de benedenstrooms aangetakte “Nieuwe Haven”. Bovenstrooms van deze haven neemt de waterstand toe.

- De instelling van deze weerstand heeft vooral effect bij steile hellingen, waar een hoge stroomsnelheid kan voorkomen bij een droge cel in de grid cel ernaast.
- Opvallend bij $i_{rov}=2$ is de toename van de afvoer op de Waal bij de piek van de afvoergolf, terwijl er geen afname in de afvoer op het Pannerdensch Kanaal is. Dit betekent mogelijk dat de afvoer over een afvoerraai niet correct berekend is doordat deze niet over de volledige breedte van het rekenrooster loopt. Deze aanname dient nog geverifieerd te worden met modelresultaten.
- Hoewel het effect klein is, wordt aanbevolen om gebruik te maken van ruwheid op basis van de gedeelte slip ($i_{rov}=1$). Rapporten van eerdere onderzoeken benadrukken de noodzaak van deze instelling voor een juiste berekening van de circulatie in kribvakken bij gebruik van een rekenrooster met een hogere resolutie in deelmodellen (Yossef, 2005 en Platzek & Patzwahl, 2015b). Door gebruik te maken van $i_{rov}=1$ wordt de fysica beter gerepresenteerd en kan de instelling gelijk blijven voor verschillende resoluties. De coëfficiënt $wall_ks=0.3$ kan gebruikt worden als initiële waarde, maar dient in verder onderzoek als kalibratiecoëfficiënt aangepast te worden.

6.2.8 Spiraalstroming

Er is getracht een berekening uit te voeren met Spiraalstroming (zie Paragraaf 4.8). Op basis van dit onderzoek zijn de volgende conclusies getrokken:

- Een berekening met spiraalstroming kan succesvol worden uitgevoerd, maar wanneer de spiraalstroming wordt meegenomen in de berekening van het momentum ($BetaSpiral>0$), dan zorgt dit voor instabiliteiten in het model. Binnen enkele rekentijdstappen is door de hoge stroomsnelheid in enkele ondiepe plassen, de rekentijdstep geconvergeerd naar 0 s.
- In eerdere studies met een eenvoudigere geometrie is het wel mogelijk geweest om met spiraalstroming te rekenen. Uitgezocht dient te worden waarom deze functionaliteit in deze pilot-applicatie van de Rijntakken niet werkt.

6.2.9 Testen van processen

Diverse extra processen die doorgaans niet gebruikt worden bij modellering van de Rijntakken, zijn als test toegevoegd aan de berekening. Uitgezocht is hoe de werking hiervan gaat en of het mogelijk is het proces ruimtelijk variërend toe te voegen aan de simulatie, waardoor het lokale effect verwaarloosd kan worden (zie Paragraaf 4.9). Op basis van dit onderzoek zijn de volgende conclusies getrokken:

- De werking van een aantal processen is succesvol getest: Restart-bestanden, Zout, Temperatuur, Regen, Wind en Sediment. Met alle processen kan gerekend worden.
- Daarnaast is het mogelijk om de invloed van ieder proces ruimtelijk te variëren en zo het proces slechts actief te laten zijn in een deel van het model, zonder dat dit resulteert in veranderingen in modelresultaten waar het proces niet actief is.
- In veel gevallen zal het toevoegen van een proces wel resulteren in een toename van de rekentijd. Dit wordt veelal niet veroorzaakt door een afname van de gemiddelde rekentijdstep, maar door de extra modules die uitgerekend worden voor het proces. Daarnaast is bij sommige processen ook een groter deel het rooster actief doordat deze cellen nu als nat worden meegenomen. De toename in rekentijd is vergelijkbaar met WAQUA.

6.2.10 Opbouw deelmodel

Voor de kalibratie wordt het model afgeknipt tot enkel de Waal. Er zijn enkele methoden onderzocht waarmee om dit deelmodel gegenereerd kan worden (zie Paragraaf 4.10). Op basis van dit onderzoek zijn de volgende conclusies getrokken:

- Er is geen verschil in de gesimuleerde waterstand tussen het verkleinen van het model met behulp van de rekenroosterbegrenzing of door het rekenrooster zelf af te verkleinen. De beide simulaties verschillen echter wel van het referentiemodel doordat in de deelmodellen een nieuwe bovenstroomse randvoorwaarde is opgelegd bij de Pannerdensche Kop.
- Er is een significant effect op de rekestijdstap en de totale rekestijd tussen beide methoden, in het voordeel van het bijsneden van het rooster. Zowel de toename in de rekestijdstap als de afname in de rekestijd worden waarschijnlijk veroorzaakt door de partitionering. Bij de toegepaste automatische partitionering wordt niet meegenomen welke cellen buiten de rekenroosterbegrenzing vallen, waardoor de partitionering niet aangepast is ten opzichte van het volledige rooster. Hierdoor functioneren niet alle partities efficiënt. Dientengevolge wordt aanbevolen om bij de bouw van een deelmodel het rekenrooster te verkleinen.
- Hierdoor is de rekestijd van het verkleind rooster efficiënter door de betere partitionering kan worden toegepast. In de toekomst kan het mogelijk gemaakt worden de rekenroosterbegrenzing mee te nemen bij de partitionering.
- Aanbevolen wordt om bij het uitvoeren van een aanpassing te doen aan het rekenhart, zodat bij het uitvoeren van partitionering de rekenroosterbegrenzing meegenomen wordt. Als deze functionaliteit ontwikkelt is, wordt aanbevolen gebruik te maken van het verkleinen van de rekenroosterbegrenzing zodat er geen aanpassingen aan het rooster hoeven te gebeuren.

6.2.11 Partitionering en rekenwijze

In het onderzoek naar de verschillende manieren waarop een berekening uitgevoerd kan worden door te variëren in (wijze van) partitioneren en in besturingssysteem (zie Paragraaf 0). Op basis van dit onderzoek zijn de volgende conclusies getrokken:

- Geen van de uitgevoerde simulaties heeft waarneembare veranderingen in de waterstand. De wijze van rekenen heeft dus geen gevolg voor de resultaten van de simulatie.
- Een sequentiële simulatie op Windows is langzamer dan deze zelfde simulatie op Linux. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de specificaties van de gebruikte machines.
- Een sequentiële simulatie is beduidend langzamer dan een parallelle simulatie op één machine. Aanbevolen wordt om voor een optimale rekestijd altijd gepartitioneerd te rekenen.
- Voor het rekencluster van Deltares geldt dat het optimaal is de simulaties op te splitsen in vier partities per node. Dit is gelijk aan het aantal cores per node.
- Wanneer meerdere nodes gebruikt worden voor de uitvoering van een berekening, dan is de afname in efficiency per node slechts beperkt. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de opschaling goed is.
- De schaal van deze testen is beperkt gebleven tot zestien partities over vier nodes. Op grotere (externe) rekenclusters kan de simulaties ook in meer partities opgedeeld worden. Het wordt aanbevolen dit nader te onderzoeken.

6.3 Conclusies en aanbevelingen kalibratie onderzoeken

Bij de kalibratie van de vijfde-generatie modellen is gebruik gemaakt van correcties van de ruwheid in het zomerbed als enige kalibratieparameter. De kalibratie streeft ernaar de waterstanden op enkele meetstations zo goed mogelijk te herproduceren in het model.

Tussen de meetstations zijn kalibratietrajecten gedefinieerd waarin met een constante correctie is toegepast. Dit kan ertoe leiden dat op de overgang van de kalibratietrajecten (op het meetstation) grote sprongen zijn in de zomerbedruwheid. Enerzijds zijn dergelijke sprongen in de ruwheid niet realistisch, anderzijds zorgt dit voor problemen wanneer het model gebruikt wordt voor morfologische studies. De scherpe overgang zal resulteren in een grote gradiënt in de sedimenttransportcapaciteit en leiden tot problemen van sedimentatie of erosie ter hoogte van de overgang. Derhalve zijn enkele alternatieve kalibratiemethoden onderzocht.

6.3.1 Kalibratie met aanpak vijfde-generatie modellen

Allereerst is een kalibratie uitgevoerd volgens dezelfde methodiek zoals dit gebruikelijk is in de vijfde-generatie modellen (zie Paragraaf 5.2). Op basis van deze kalibratie zijn de volgende conclusies getrokken:

- Zowel de kalibratie op Midden als op Hoog zijn succesvol afgerond. Voor ieder station is het een gemiddeld verschil tot de metingen kleiner dan 5 mm.
- De ruwheid van het niveau Midden is voor de meeste trajecten 10 tot 20% afgenomen.
- De ruwheid van het niveau Hoog is voor de meeste trajecten 20 tot 60% afgenomen. Hier uit kan geconcludeerd worden dat gecorrigeerd moet worden voor een hogere ruwheid (en een groter verhang) in de berekening in D-HYDRO ten opzichte van WAQUA. Op basis van het onderzoek in Hoofdstuk 4.4 bestaat het vermoeden dat deze verschillen veroorzaakt worden door de projectie en formulering van overlaten in het model. Na verder onderzoek naar en mogelijke verbeteringen aan overlaten dient deze conclusie geverifieerd te worden.
- Uitzondering hierop zijn:
 - Het traject Vuren-Hardinxveld, dit wordt mogelijk veroorzaakt door de kleinere afstand tot de benedenstroomse randvoorwaarde.
 - Het traject PanKop-Nijmegen, dit wordt mogelijk veroorzaakt doordat de numerieke weerstand van de stroming in het trapsgewijze rekenrooster is afgenomen nu het rooster in het zomerbed de rivier beter curvilineair volgt.
- Door het ontbreken van functionaliteit in OpenDA, is bij de kalibratie gebruik gemaakt van Python-scripts om afvoerafhankelijke ruwheden mogelijk te maken en zijn daarnaast handmatig de tijden het afvoervenster vastgesteld voor ieder meetstation. Beide opties dienen ontwikkeld te worden binnen OpenDA.

6.3.2 Overgangstraject in kalibratie zomerbed

Omdat een plotselinge overgang in ruwheid in het zomerbed niet realistisch is en een negatief effect heeft op morfologische berekening, zijn enkele alternatieve kalibraties uitgevoerd waarbij gebruik gemaakt is van een geleidelijke overgang tussen ruwheidstrajecten (zie Paragraaf 5.3). Op basis van deze kalibraties zijn de volgende conclusies getrokken:

- Alle kalibraties zijn succesvol afgerond. Voor ieder station is het een gemiddeld verschil tot de metingen kleiner dan 5 mm.
- Uit een vergelijking van de alpha-waarden van de diverse kalibraties kan geconstateerd worden dat de toevoeging van een transitielengte slechts een beperkte invloed heeft op deze alpha-waarden.
 - De maximale verandering in alpha is 0.0081 en vindt plaats voor het benedenstroomse gelegen traject Vuren-Hardinxveld dat door de beperkte lengte meer invloed ondervindt van de transitie.
- In alle gevallen gaat de ruwheid geleidelijk over van ruwheidstraject naar ruwheidstraject. Omdat er geen reden is om gebruik te maken van een twee orde transitie wordt voorgesteld om gebruik te maken van een lineair verloop.

- Omdat meetpunten op sommige riviertakken dicht bij elkaar liggen, wordt aanbevolen om een transitielengte van 5 km te gebruiken.
- Aanbevolen wordt om een transitie mee te nemen in de zomerbedruwheden. De aanpassing van de ruwheidsdefinitie, zoals dit nu in een Python-script gebeurd is, dient op een overzichtelijke manier overgenomen te worden in de officiële programmatuur (D-HYDRO / OpenDA). Hiervoor is nader onderzoek nodig.

6.3.3 Kalibratie winterbed bij hoge afvoeren

Bij hoge afvoeren stroomt een deel van de afvoer door het winterbed, maar wordt enkel gekalibreerd op zomerbed. Er zijn kalibraties onderzocht waarbij zowel zomer- als winterbed en waar enkel het winterbed zijn gebruikt voor de kalibratie van hoge afvoeren (zie Paragraaf 5.4). Op basis van deze kalibraties zijn de volgende conclusies getrokken:

- De kalibratie op zomerbed + winterbed is succesvol afgerond. Doordat in deze kalibratie een groter doorstroomoppervlak wordt gekalibreerd zijn de benodigde aanpassingen tot het niveau Midden kleiner dan wanneer enkel het zomerbed wordt gekalibreerd.
- De afvoer door het winterbed van de Waal is beperkt, waardoor de efficiency van een kalibratie op winterbedruwheden beperkt is. In de resultaten is dit duidelijk te zien door de grote correcties die nodig zijn aan de winterbedruwheden om gemeten waterstanden te benaderen.
- De kalibratie op alleen het winterbed is niet volledig succesvol afgerond. Op het traject Nijmegen-Tiel overschrijdt is gemiddeld verschil tot de metingen 6 mm, terwijl dit maximaal 5 mm mag zijn. Daarnaast zijn de benodigde correcties aan het winterbed onrealistisch hoog. In het geval van een afname van de ruwheid reduceert de ruwheid tot bijna 0 (Chézy naar oneindig), en in het geval van een toename van de ruwheid, neemt deze toe tot oneindig (Chézy naar 0). Het effect van een aanpassing in het winterbed is duidelijk te klein om te gebruiken in een kalibratie.
- Voor alle kalibraties van deze paragraaf is te zien dat er grote veranderingen zijn tussen de ruwheid van het niveau Midden (“bank full”) en het niveau Hoog (Piekafvoer 1995) waarin ook het winterbed mee stroomt. Deze verschillen kunnen veroorzaakt worden door de schematisatie van overlaten zoals genoemd in Paragraaf 4.4. Na verder onderzoek naar en mogelijke verbeteringen aan overlaten dienen deze resultaten geverifieerd te worden.
- Aanbevolen wordt om bij afvoerniveaus waar de waterstanden zich boven “bank full” bevinden, zowel het zomerbed en het winterbed te kalibreren. Dit zal ertoe leiden dat de verschillen in kalibratiecoëfficiënten tussen de afvoerniveaus zullen verkleinen.
- Voor de kalibratie van het winterbed wordt per ruwheidsformulering (Manning, White-Colebrook, etc.) een keuze gemaakt voor de coëfficiënt die aangepast wordt door de kalibratie. De invloed van deze correctie is per ruwheidsformulering verschillend, waardoor de toe- of afname van de intern berekende (Chézy-)ruwheid in het winterbed een niet-uniform verandering laat zien ten opzichte van het ongekalibreerde winterbed.
- Aanbevolen wordt om uit te zoeken of het mogelijk is om direct aanpassingen te doen aan de intern berekende Chézy-ruwheid. Door eerst met de trachytopen ruwheidsformuleringen een lokale ruwheid in het zomer- en winterbed te berekenen en hier met een kalibratiecoëfficiënt een correctie op te laten doen. De implementatie van deze kalibratiecoëfficiënt in D-HYDRO is al gestart. Dit nieuwe kalibratieconcept geeft nieuwe mogelijkheden voor de kalibratie die nader onderzocht dienen te worden. Hiervoor zijn de volgende stappen gedefinieerd:
 - Definieer het zomerbed met een realistische ruwheid op basis van een fysisch realistische methode. Dit kan zowel ruimtelijk variërend als een functie van de sedimenteigenschappen zijn.
 - Definieer het winterbed gelijk aan de huidige aanpak van trachytopen.

- Definieer de initiële kalibratiecoëfficiënten als een ruimte en tijdsafhankelijke variabele. De waarde van de coëfficiënten voor kalibratie is 1.0.
- Kalibreer zomer- en winterbed gescheiden of gecombineerd voor ieder ruwheidstraject door de kalibratiecoëfficiënten aan te passen.

In deze aanpak is het ook mogelijk om de transities tussen de ruwheidstrajecten te beïnvloeden en ook om de winterbedruwheden aan te passen. De in deze pilot uitgevoerde onderzoeken kunnen daar herhaald worden.

7 Referenties

- Becker, A. (2012). *Rijn-modellen 5^{de} generatie – Modelopzet, kalibratie en verificatie WAQUA*. Deltares rapport 1205994-002-ZWS-0007
- De Goede, E., Spruyt, A.S., Zijl, F. (2015). *Acceptatietesten D-Flow Flexible Mesh – Onderdeel van D-HYDRO Suite 2016*. Deltares rapport 120517-000-DSC-0144
- Minns, T. (2016). *Advies voor algemeen functioneel ontwerp voor de zesde-generatie modellen van RWS*. Deltares rapport 1230071-011-ZWS-0009
- Platzek, F., Patzwahl, R. (2015a). Advection and grid effects in river computations: selling some error. Presentatie 12th UnTRIM User Workshop, 19 mei 2015
- Platzek, F., Patzwahl, R. (2015b). Mesoscale horizontal flow-field modelling at channel-river junction. Presentatie Delft Software Days 2015, Delft, 3 november 2015
- Rijkswaterstaat (2005). *Baseline Technische Documentatie: Baswaq 1.41. Bijlage B Achtergronden bij de conversie van Baseline naar WAQUA*. RIZA-Werkdocument 2005.112X
- Yossef, M. F. M. (2005). *Morphodynamics of rivers with groynes*. (Ook verschenen als proefschrift Technische Universiteit Delft, 2005 PhD), DUP Science, Delft.

A Referentie-simulatie

A.1 MDU-file

Hieronder staat de inhoud van het "Model Definition Unstructured"-bestand. In de opzet van deze template is getracht alle mogelijke instellingen in dit bestand te verwerken en hier ook het volledige commentaar bij te voegen. Niet alle numerieke instellingen, bestandsverwijzingen en parameters zijn gebruikt voor de opzet of onderzoeken in deze pilot-applicatie.

```
# Generated on 12/12/2016 09:30:00
# Deltares, FM-Suite DFlowFM Model Version 1.2.0.36055, DFlow FM Version 1.1.191.47852

[model]
Program                = D-Flow FM
Version                = 1.1.198.48733
MDUFormatVersion      = 1.05 # File format version (do not edit this)
GuiVersion            = 1.2.0.36055
AutoStart              = 0 # Autostart simulation after loading MDU (0: no,
                          # 1: autostart, 2: autostartstop)

[geometry]
NetFile                = baseline/pilot_2016_Rijn_v01_net.nc # Unstructured grid file *_net.nc
BedlevelFile          = # Bedlevels points file e.g. *.xyz, only needed
                          # for bedlevtype not equal 3
DryPointsFile         = baseline/j95_5-v1_dry_areas.pol # Dry points file *.xyz (third column dummy z
                          # values), or dry areas polygon file *.pol (third
                          # column 1/-1: inside/outside)
WaterLevIniFile       = # Initial water levels sample file *.xyz
LandBoundaryFile      = baseline/j95_5-v1_landboundaries.ldb # Land boundaries file *.ldb, used for
                          # visualization
ThinDamFile           = baseline/j95_5-v1_thin_dams.pli # Polyline file *_thd.pli, containing thin dams
FixedWeirFile         = baseline/j95_5-v1_fixed_weirs.pliz # Polyline file *_fxw.pliz, containing fixed
                          # weirs with rows x, y, crest level, left ground
                          # level, right ground level
StructureFile         = # File *.ini containing list of structures
                          # (pumps, weirs, gates and general structures)
VertplizFile          = # Vertical layering file *_vlay.pliz with rows x,
                          # y, Z, first Z, nr of layers, second Z, layer
                          # type
ProflocFile           = # Channel profile location file
                          # *_proflocation.xyz with rows x, y, z, profile
                          # number ref
ProfdefFile           = # Channel profile definition file
                          # *_profdefinition.def with definition for all
                          # profile numbers
ProfdefxyzFile        = # Channel profile definition file
                          # *_profdefinition.def with definition for all
                          # profile numbers
Uniformwidth1D        = 2 # Uniform width for channel profiles not
                          # specified by profloc
ManholeFile           = # File *.ini containing manholes
ShipdefFile           = # File *.shd containing ship definitions
WaterLevIni           = -999 # Initial water level at missing s0 values
Bedlevuni             = 999 # Uniform bed level used at missing z values if
                          # BedlevType > 2
Bedslope              = 0 # Bed slope inclination if BedlevType > 2
BedlevType            = 1 # Bathymetry specification
                          # 1: at cell centers (from BathymetryFile)
                          # 2: at faces (from BathymetryFile)
                          # 3: at nodes, face levels mean of node values
                          # 4: at nodes, face levels min. of node values
                          # 5: at nodes, face levels max. of node values
                          # 6: at nodes, face levels max. of cell-center
                          # values
Blmeanbelow           = -999 # If not -999d0, below this level the cell center
                          # bed level is the mean of surrounding net nodes
Blminabove            = -999 # If not -999d0, above this level the cell center
                          # bed level is the min. of surrounding net nodes
PartitionFile         = # Domain partition polygon file *_part.pol for
                          # parallel run
AngLat                = 0 # Angle of latitude S-N (deg), 0: no Coriolis
AngLon                = 0 # Angle of longitude E-W (deg), 0: Greenwich,
                          # used in solar heat flux computation.
Conveyance2D          = -1 # -1: R=HU,0: R=H, 1: R=A/P, 2: K=analytic-1D
                          # conv, 3: K=analytic-2D conv
Nonlin2D              = 0 # Non-linear 2D volumes, only used if
                          # ibedlevtype=3 and Conveyance2D=1
Sillheightmin         = 0 # Weir treatment only if both sills larger than
                          # this value (m)
Makeorthocenters     = 0 # Switch from circumcentres to orthocentres in
                          # geominit (i>=1: number of iterations, 0: do not
                          # use)
```

Dcenterinside	= 1	# Limit cell center (1.0: in cell, 0.0: on c/g)
Bamin	= 1E-06	# Minimum grid cell area, in combination with cut cells
OpenBoundaryTolerance	= 3	# Search tolerance factor between boundary polyline and grid cells, in cell size units
RenumberFlowNodes	= 1	# Renumber the flow nodes (1: yes, 0: no)
Kmx	= 0	# Maximum number of vertical layers
Layertype	= 1	# Vertical layer type (1: all sigma, 2: all z, 3: use VertplizFile)
Numtopsig	= 0	# Number of sigma layers in top of z-layer model
SigmaGrowthFactor	= 1	# Layer thickness growth factor from bed up
StretchType	= 0	# Type of layer stretching, 0 = uniform, 1 = user defined, 2 = fixed level double exponential
[numerics]		
CFLMax	= 0.7	# Maximum Courant number
Lincontin	= 0	# Default 0; Set to 1 for linearizing d(Hu)/dx; link to AdvecType
AdvecType	= 33	# Advection type (0: none, 1: Wenneker, 2: Wenneker q(ui-o-u), 3: Perot q(ui-o-u), 4: Perot q(ui-u), 5: Perot q(ui-u) without itself)
TimeStepType	= 2	# Time step handling (0: only transport, 1: transport + velocity update, 2: full implicit step-reduce, 3: step-Jacobi, 4: explicit)
Icoriolistype	= 5	
Limtypphu	= 0	# Limiter type for waterdepth in continuity eqn. (0: none, 1: minmod, 2: van Leer, 3: Kooren, 4: monotone central)
Limtypmom	= 4	# Limiter type for cell center advection velocity (0: none, 1: minmod, 2: van Leer, 3: Kooren, 4: monotone central)
Limtypsa	= 4	# Limiter type for salinity transport (0: none, 1: minmod, 2: van Leer, 3: Kooren, 4: monotone central)
TransportMethod	= 1	# Transport method (0: Herman's method, 1: transport module)
TransportTimestepping	= 0	# Timestepping method in Transport module, 0 = global (default), 1 = local
Vertadvtypsal	= 5	# Vertical advection type for salinity (0: none, 1: upwind explicit, 2: central explicit, 3: upwind implicit, 4: central implicit, 5: central implicit but upwind for neg. stratif., 6: higher order explicit, no Forester)
Vertadvtypstem	= 6	# Vertical advection type for temperature (0: none, 1: upwind explicit, 2: central explicit, 3: upwind implicit, 4: central implicit, 5: central implicit but upwind for neg. stratif., 6: higher order explicit, no Forester)
Cffacver	= 0.	# Factor for including (1-CFL) in HQ term vertical (0d0: no, 1d0: yes)
Jarhoxu	= 0	# Include density gradient in advection term (0: no, 1: yes, 2: Also in barotrop and baroclin pressure term)
Horadvtypzlayer	= 0	# Horizontal advection treatment of z-layers (1: default, 2: sigma-like)
Zlayeratubypbob	= 0	# Lowest connected cells governed by bob instead of by bL L/R
Icgsolver	= 4	# Solver type (1: sobekGS_OMP, 2: sobekGS_OMPthreadsafe, 3: sobekGS, 4: sobekGS + Saadilud, 5: parallel/global Saad, 6: parallel/Petsc, 7: parallel/GS)
Maxdegree	= 6	# Maximum degree in Gauss elimination
FixedWeirScheme	= 8	# Fixed weir scheme (0: none, 1: compact stencil, 2: whole tile lifted, full subgrid weir + factor)
FixedWeirContraction	= 1	# Fixed weir flow width contraction factor
FixedWeirfrictscheme	= 1	# Fixed weir friction scheme (0: friction based on hu, 1: friction based on subgrid weir friction scheme)
Fixedweirtopwidth	= 3	# Uniform width of the groyne part of fixed weirs
Fixedweirtopfrictcoef	= -999	# Uniform friction coefficient of the groyne part of fixed weirs
Fixedweirtalud	= 0.25	# Uniform talud slope of fixed weirs
Izbnupos	= 0	# Position of z boundary (0: D3Dflow, 1: on net boundary, 2: on specifiend polyline)
Tlfsmo	= 0	# Fourier smoothing time (s) on water level boundaries
Logprofatubndin	= 1	# ubnds inflow: 0=uniform U1, 1 = log U1, 2 = log U1 +(k-eps), 3=uniformk
Slopedrop2D	= 0	# Apply drop losses only if local bed slope > Slopedrop2D, (<=0: no drop losses)
Drop3D	= -999.	# Apply droplosses in 3D if z upwind below bob + 2/3 hu*drop3D
Chkadvd	= 0.1	# Check advection terms if depth < chkadvd, => less setbacks
Trsh_u1lb	= 0.	# 2D bedfriction in 3D below this threshold (m)
Zwsbtol	= 0.	# tolerance for zws(kb-1) at bed
Keepzlayeringatbed	= 1	# bedlayerthickness = zlayerthickness at bed 0 or 1
Teta0	= 0.55	# Theta of time integration (0.5 < theta < 1)
Qhrelax	= 0.01	# Relaxation on Q-h open boundaries
Jbasqbnndownwindhs	= 0	# Water depth scheme at discharge boundaries (0: original hu, 1: downwind hs)

cstbnd	= 0	# Delft-3D type velocity treatment near boundaries for small coastal models (1: yes, 0: no)
Maxitverticalforestersal	= 100	# Forester iterations for salinity (0: no vertical filter for salinity, > 0: max nr of iterations)
Maxitverticalforestertem	= 0	# Forester iterations for temperature (0: no vertical filter for temperature, > 0: max nr of iterations)
Jaorgsethu	= 1	# Velocity reconstruction scheme (0 : setumod, sethu, setau sequence, 1 : sethu, setau, setumod sequence (standard))
Turbulencemodel	= 3	# Turbulence model (0: none, 1: constant, 2: algebraic, 3: k-epsilon, 4: k-tau)
Turbulenceadvection	= 3	# Turbulence advection (0: none, 3: horizontally explicit and vertically implicit)
Eddyviscositybedfacmax	= 0.	# Limit Eddyviscosity at bed)
AntiCreep	= 0	# Include anti-creep calculation (0: no, 1: yes)
Maxwaterleveldiff	= 0	# upper bound (in m) on water level changes (<= 0: no bounds). Run will abort when violated.
Maxvelocitydiff	= 0	# upper bound (in m/s) on velocity changes (<= 0: no bounds). Run will abort when violated.
MinTimestepBreak	= 0.	# smallest allowed timestep (in s), checked on a sliding average of several timesteps. Run will abort when violated.
Epslu	= 0.0001	# Threshold water depth for wet and dry cells
SobekDFM_umin	= 0	# Minimal velocity threshold for weir losses in Sobek-DFM coupling.
SobekDFM_umin_method	= 0	# Method for minimal velocity threshold for weir losses in Sobek-DFM coupling.
Vertadvtypmom	= 3	# vertical advection for u1: 0: No, 3: Upwind implicit, 4: Central implicit, 5: QUICK implicit.
jaupwindsrc	= 1	# 1st-order upwind advection at sources/sinks (1) or higher-order (0)
[physics]		
UnifFrictCoef	= 0.023	# Uniform friction coefficient (0: no friction)
UnifFrictType	= 1	# Uniform friction type (0: Chezy, 1: Manning, 2: White-Colebrook, 3: idem, WAQUA style)
UnifFrictCoef1D	= 0.023	# Uniform friction coefficient in 1D links (0: no friction)
UnifFrictCoefLin	= 0	# Uniform linear friction coefficient for ocean models (m/s) (0: no friction)
Umodlin	= 0	# Linear friction umod, for ifrctyp=4,5,6
Vicouv	= 1	# Uniform horizontal eddy viscosity (m2/s)
Dicouv	= 1	# Uniform horizontal eddy diffusivity (m2/s)
Vicowv	= 5E-05	# Uniform vertical eddy viscosity (m2/s)
Dicowv	= 5E-05	# Uniform vertical eddy diffusivity (m2/s)
Vicwminb	= 0	# Minimum visc in prod and buoyancy term (m2/s)
Xlozmidov	= 0.	# Ozmidov length scale (m), default=0.0, no contribution of internal waves to vertical diffusion
Smagorinsky	= 0	# Smagorinsky factor in horizontal turbulence, e.g. 0.15
Elder	= 0	# Elder factor in horizontal turbulence
Irov	= 0	# 0=free slip, 1 = partial slip using wall_ks
wall_ks	= 0	# Wall roughness type (0: free slip, 1: partial slip using wall_ks)
Rhomean	= 1000	# Average water density (kg/m3)
Idensform	= 1	# Density calculation (0: uniform, 1: Eckard, 2: Unesco, 3: baroclinic case)
Ag	= 9.81	# Gravitational acceleration
TidalForcing	= 0	# Tidal forcing, if jsferic=1 (0: no, 1: yes)
SelfAttractionLoading	= 0	# Self attraction and loading (0=no, 1=yes, 2=only self attraction)
Doodsonstart	= 55.565	# TRIWAQ: 55.565, D3D: 57.555
Doodsonstop	= 375.575	# TRIWAQ: 375.575, D3D: 275.555
Doodsoneps	= 0	# TRIWAQ = 0.0 400 cm/s , D3D = 0.03 60 cm/s
Villemonde CD 1	= 1.	# Calibration coefficient for Villemonde. Default = 1.0. NB. For Bloemberg data set 0.8 is recommended.
Villemonde CD 2	= 10.	# Calibration coefficient for Villemonde. Default = 10.0. NB. For Bloemberg data set 0.8 is recommended.
Salinity	= 0	# Include salinity, (0=no, 1=yes)
InitialSalinity	= 0	# Uniform initial salinity concentration (ppt)
Sal0abovezlev	= -999	# Vertical level (m) above which salinity is set 0
DeltaSalinity	= -999	# for testcases
Backgroundsalinity	= 30	# Background salinity for eqn. of state (ppt)
Jadelvappos	= 1	# Only positive forced evaporation fluxes
Temperature	= 0	# Include temperature (0: no, 1: only transport, 3: excess model of D3D, 5: composite (ocean) model)
InitialTemperature	= 6	# Uniform initial water temperature (degC)
Secchidepth	= 1	# Water clarity parameter (m)
Stanton	= -1	# Coefficient for convective heat flux, if negative, Ccon = abs(Stanton)*Cdwind
Dalton	= -1	# Coefficient for evaporative heat flux, if negative, Ceva = abs(Dalton)*Cdwind
Backgroundwatertemperature	= 6	# Background water temperature for eqn. of state (deg C)
Tempmax	= -999.	# Limit the temperature

Tempmin	= 0.	# Limit the temperature
SecondaryFlow	= 0	# Secondary flow (0: no, 1: yes)
EffectSpiral	= 0	# Weight factor of the spiral flow intensity on transport angle
BetaSpiral	= 0	# Weight factor of the spiral flow intensity on flow dispersion stresses
[sediment]		
Sedimentmodelnr	= 0	# Sediment model nr, (0=no, 1=Krone, 2=SvR2007)
SedFile	=	# Sediment characteristics file (*.sed)
MorFile	=	# Morphology settings file (*.mor)
Nr_of_sedfractions	= 0	# Nr of sediment fractions, (specify the next parameters for each fraction)
MxgrKrone	= 0	# Highest fraction index treated by Krone
[grw]		
Conductivity	= 0.	# non dimensionless K conductivity saturated (m/s), $Q = K \cdot A \cdot i$ (m^3/S)
h_aquiferuni	= 20.	# uniform height of carrying layer (m)
h_unsatini	= 0.200000002980232	# initial level groundwater is bedlevel - h_unsatini (m)
[veg]		
Clveg	= 0.8	# Stem distance factor, default 0.8 ()
Cdveg	= 0.7	# Stem Cd coefficient, default 0.7 ()
Cbveg	= 0.	# Stem stiffness coefficient, default 0.7 ()
Rhovveg	= 0.	# Stem Rho, if > 0, -> bouyant stick procedure, default 0.0 ()
Stemheightstd	= 0.	# Stem height standard deviation fraction, e.g. 0.1 ()
[wind]		
ICDtyp	= 2	# Wind drag coefficient type (1=Const; 2=Smith&Banke (2 pts); 3=S&B (3 pts); 4=Charnock 1955, 5=Whang 2005, 6=Wuest 2005)
Cdbreakpoints	= 0.00063 0.00723	# Wind drag coefficient break points
Windspeedbreakpoints	= 0 100	# Wind speed break points (m/s)
Relativewind	= 0	# Wind speed relative to top-layer water speed, 1=yes, 0 = no)
Rhoair	= 1.2	# Air density (kg/m3)
PavBnd	= 0	# Average air pressure on open boundaries (N/m2) (only applied if > 0)
PavIni	= 0	# Average air pressure for initial water level correction (N/m2) (only applied if > 0)
[waves]		
WavemodeInr	= 0	# Wave model nr. (0: none, 1: fetch/depth limited hurdlestive, 2: Young-Verhagen, 3: SWAN, 4: wave group forcing, 5: uniform)
WaveNikuradse	= 0.01	# Wave friction Nikuradse ks coefficient (m), used in Krone-Swart
Rouwav	= FR84	# Friction model for wave induced shear stress: FR84 (default) or: MS90, HT91, GM79, DS88, BK67, CJ85, OY88, VR04
Gamax	= 1	# Maximum wave height/water depth ratio
[time]		
RefDate	= 19941201	# Reference date (yyyymmdd)
Tzone	= 0	# Time zone assigned to input time series
DtUser	= 300	# Time interval (s) for external forcing update
DtNodal	=	# Time interval (s) for updating nodal factors in astronomical boundary conditions
DtMax	= 30	# Maximal computation timestep (s)
Dtfacmax	= 1.1	# Max timestep increase factor ()
DtInit	= 30	# Initial computation timestep (s)
Timestepanalysis	= 0	# 0=no, 1=see file *.steps
Tunit	= S	# Time unit for start/stop times (D, H, M or S)
TStart	= 4579200	# Start time w.r.t. RefDate (in TUnit) # 23 jan = S4579200
TStop	= 6134400	# Stop time w.r.t. RefDate (in TUnit) # 10 feb = S6134400
[restart]		
RestartFile	=	# Restart netcdf-file, either *_rst.nc or *_map.nc
RestartDateTime	=	# Restart date and time (YYYYMMDDHHMMSS) when restarting from *_map.nc
[external forcing]		
ExtForceFile	= HW1995.ext	# Old format for external forcings file *.ext, link with tim/cmp-format boundary conditions specification
ExtForceFileNew	= HW1995_bnd.ext	# New format for external forcings file *.ext, link with bc-format boundary conditions specification
Rainfall	= 0	# Include rainfall, (0=no, 1=yes)
[trachytopes]		
TrtRou	= Y	# Include alluvial and vegetation roughness (trachytopes) (Y: yes, N: no)
TrtDef	= invoer/roughcombination-general_rijn-2015_5-v1.ttd	# File (*.ttd) including trachytopo definitions

TrtL	= baseline/j95_5-v1_trachytopes.ar1	# File (*.ar1) including distribution of trachytopes definitions
DtTrt	= 60	# Trachytopes roughness update time interval (s)
[output]		
OutputDir	= resultaten	# Output directory of map-, his-, rst-, dat- and timings-files, default: DFM_OUTPUT_<modelname>. Set to . for current dir.
FlowGeomFile	=	# Flow geometry NetCDF *_flowgeom.nc
ObsFile	= baseline/j95_5-v1_observation_points.xyn	# Points file *.xyn with observation stations with rows x, y, station name
CrsFile	= invoer/Q_raaien.crs	# Polyline file *_crs.pli defining observation cross sections
FouFile	=	# Fourier analysis input file *.fou
HisFile	=	# HisFile name *_his.nc
MapFile	=	# MapFile name *_map.nc
HisInterval	= 300.	# History output times, given as "interval" "start period" "end period" (s)
XLSInterval	= 0.	# Interval (s) between XLS history
MapInterval	= 3600.	# Map file output, given as "interval" "start period" "end period" (s)
RstInterval	= 86400.	# Restart file output times, given as "interval" "start period" "end period" (s)
Sliincinterval	= 0.	# Interval (m) in incremental file for water levels S1
WaqInterval	= 0.	# DELWAQ output times, given as "interval" "start period" "end period" (s)
StatsInterval	= -300.	# Interval (in s) between simulation statistics output.
WriteBalancefile	= 0	# Write balance file (1: yes, 0: no)
TimingsInterval	=	# Timings statistics output interval
TimeSplitInterval	= 0X	# Time splitting interval, after which a new output file is started. value+unit, e.g. '1 M', valid units: Y,M,D,h,m,s.
MapFormat	= 4	# Map file format, 1: netCDF, 2: Tecplot, 3: netCDF and Tecplot, 4: NetCDF-UGRID
Wrihis_balance	= 1	# Write mass balance totals to his file (1: yes, 0: no)
Wrihis_sourcesink	= 1	# Write sources-sinks statistics to his file (1=yes, 0=no)
Wrihis_structure_gen	= 1	# Write general structure parameters to his file (1: yes, 0: no)
Wrihis_structure_dam	= 1	# Write dam parameters to his file (1: yes, 0: no)
Wrihis_structure_pump	= 1	# Write pump parameters to his file (1: yes, 0: no)
Wrihis_structure_gate	= 1	# Write gate parameters to his file (1: yes, 0: no)
Wrihis_structure_weir	= 1	# Write weir parameters to his file (1: yes, 0: no)
Wrihis_turbulence	= 1	# Write k, eps and vicww to his file (1: yes, 0: no)
Wrihis_wind	= 1	# Write wind velocities to his file (1: yes, 0: no)
Wrihis_temperature	= 1	# Write temperature to his file (1: yes, 0: no)
Wrihis_heatflux	= 0	# Write heat flux to his file (1: yes, 0: no)
Wrihis_salinity	= 1	# Write salinity to his file (1: yes, 0: no)
Wrimap_waterlevel_s0	= 0	# Write water levels for previous time step to map file (1: yes, 0: no)
Wrimap_waterlevel_s1	= 1	# Write water levels to map file (1: yes, 0: no)
Wrimap_volume1	= 0	# Write volumes to map file (1: yes, 0: no)
Wrimap_velocity_component_u0	= 0	# Write velocity component for previous time step to map file (1: yes, 0: no)
Wrimap_velocity_component_u1	= 1	# Write velocity component to map file (1: yes, 0: no)
Wrimap_velocity_vector	= 1	# Write cell-center velocity vectors to map file (1: yes, 0: no)
Wrimap_upward_velocity_component	= 0	# Write upward velocity component on cell interfaces (1: yes, 0: no)
Wrimap_density_rho	= 1	# Write flow density to map file (1: yes, 0: no)
Wrimap_horizontal_viscosity_viu	= 1	# Write horizontal viscosity to map file (1: yes, 0: no)
Wrimap_horizontal_diffusivity_diu	= 1	# Write horizontal diffusivity to map file (1: yes, 0: no)
Wrimap_flow_flux_q1	= 1	# Write flow flux to map file (1: yes, 0: no)
Wrimap_spiral_flow	= 1	# Write spiral flow to map file (1: yes, 0: no)
Wrimap_numlimdt	= 1	# Write the number times a cell was Courant limiting to map file (1: yes, 0: no)
Wrimap_taucurrent	= 1	# Write the shear stress to map file (1: yes, 0: no)
Wrimap_chезy	= 1	# Write the chezy roughness to map file (1: yes, 0: no)
Wrimap_turbulence	= 1	# Write vicww, k and eps to map file (1: yes, 0: no)

Wrimap_trachytopes	= 1	# Write trachytopes roughnesses to map file (1: yes, 0: no)
Wrimap_wind	= 1	# Write wind velocities to map file (1: yes, 0: no)
MapOutputTimeVector	=	# File (*.mpt) containing fixed map output times (s) w.r.t. RefDate
FullGridOutput	= 0	# Full grid output mode (0: compact, 1: full time-varying grid data)
EulerVelocities	= 0	# Euler velocities output (0: GLM, 1: Euler velocities)
Wrirst_bnd	= 1	# Write waterlevel, bedlevel and coordinates of boundaries to restart files
[particles]		
ParticlesFile	=	
AddTracer	= 0	# add tracer (1) or not (other)
StartTime	= 0.	# starttime (if >0)
TimeStep	= 0.	# time step (>0) or every computational time step

A.2 External forcings

De invoer van randvoorwaarde is momenteel gespreid over twee bestanden. Het eerste bestand (EXT-bestand) bevat de ruimtelijker informatie zoals bodemhoogte en initiële waterstand en daarnaast de laterale randvoorwaarden. Het tweede bestand (BND-EXT-bestand of EXTNEW-bestand) bevat enkele de bovenstroomse en benedenstroomse randvoorwaarden van het model.

A.2.1 EXT-bestand

```

QUANTITY =bedlevel
FILENAME =invoer/bedlevelsamples_face.xyz
FILETYPE =7
METHOD =6
OPERAND =0
AVERAGINGTYPE=2
RELATIVESEARCHCELLSIZE=1.1

QUANTITY=discharge_salinity_temperature_sorsin
FILENAME=randvw/HW1995/LateralConditions/Hollands_Duits_gemaal_Nijmegen.pli
FILETYPE=9
METHOD=1
OPERAND=0

QUANTITY=discharge_salinity_temperature_sorsin
FILENAME=randvw/HW1995/LateralConditions/Land_van_Altena.pli
FILETYPE=9
METHOD=1
OPERAND=0

QUANTITY=discharge_salinity_temperature_sorsin
FILENAME=randvw/HW1995/LateralConditions/gemaal_Kandia.pli
FILETYPE=9
METHOD=1
OPERAND=0

QUANTITY=discharge_salinity_temperature_sorsin
FILENAME=randvw/HW1995/LateralConditions/Arnhem_ca.pli
FILETYPE=9
METHOD=1
OPERAND=0

QUANTITY=discharge_salinity_temperature_sorsin
FILENAME=randvw/HW1995/LateralConditions/Rozendaalsche_en_Beeckhuizerbeek.pli
FILETYPE=9
METHOD=1
OPERAND=0

QUANTITY=discharge_salinity_temperature_sorsin
FILENAME=randvw/HW1995/LateralConditions/Liemers_en_Bevermeer.pli
FILETYPE=9
METHOD=1
OPERAND=0

QUANTITY=discharge_salinity_temperature_sorsin
FILENAME=randvw/HW1995/LateralConditions/Oude_IJssel.pli
FILETYPE=9
METHOD=1
OPERAND=0

QUANTITY =initialwaterlevel
FILENAME =randvw/HW1995/InitialConditions/initial_waterlevel_19950123.xyz
FILETYPE =7
METHOD =5
OPERAND =0
    
```

A.2.2 BND-EXT-bestand

```
[boundary]
quantity=dischargebnd
locationfile=randvw/HW1995/BoundaryConditions/Emmerich.pli
forcingfile=randvw/HW1995/BoundaryConditions/BC.bc

[boundary]
quantity=tracerbndA
locationfile=randvw/HW1995/BoundaryConditions/Emmerich.pli
forcingfile=randvw/HW1995/BoundaryConditions/BC.bc

[boundary]
quantity=waterlevelbnd
locationfile=randvw/HW1995/BoundaryConditions/Hardinxveld.pli
forcingfile=randvw/HW1995/BoundaryConditions/BC.bc

[boundary]
quantity=waterlevelbnd
locationfile=randvw/HW1995/BoundaryConditions/StuwDriel.pli
forcingfile=randvw/HW1995/BoundaryConditions/BC.bc

[boundary]
quantity=waterlevelbnd
locationfile=randvw/HW1995/BoundaryConditions/Doesburg.pli
forcingfile=randvw/HW1995/BoundaryConditions/BC.bc
```

A.3 Trachytopen Definitie

```
# This file has been created by conversion from WAQUA using the matlab script by Jurjen de Jong
1 1
2 1
3 1
#-----
#
# Roughcombination : Ruwheids karakteristieken voor de ROUGHCOMBINATION method in Waqua
#                   De r_code verwijst naar de r_code in de area-u en area-v files
#
#                   De vegetatie waarden zijn afkomstig van het Handboek
#                   Stromingsweerstand vegetatie in uiterwaarden Deel 1 en 2
#                   Riza rapport 2003.028 en Riza rapport 2003.029
#
#                   De handboek ruwheden kunnen vrijuit gebruikt worden. Het betreft de codes:
#                   101-122, 1201-1250, 1501-1510, 1601-1618, 1801-1807
#
#                   De overige codes zijn :
#                   - gekalibreerde waarden voor specifieke gebieden
#                   - coderingen gebruikt in WBR vergunningen
#                   - specifieke ruwheden voor projecten
#                   Deze ruwheden zijn niet vrijuit in andere projecten te gebruiken.
#
#-----
# Versie 2015_5-v1 (12-04-2016): - gebaseerd op Versie 0.88 van 'roughcombination.karak_5_vast'
#                               - opschonen code: alle gekalibreerde waarden voor specifieke
#                               gebieden worden in aparte files opgenomen
#                               - overgang naar nieuwe naam volgens naamgevingsconventie
#                               - toevoegen codering ivm vegetatielegger
#
#-----
#
# CODE 1-50      : Formulering voor bebouwing en hoogwatervrije terreinen
#                 : Deze formulering vraagt geen invoer parameters in roughcombination
#
#-----
#
# CODE 51-100   : Niet gedefinieerd
#
#-----
#
# CODE 101-300 : Ruwheids formulering volgens de formule van White-Colebrook
# r_code       : de ruwheids code
# a            : k-Nikuradse (normaal of eb)          (0.0001 - 0.20 - 100.)
# b            : k-Nikuradse (vloed)                 (0.0001 - 0.20 - 100.)
# c            : geen betekenis
# d            : geen betekenis
#
# 101 51 0.20   # default waarde
# 102 51 0.15   # diepe bedding
# 103 51 0.15   # ondiepe bedding
# 104 51 0.15   # strang
# 105 51 0.20   # nevengeul
# 106 51 0.05   # plas/haven/slikkige oever
# 111 51 0.15   # kribvakstrand/zandplaat/grindplaat
# 112 51 0.40   # ruwe oever
# 113 51 0.30   # steenbekleding
# 114 51 0.60   # bebouwd/verhard terrein
# 115 51 1.00   # bebouwd terrein
# 116 51 0.20   # verhard terrein
# 121 51 0.20   # akker
```

```

122 51 0.25 # strooisel
131 51 0.63 # vaste laag Nijmegen
132 51 0.34 # vaste laag St. Andries
133 51 0.68 # bodem kribben Erlecom
#
161 51 3.00 # oever met begroeiing Brokx_k1
# # dit is een Ruimte voor de Rivier maatregel
#
# CODE 171 t/m 175 : Codes gereserveerd voor de Duitse zijrivieren
# Deze codes zijn opgenomen in het bestand 'roughcombination-rhein'
#
# CODE 180 t/m 185 : Codes gereserveerd voor de Markermeer-Gooimeer-Femmeer-schematisatie
# Deze codes zijn opgenomen in het bestand 'roughcombination-markermeer'
#
# De volgende codes zijn toegevoegd voor de Vegetatielegger
201 51 0.15 # water
202 51 0.60 # verhard
#
#r_code = 299 a = 0.20 b = 0.25 # eb en vloed (voorbeeld)
#
#=====
#
# CODE 301-500 : Ruwheids formulering volgens de formule van Manning
# r_code : de ruwheids code
# a : Manning (normaal of eb) (0.001 - 0.0263 - 100.)
# b : Manning (vloed) (0.001 - 0.0263 - 100.)
# c : geen betekenis
# d : geen betekenis
#
301 53 0.0263 # default waarde
302 53 0.0263 # diepe meerbodem
303 53 0.0283 # ondiepe meerbodem
304 53 0.024 # diep getijdewater
305 53 0.022 # ondiep getijdewater
#
#
# CODE 307 t/m 315 : Codes gereserveerd voor de Noordzee
# Deze codes zijn opgenomen in het bestand 'roughcombination-noordzee'
#
# CODE 320 t/m 400 : Codes gereserveerd voor de Rijn-Maasmonding schematisatie
# Deze codes zijn opgenomen in het bestand 'roughcombination-rmm'
#
# CODE 401 t/m 410 : Codes gereserveerd voor de IJsselmeer-IJsselVechtDelta en Overijsselsche Vecht-schematisatie
# Deze codes zijn opgenomen in het bestand 'roughcombination-ym_ijvd_ov'
#
# CODE 411 t/m 415 : Codes gereserveerd voor de Markermeer-Gooimeer-Femmeer-schematisatie
# Deze codes zijn opgenomen in het bestand 'roughcombination-markermeer'
#
# CODE 416 t/m 420 : Codes gereserveerd voor de Veluwerandmeren-schematisatie
# Deze codes zijn opgenomen in het bestand 'roughcombination-frm'
#
# CODE 421 t/m 423 : Codes gereserveerd voor de Volkerak-Zoommeer-schematisatie
# Deze codes zijn opgenomen in het bestand 'roughcombination-vozo'
#
# CODE 424 t/m 429 : Codes gereserveerd voor de Oosterschelde-schematisatie
# Deze codes zijn opgenomen in het bestand 'roughcombination-oosterschelde'
#
# CODE 430 t/m 432 : Codes gereserveerd voor de Veerse Meer-schematisatie
# Deze codes zijn opgenomen in het bestand 'roughcombination-veersemeer'
#
# CODE 433 t/m 473 : Codes gereserveerd voor de Westerschelde-schematisatie
# Deze codes zijn opgenomen in het bestand 'roughcombination-westerschelde'
#
# CODE 474 t/m 477 : Codes gereserveerd voor de Grevelingen-schematisatie
# Deze codes zijn opgenomen in het bestand 'roughcombination-grevelingen'
#
#r_code = 499 a = 0.0263 b = 0.0283 # eb en vloed (voorbeeld)
#
#=====
#
# CODE 501-600 : Chezy waarde
# r_code : de ruwheids code
# a : Chezy (normale of eb) (0.01 - 45. - 100.)
# b : Chezy (vloed) (0.01 - 45. - 100.)
# c : geen betekenis
# d : geen betekenis
#
501 52 45.0 # default waarde
#r_code = 599 a = 45.0 b = 40.0 # eb en vloed (voorbeeld)
#
#=====
#
# CODE 601-900 : Ruwheids methode voor het zomerbed van een rivier
# r_code : de ruwheids code
# a : alfa (normaal of eb) (0.001 - 0.1 - 1.)
# b : beta (normaal of eb) (0.1 - 2.5 - 100.)
# c : alfa (vloed) (alleen voor testen) (0.001 - 0.1 - 1.)
# d : beta (vloed) (alleen voor testen) (0.1 - 2.5 - 100.)
#
601 101 0.1 2.5 # zomerbed default
#
# CODE 611 t/m 700 : Codes gereserveerd voor de Rijntakken-schematisatie
# Deze codes zijn opgenomen in het bestand 'roughcombination-rijn'

```

```

#
# CODE 701 t/m 750 : Codes gereserveerd voor de Maas-schematisatie
#   Deze codes zijn opgenomen in het bestand 'roughcombination-maas'
#
# CODE 751 t/m 760 : Codes gereserveerd voor de Duitse Rhein
#   Deze codes zijn opgenomen in het bestand 'roughcombination-rhein'
#
# CODE 800 t/m 850 : Codes gereserveerd voor de IJsselmeer-IJsselVechtDelta en Overijsselsche Vecht-schematisatie
#   Deze codes zijn opgenomen in het bestand 'roughcombination-ym_ijvd_ov'
#
# CODE 851 t/m 860 : Codes gereserveerd voor de Rijn-Maasmonding-schematisatie
#   Deze codes zijn opgenomen in het bestand 'roughcombination-rmm'
#
#=====
#
# CODE 901-1200 : Niet gedefinieerd
#
#=====
#
# CODE 1201-1400 : Ruwheids formulering voor door- en overstromde vegetatie
# r_code      : de ruwheids code
# a           : de vegetatie hoogte           (0.001 - 0.2 - 50.)
# b           : de vegetatie dichtheid       (0.0001 - 0.2 - 100.)
# c           : drag coefficient              (0.1 - 1.8 - 10.)
# d           : k-Nikuradse (onderlaag begroeiing) (0.001 - 0.2 - 100.)
#
1201 152 0.06 45. 1.8 0.1      # productiegrasland
1202 152 0.10 12. 1.8 0.1      # natuurlijk gras/hooiland
1203 152 0.20 15. 1.8 0.1      # verruigd grasland
1211 152 0.30 3. 1.8 0.1      # akkerdistelruigte
1212 152 0.56 0.23 1.8 0.1     # droge ruigte
1213 152 0.50 0.56 1.8 0.1     # dauwbraamruigte
1214 152 0.95 0.13 1.8 0.1     # wilgenroosje ruigte
1215 152 2.00 0.16 1.8 0.1     # rietruigte
1221 152 0.35 0.25 1.8 0.1     # natte ruigte homogeen
1222 152 0.30 1.2 1.8 0.1     # zegge homogeen
1223 152 1.00 0.4 1.8 0.1     # rietgras homogeen
1224 152 0.50 1.2 1.8 0.1     # biezen homogeen
1225 152 1.50 0.35 1.8 0.1     # lisdodde homogeen
1226 152 2.50 0.37 1.8 0.1     # riet homogeen
1231 152 6.00 0.13 1.5 0.4     # zacht houtstruweel
1232 152 3.00 0.041 1.5 0.4    # griend
1233 152 5.00 0.17 1.5 0.4     # doornstruweel
1241 152 10.00 0.011 1.5 0.3    # productiebos hardhout
1242 152 10.00 0.010 1.5 0.3    # productiebos zacht hout
1243 152 10.00 0.016 1.5 0.3    # productiebos naaldhout
1244 152 10.00 0.023 1.5 0.4    # hardhoutoibos
1245 152 10.00 0.028 1.5 0.6    # zacht houtoibos
1246 152 3.00 0.024 1.5 0.2     # boomgaard laagstam
1247 152 6.00 0.01 1.5 0.2     # boomgaard hoogstam
1250 152 0.15 0.15 1.8 0.1     # pioniervegetatie
#
# Aanvullingen voor wbr08 van DON van 1300-1379
#
1301 152 1.00 0.130 1.5 0.4     # zacht houtstruweel, hoogte 1.00 m
1305 152 2.00 0.130 1.5 0.4     # zacht houtstruweel, hoogte 2.00 m
1311 152 5.00 0.130 1.5 0.4     # zacht houtstruweel, hoogte 5.00 m
1316 152 8.00 0.130 1.5 0.4     # zacht houtstruweel, hoogte 8.00 m
1362 152 0.50 0.041 1.5 0.4     # griend, hoogte 0.50 m
1365 152 1.50 0.041 1.5 0.4     # griend, hoogte 1.50 m
1379 152 0.20 0.041 1.5 0.4     # griend, hoogte 0.20 m
#
# Einde aanvullingen voor wbr08 van DON van 1300-1379
#
#=====
#
# CODE 1401-1500 : Niet gedefinieerd
#
#=====
#
# CODE 1501-1600 : Ruwheids formulering voor door- en overstromde bomen
# r_code      : de ruwheids code
# a           : de vegetatie hoogte           (0.5 - 10. - 50.)
# b           : drag coefficient              (0.1 - 1.5 - 10.)
# c           : geen betekenis
# d           : geen betekenis
# In area file staat de dichtheid ( (de som van alle diameters) / celgrootte)
#
1501 251 1.00 1.5                # individule bomen
1502 251 2.00 1.5                # individule bomen
1503 251 3.00 1.5                # individule bomen
1504 251 4.00 1.5                # individule bomen
1505 251 5.00 1.5                # individule bomen
1506 251 6.00 1.5                # individule bomen
1507 251 7.00 1.5                # individule bomen
1508 251 8.00 1.5                # individule bomen
1509 251 9.00 1.5                # individule bomen
1510 251 10.00 1.5              # individule bomen
#
#=====
#
# CODE 1601-1700 : Ruwheids formulering voor door- en overstromde heggen
# r_code      : de ruwheids code

```

```

# a      : de vegetatie hoogte          (0.5 - 2.0 - 10.)
# b      : de vegetatie dichtheid      (0.01 - 0.6 - 10.)
# c      : drag coefficient             (0.1 - 1.5 - 10.)
# d      : overlaat coefficient        (0.1 - 1.2 - 10.)
#
1601 202 1.00 0.20 1.5 1.2             # heggen zeer open
1602 202 1.00 0.60 1.5 1.2             # heggen open
1603 202 1.00 1.00 1.5 1.2             # heggen dicht
1604 202 2.00 0.20 1.5 1.2             # heggen zeer open
1605 202 2.00 0.60 1.5 1.2             # heggen open
1606 202 2.00 1.00 1.5 1.2             # heggen dicht
1607 202 3.00 0.20 1.5 1.2             # heggen zeer open
1608 202 3.00 0.60 1.5 1.2             # heggen open
1609 202 3.00 1.00 1.5 1.2             # heggen dicht
1610 202 4.00 0.20 1.5 1.2             # heggen zeer open
1611 202 4.00 0.60 1.5 1.2             # heggen open
1612 202 4.00 1.00 1.5 1.2             # heggen dicht
1613 202 5.00 0.20 1.5 1.2             # heggen zeer open
1614 202 5.00 0.60 1.5 1.2             # heggen open
1615 202 5.00 1.00 1.5 1.2             # heggen dicht
1616 202 6.00 0.20 1.5 1.2             # heggen zeer open
1617 202 6.00 0.60 1.5 1.2             # heggen open
1618 202 6.00 1.00 1.5 1.2             # heggen dicht
#
#=====
#
# CODE 1701-1800 : Niet gedefinieerd
#
#=====
#
# CODE 1801-1999 : Ruwheids combinatie voor r_codes van 101-600 en 1201-1300
#
# Combinatie van enkelvoudige code met een combinatie dan:
# a = enkelvoudige code
# b = combinatie code
#
# Combinatie van 2 combinaties mogelijk vanaf simona2007-01 versie
# r_code : de ruwheids code
# a      : de r_code van de eerste ruwheid      (1 - 1221 - 1300)
# b      : de r_code van de tweede ruwheid     (1 - 106 - 1900)
# c      : het percentage van de eerste r_code (0.001 - 0.75 - 0.999)
# d      : het percentage van de tweede r_code (0.001 - 0.25 - 0.999)
#
1801 2 1221 106 0.75 0.25             # 75% natte ruigte
# 25% water
1802 2 1245 1801 0.05 0.95           # 5% zachthoutoobos
# 95% (natte ruigte met 25% water)
1803 2 1222 122 0.75 0.25           # 75% zegge
# 25% strooisel
1804 2 1223 106 0.75 0.25           # 75% rietgras
# 25% water
1805 2 1224 106 0.75 0.25           # 75% biezen
# 25% water
1806 2 1225 106 0.75 0.25           # 75% lisdodde
# 25% water
1807 2 1226 122 0.75 0.25           # 75% riet
# 25% strooisel
#
# 1808 uit rough.karak_wbr08 van DON
# 1809 uit rough.karak_hr2006_pkb
#
1808 2 1245 1231 0.50 0.50           # 50% zachthoutoobos
# 50% zachthoutstruweel
1809 2 1203 1245 0.90 0.10           # 90% verruigd grasland
# 10% zachthoutoobos
#
# combinaties uit de vegetatie opname van DON 2004
#
1811 2 1250 1245 0.95 0.05           # 95% pioniervegetatie
# 5% zachthoutoobos
1812 2 1202 1245 0.80 0.20           # 80% natuurlijk gras/hooiland
# 20% zachthoutoobos
1813 2 1203 1231 0.80 0.20           # 80% verruigd grasland
# 20% zachthoutstruweel
1814 2 1223 1231 0.95 0.05           # 95% rietgras homogeen
# 5% zachthoutstruweel
1815 2 1226 1231 0.70 0.30           # 70% riet homogeen
# 30% zachthoutstruweel
1816 2 1231 1245 0.80 0.20           # 80% zachthoutstruweel
# 20% zachthoutoobos
1817 2 1221 1245 0.95 0.05           # 95% natte ruigte homogeen
# 5% zachthoutoobos
1818 2 1221 1231 0.70 0.30           # 70% natte ruigte homogeen
# 30% zachthoutstruweel
1819 2 1212 1231 0.90 0.10           # 90% droge ruigte
# 10% zachthoutstruweel
#
# combinaties uit de Atkis gegevens van de BFG, Duitse Rhein
#
1820 2 1202 1241 0.75 0.25           # 75% natuurlijk gras/hooiland
# 25% produktiebos hardhout
1821 2 1201 1241 0.75 0.25           # 75% produktiegrasland
# 25% produktiebos hardhout
1822 2 121 1233 0.95 0.05           # 95% akker
# 5% doornstruweel

```

1823	2	1202	1244	0.25	0.75	# 25% natuurlijk gras/hooiland # 75% hardhoutoobos
#						
#						# Codes uit rough.karak_wbr08 van DON:
#						1850,1851,1852,1853,1854,1859,1860,1862,1863,1864
#						1865,1866,1867,1868,1872,1879,1880,1881,1882,1887
#						1888,1889,1890,1891
#						# Codes uit rough.karak_hr2006_pkb van PKB:
#						1850,1851,1852,1853,1854,1860,1861,1862,1863,1865
#						1866,1867,1868,1870,1871,1874,1875,1876,1877
#						1879,1880,1881
#						
1850	2	1222	1231	0.80	0.20	# 80% zegge # 20% zachthoutstruweel
1851	2	1202	1245	0.50	0.50	# 50% natuurlijk gras/hooiland # 50% zachthoutoobos
1852	2	1202	1231	0.95	0.05	# 95% natuurlijk gras/hooiland # 5% zachthoutstruweel
1853	2	1202	1231	0.75	0.25	# 75% natuurlijk gras/hooiland # 25% zachthoutstruweel
1854	2	1202	1231	0.90	0.10	# 90% natuurlijk gras/hooiland # 10% zachthoutstruweel
#						# Toegevoegd t.b.v. maatregel ma_overdm_a1 (email Jan Bremer)
#						# CODE 1855-1893 : Nieuw tbv project Over de Maas (NB hoogste code in b)
#						
1855	2	1202	1212	0.90	0.10	# 90% natuurlijk gras/hooiland # 10% droge ruigte
1856	2	1231	1855	0.05	0.95	# 5% zachthoutstruweel # 95% 1855
1857	2	1202	1223	0.75	0.25	# 75% natuurlijk gras/hooiland # 25% rietgras homogeen
1858	2	1245	1857	0.05	0.95	# 5% zachthoutoobos # 95% 1857
1892	2	1226	106	0.75	0.25	# 75% riet homogeen # 25% plas/haven/slikkige oever
1893	2	1245	1892	0.20	0.80	# 20% zachthoutoobos # 80% 1892
#						
1859	2	1212	1231	0.85	0.15	# 85% droge ruigte # 15% zachthoutstruweel
1860	2	111	1212	0.40	0.60	# 40% kribvak # 60% droge ruigte
1862	2	1245	1853	0.20	0.80	# 20% zachthoutoobos # 60% natuurlijk gras/hooiland # 20% zachthoutstruweel
1863	2	1860	1862	0.50	0.50	# 20% kribvak # 30% droge ruigte # 10% zachthoutoobos # 30% natuurlijk gras/hooiland # 10% zachthoutstruweel
1864	2	1202	1231	0.70	0.30	# 70% natuurlijk gras/hooiland # 30% zachthoutstruweel
1865	2	106	1231	0.83	0.17	# 83% slikkige oever # 17% zachthoutstruweel
1866	2	1245	1223	0.50	0.50	# 50% zachthoutoobos # 50% rietgras
1867	2	1865	1866	0.75	0.25	# 61% slikkige oever # 13% zachthoutstruweel # 13% zachthoutoobos
1868	2	111	1867	0.60	0.40	# 13% rietgras # 60% kribvak # 25% slikkige oever # 5% zachthoutstruweel # 5% zachthoutoobos # 5% rietgras
1869	2	1203	1231	0.95	0.05	# 95% verruigd grasland # 5% zachthoutstruweel
1870	2	1202	1231	0.99	0.01	# 99% natuurlijk gras/hooiland # 1% zachthoutstruweel
1871	2	1202	1231	0.975	0.025	# 97,5% natuurlijk gras/hooiland # 2,5% zachthoutstruweel
1872	2	1202	1231	0.98	0.02	# 98% natuurlijk gras/hooiland # 2% zachthoutstruweel
1874	2	1212	1231	0.20	0.80	# 20% droge ruigte # 80% zachthoutstruweel
1875	2	1212	1231	0.95	0.05	# 95% droge ruigte # 5% zachthoutstruweel
1876	2	1231	1801	0.25	0.75	# 25% zachthoutstruweel # 75% (natte ruigte met 25% water)
1877	2	1231	1803	0.20	0.80	# 20% zachthoutstruweel # 80% (zegge met 25% strooisel)
1879	2	114	1231	0.90	0.10	# 90% bebouwd/verhard terrein # 10% zachthoutstruweel
1880	2	1222	1223	0.50	0.50	# 50% zegge # 50% rietgras
1881	2	1202	1231	0.85	0.15	# 85% natuurlijk gras/hooiland # 15% zachthoutstruweel
1882	2	1203	1231	0.975	0.025	# 97,5% verruigd grasland # 2,5% zachthoutstruweel
1886	2	1203	1231	0.90	0.10	# 90% verruigd grasland # 10% zachthoutstruweel
1887	2	1202	1212	0.50	0.50	# 50% natuurlijk gras/hooiland # 50% droge ruigte

1888	2	1231	1887	0.05	0.95	# 5% zachthoutstruweel # 47,5% natuurlijk gras/hooiland # 47,5% droge ruigte
1889	2	1231	1887	0.10	0.90	# 10% zachthoutstruweel # 45% natuurlijk gras/hooiland # 45% droge ruigte
1890	2	1202	1231	0.50	0.50	# 50% natuurlijk gras/hooiland # 50% zachthoutstruweel
1891	2	1203	1231	0.97	0.03	# 97% verruigd grasland # 3% zachthoutstruweel
1906	2	1202	1245	0.90	0.10	# 90% natuurlijk gras/hooiland # 10% zachthoutoobos
1907	2	111	1231	0.88	0.12	# 88% kribvakstrand/zandplaat # 12% zachthoutstruweel
1908	2	111	1231	0.80	0.20	# 80% kribvakstrand/zandplaat # 20% zachthoutstruweel
1909	2	1245	1804	0.20	0.80	# 20% zachthoutoobos # 80% (rietgras met 25% water)
1910	2	1202	1245	0.95	0.05	# 95% natuurlijk gras/hooiland # 5% zachthoutoobos
1911	2	1212	1231	0.80	0.20	# 80% droge ruigte # 20% zachthoutstruweel
1912	2	1202	1231	0.80	0.20	# 80% natuurlijk gras/hooiland # 20% zachthoutstruweel
1913	2	106	1226	0.75	0.25	# 75% water # 25% riet homogeen
1914	2	111	1912	0.40	0.60	# 40% kribvakstrand # 48% natuurlijk gras/hooiland # 12% zachthoutstruweel
1915	2	106	1222	0.40	0.60	# 40% water # 60% zegge homogeen
1916	2	1226	1915	0.50	0.50	# 50% riet homogeen # 20% water # 30% zegge homogeen
1917	2	1202	1212	0.95	0.05	# 95% natuurlijk grasland/hooiland # 5% droge ruigte
1918	2	1213	1231	0.90	0.10	# 90% dauwbraamruigte # 10% zachthoutstruweel
1919	2	1215	1231	0.95	0.05	# 95% rietruigte # 5% zachthoutstruweel
1920	2	1215	1231	0.90	0.10	# 90% rietruigte # 10% zachthoutstruweel
1921	2	1801	1245	0.80	0.20	# 80% natte ruigte met 25% water # 20% zachthoutoobos
1922	2	1212	1245	0.80	0.20	# 80% droge ruigte # 20% zachthoutoobos
1933	2	1801	1231	0.95	0.05	# 95% natte ruigte met 25% water # 5% zachthoutstruweel
1934	2	1801	1231	0.90	0.10	# 90% natte ruigte met 25% water # 10% zachthoutstruweel
1935	2	1801	1231	0.80	0.20	# 80% natte ruigte met 25% water # 20% zachthoutstruweel
1936	2	1803	1231	0.95	0.05	# 95% zegge met 25% strooisel # 5% zachthoutstruweel
1937	2	1803	1231	0.90	0.10	# 90% zegge met 25% strooisel # 10% zachthoutstruweel
1938	2	1807	1231	0.95	0.05	# 95% riet met 25% strooisel # 5% zachthoutstruweel
1939	2	1807	1231	0.90	0.10	# 90% riet met 25% strooisel # 10% zachthoutstruweel
1940	2	1807	1231	0.80	0.20	# 80% riet met 25% strooisel # 20% zachthoutstruweel
1941	2	1202	1212	0.70	0.30	# 70% natuurlijk grasland # 30% droge ruigte
#-----						
# VEGETATIELEGGER						
#-----						
# Geaggregeerde klassen - Koen Volleberg - 15-06-2012						
# Aangepast voor vegetatieverdeling 2012 (Bas van Dongen, Arcadis, 04-01-2015)						
#						
# tussenstappen voor Homogene klassen						
1970	2	1201	1202	0.561757253	0.438242747	# Gras 1 (prod. gras & nat. gras)
1971	2	111	121	0.07415936	0.92584064	# Gras 2 (zand en akker)
1972	2	1212	1804	0.87552542	0.12447458	# Ruigte 1
1973	2	1242	1244	0.212045693	0.787954307	# Bos 1
1974	2	1245	1246	0.846018535	0.153981465	# Bos 2
1975	2	1973	1974	0.578653494	0.4211346506	# Bos 3
1976	2	1970	1971	0.731872562	0.268127438	# Gras 3 (prod. gras, nat. gras, zand en akker)
#						
# Homogene klassen						
#						
1981	2	1250	1976	0.036775031	0.963224969	# gras en akker
1982	2	1807	1972	0.126268683	0.873731317	# riet en ruigte
1983	2	1975	1247	0.972225202	0.027774798	# bos
1984	2	1231	1233	0.597832635	0.402167365	# struweel
#						
# tussenstappen voor Mengklassen						
1989	2	1981	1982	0.50	0.50	# 50% gras en akker # 50% riet en ruigte
1993	2	1981	1982	0.25	0.75	# 25% gras en akker # 75% riet en ruigte
#						


```

# Mengklassen (op basis van verdelingspercentages interventiewaarden)
#
1996 2 1981 1984 0.80 0.20          # 80% gras en akker      | Mengklasse 90/10
                                   # 20% struweel          |
1997 2 1989 1984 0.60 0.40          # 30% gras en akker      | Mengklasse 70/30
                                   # 30% riet en ruigte    |
                                   # 40% struweel          |
1998 2 1993 1984 0.40 0.60          # 10% gras en akker     | Mengklasse 50/50
                                   # 30% riet en ruigte    |
                                   # 60% struweel          |

#
#=====
#
# Einde roughcombination
#
#=====
#
# Roughcombination : Rough karakteristieken voor de ROUGHCOMBINATION method in Waqua
#                   De r_code verwijst naar de r_code in de area-u en area-v files
#
#                   De vegetatie waarden zijn afkomstig van het Handboek
#                   Stromingsweerstand vegetatie in uiterwaarden Deel 1 en 2
#                   Riza rapport 2003.028 en Riza rapport 2003.029
#
#                   De handboek ruwheden kunnen vrijuit gebruikt worden. Het betreft de codes:
#                   101-122, 1201-1250, 1501-1510, 1601-1618, 1801-1807
#
#                   De overige codes zijn :
#                   - gecalibreerde waarden voor specifieke gebieden
#                   - coderingen gebruikt in WBR vergunningen
#                   - specifieke ruwheden voor projecten
#                   Deze ruwheden zijn niet vrijuit in andere projecten te gebruiken.
#
#=====
#
# Versie 2015_5-v1 (12-05-2015): - gebaseerd op Versie 0.74 van 'roughcombination.karak_5_f0_Rijn'
#                               - opschonen code: alle gecalibreerde waarden voor specifieke
#                               gebieden worden in aparte files opgenomen
#                               - overgang naar nieuwe naam volgens naamgevingsconventie
#                               - toevoegen codering ivm vegetatielegger
#
#*****
#
# zomerbedruwheden Rijntakken, 5e generatie, afvoerafhankelijk
#
#*****
#
#=====
#
# CODE 611-700 : Ruwheids methode voor het zomerbed van een rivier
# r_code      : de ruwheids code
# a           : alfa (normaal of eb)          (0.001 - 0.1 - 1.)
# b           : beta (normaal of eb)         (0.1 - 2.5 - 100.)
# c           : alfa (vloed) (alleen voor testen) (0.001 - 0.1 - 1.)
# d           : beta (vloed) (alleen voor testen) (0.1 - 2.5 - 100.)
#
#=====
#
# DUITSE RHEIN
#
#=====
611 DISCHARGE Q-LobithPannkop
611 2700 101 0.0231 2.5          # emmerich - lobith
611 4450 101 0.0272 2.5
611 11800 101 0.0787 2.5
#
# In de calibratie van de Duitse Rhein is onderstaande waarde gecalibreerd voor traject 611
# In de lopende projecten hanteren we de Nederlandse calibratie waarde
# Op termijn moet dit op elkaar worden afgestemd.
# Verschil wordt veroorzaakt doordat er een verschil is tussen de Nederlandse en
# de Duitse methodiek om de afvoer van een hoog water vast te stellen
# Verschil in afvoer bij een zelfde waterstand kan alleen met een verschillende ruwheid
# r_code = 611 a = 0.0084 b = 2.5          # emmerich - lobith a is van Duitse Rhein model
#
#=====
#
# BOVENRIJN
#
#=====
612 DISCHARGE Q-LobithPannkop
612 2700 101 0.0231 2.5          # lobith - pankop
612 4450 101 0.0272 2.5
612 11800 101 0.0787 2.5
#
#
# WAAL
#
#=====
613 DISCHARGE Q-PannkopNijmegen
613 1850 101 0.0598 2.5          # pankop - erlecom
613 3000 101 0.0611 2.5

```

613	7450	101	0.0790	2.5	
#-----					
614	DISCHARGE Q-PannkopNijmegen				
614	1850	101	0.0598	2.5	# erlecom - nijmegen
614	3000	101	0.0611	2.5	
614	7450	101	0.0790	2.5	
#-----					
615	DISCHARGE Q-NijmegenTielWl				
615	1850	101	0.0667	2.5	# nijmegen - dodewaard
615	3000	101	0.0845	2.5	
615	7450	101	0.0737	2.5	
#-----					
616	DISCHARGE Q-NijmegenTielWl				
616	1850	101	0.0667	2.5	# dodewaard - tiel
616	3000	101	0.0845	2.5	
616	7450	101	0.0737	2.5	
#-----					
617	DISCHARGE Q-TielWlZaltb_waq				
617	1850	101	0.0945	2.5	# tiel - sint andries
617	3000	101	0.1091	2.5	
617	7450	101	0.0892	2.5	
#-----					
618	DISCHARGE Q-TielWlZaltb_waq				
618	1850	101	0.0945	2.5	# sint andries - zaltbommel
618	3000	101	0.1091	2.5	
618	7450	101	0.0892	2.5	
#-----					
619	DISCHARGE Q-Zaltb_waqVuren				
619	1850	101	0.0700	2.5	# zaltbommel - vuren
619	3000	101	0.1072	2.5	
619	7450	101	0.1086	2.5	
#-----					
620	DISCHARGE Q-VurenHardxv_waq				
620	1850	101	0.0131	2.5	# vuren - hardinkxveld
620	3000	101	0.0659	2.5	
620	7450	101	0.1355	2.5	
#-----					
#					
# PANNERDENSCH KANAAL					
#					
#-----					
631	DISCHARGE Q-PannkopIjsselkop				
631	850	101	0.0171	2.5	# pankop - pannerden
631	1450	101	0.0013	2.5	
631	4250	101	0.1028	2.5	
#-----					
632	DISCHARGE Q-PannkopIjsselkop				
632	850	101	0.0171	2.5	# pannerden - looveer
632	1450	101	0.0013	2.5	
632	4250	101	0.1028	2.5	
#-----					
633	DISCHARGE Q-PannkopIjsselkop				
633	850	101	0.0171	2.5	# looveer - ijsselkop
633	1450	101	0.0013	2.5	
633	4250	101	0.1028	2.5	
#-----					
#					
# NEDERRIJN - LEK					
#					
#-----					
634	DISCHARGE Q-IjsselkopDrielbo				
634	475	101	0.0841	2.5	# ijsselkop - arnhem
634	850	101	0.1686	2.5	
634	2500	101	0.0846	2.5	
#-----					
635	DISCHARGE Q-IjsselkopDrielbo				
635	475	101	0.0841	2.5	# arnhem - drielbov
635	850	101	0.1686	2.5	
635	2500	101	0.0846	2.5	
#-----					
636	DISCHARGE Q-DrielbovDrielben				
636	475	101	0.0941	2.5	# drielbov - drielben
636	850	101	0.0780	2.5	
636	2500	101	0.5088	2.5	
#-----					
637	DISCHARGE Q-DrielbeAmerongbo				
637	475	101	0.0152	2.5	# drielben - grebbe
637	850	101	0.0494	2.5	
637	2500	101	0.1551	2.5	
#-----					
638	DISCHARGE Q-DrielbeAmerongbo				
638	475	101	0.0152	2.5	# grebbe - amerongenbov
638	850	101	0.0494	2.5	
638	2500	101	0.1551	2.5	
#-----					
639	DISCHARGE Q-AmeronbeCulmbbrg				
639	475	101	0.0131	2.5	# amerongenbov - amerongenben
639	850	101	0.0179	2.5	
639	2500	101	0.0010	2.5	
#-----					
640	DISCHARGE Q-AmeronbeCulmbbrg				
640	475	101	0.0131	2.5	# amerongenben - culemborg
640	850	101	0.0620	2.5	

```

640 2500 101 0.2329 2.5
#-----
641 DISCHARGE Q-CuImbbrgHagestbo
641 475 101 0.0010 2.5 # culemborg - hagesteinbov
641 850 101 0.0458 2.5
641 2500 101 0.0653 2.5
#-----
642 DISCHARGE Q-CuImbbrgHagestbo
642 475 101 0.0090 2.5 # hagesteinbov - hagesteinben
642 850 101 0.0018 2.5
642 2500 101 0.0010 2.5
#-----
643 DISCHARGE Q-HagestbeSchoonh
643 475 101 0.0090 2.5 # hagesteinben - schoonhoven
643 850 101 0.0225 2.5
643 2500 101 0.0928 2.5
#-----
644 DISCHARGE Q-SchoonhKrimpapLk
644 475 101 0.0250 2.5 # schoonhoven - krimpenadlek
644 800 101 0.0140 2.5
644 2400 101 0.0382 2.5
#=====
#
# IJSSEL
#
#=====
651 DISCHARGE Q-IJsselkpDoesbbrg
651 370 101 0.0109 2.5 # ijsselkop - westervoort
651 625 101 0.0050 2.5
651 1780 101 0.0793 2.5
#-----
652 DISCHARGE Q-IJsselkpDoesbbrg
652 370 101 0.0109 2.5 # westervoort - de steeg
652 625 101 0.0050 2.5
652 1780 101 0.0793 2.5
#-----
653 DISCHARGE Q-IJsselkpDoesbbrg
653 370 101 0.0109 2.5 # de steeg - doesburg
653 625 101 0.0050 2.5
653 1780 101 0.0793 2.5
#-----
654 DISCHARGE Q-DoesbbrgZutphen
654 400 101 0.0562 2.5 # doesburg - zutphen
654 675 101 0.0060 2.5
654 1850 101 0.1669 2.5
#-----
655 DISCHARGE Q-ZutphenOlst
655 400 101 0.0848 2.5 # zutphen - eefde beneden
655 675 101 0.0222 2.5
655 1850 101 0.0555 2.5
#-----
656 DISCHARGE Q-ZutphenOlst
656 400 101 0.0848 2.5 # eefde beneden - deventer
656 675 101 0.0222 2.5
656 1850 101 0.0555 2.5
#-----
657 DISCHARGE Q-ZutphenOlst
657 400 101 0.0848 2.5 # deventer - olst
657 675 101 0.0222 2.5
657 1850 101 0.0555 2.5
#-----
658 DISCHARGE Q-OlstKaterveer
658 440 101 0.0612 2.5 # olst - wijhe
658 730 101 0.0223 2.5
658 1900 101 0.0527 2.5
#-----
659 DISCHARGE Q-OlstKaterveer
659 440 101 0.0612 2.5 # wijhe - katerveer
659 730 101 0.0223 2.5
659 1900 101 0.0527 2.5
#-----
660 DISCHARGE Q-KatervrKampnbohv
660 440 101 0.0353 2.5 # katerveer - kampen
660 730 101 0.0273 2.5
660 1900 101 0.0285 2.5
#-----
661 DISCHARGE Q-KatervrKampnbohv
661 440 101 0.0051 2.5 # kampen - keteldiep
661 730 101 0.0139 2.5
661 1900 101 0.0182 2.5
#-----
662 DISCHARGE Q-KampnbohvKamprhk
662 440 101 0.0051 2.5 # keteldiep - eindeijssel
662 730 101 0.0139 2.5
662 1900 101 0.0182 2.5
#=====
#
# vaste lagen en bodemkribben
#
#=====
671 DISCHARGE Q-PannkopNijmegen
671 1850 101 0.0628 2.5 # binnenbocht vaste laag Nijmegen, alfa = 1.05 * alfa traject 614
671 3000 101 0.0641 2.5

```

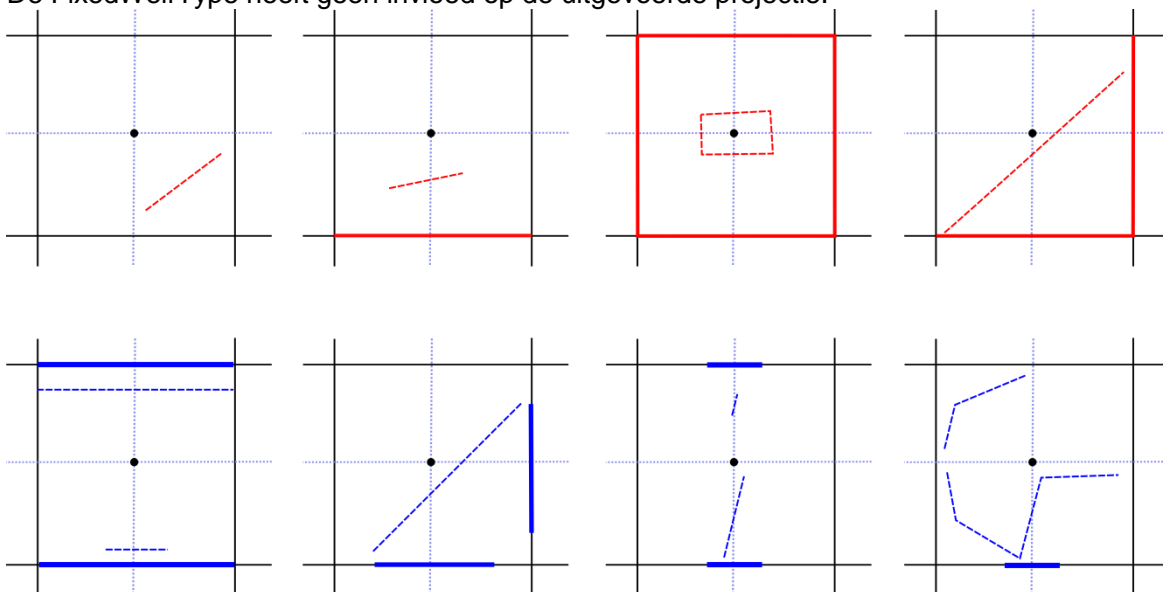
```

671 7450 101 0.0830 2.5
#-----
672 DISCHARGE Q-TielwIzaltb_waq
672 1850 101 0.1295 2.5 # binnenbocht vaste laag St. Andries, alfa = 1.37 * alfa traject 617
672 3000 101 0.1495 2.5
672 7450 101 0.1222 2.5
#-----
673 DISCHARGE Q-PannkopNijmegen
673 1850 101 0.0759 2.5 # binnenbocht bodem kribben Erlecom, alfa = 1.27 * alfa traject 613
673 3000 101 0.0776 2.5
673 7450 101 0.1003 2.5
#
#=====
#
# Einde roughcombination
#
#=====
    
```

A.4 Projectie van subgrid overlaten en hoogwatervrije lijnen in D-HYDRO

In de onderstaande figuur wordt voor een achttal situaties, 1 grid cel weergegeven met vier flow links naar nabijgelegen cellen. De bovenste vier figuren geven aan hoe een ongeprojecteerde hoogwatervrijelij (thin dam) wordt geprojecteerd op de flow celwand (edge), de onderste vier figuren geven aan hoe een ongeprojecteerde overlaat (fixed weir) op het rooster wordt geprojecteerd. De getekende breedte van de geprojecteerd overlaat geeft de breedte van de overlaat aan in verhouding tot de celbreedte.

De FixedWeirType heeft geen invloed op de uitgevoerde projectie.



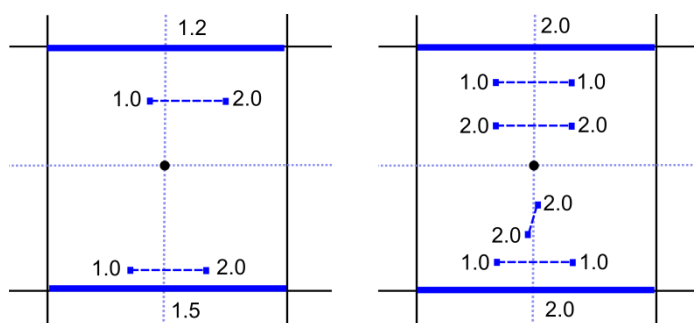
- Flow link
- Thin dam
- Projected thin dam
- Fixed weir
- Projected fixed weir

De breedte (w_u) van een overlaat (fixed weir) enkel bepaald door de hoek (α) tussen de overlaat en de flow link.

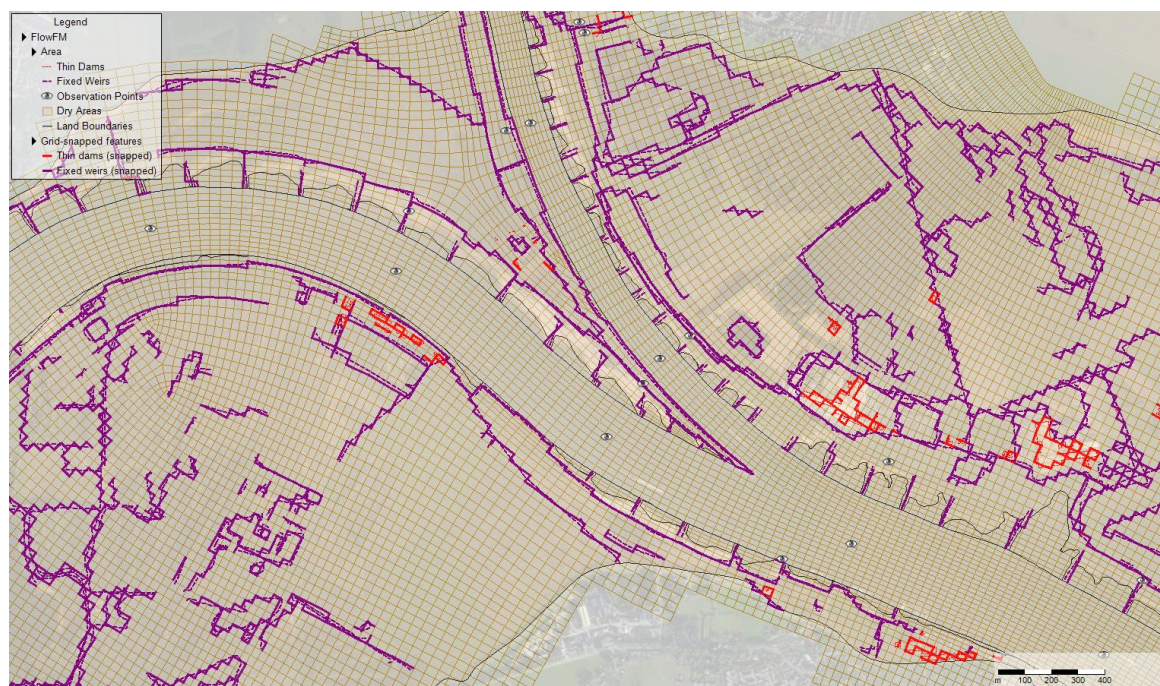
$$w_u = \cos(90 - \alpha) \cdot edgewidth$$

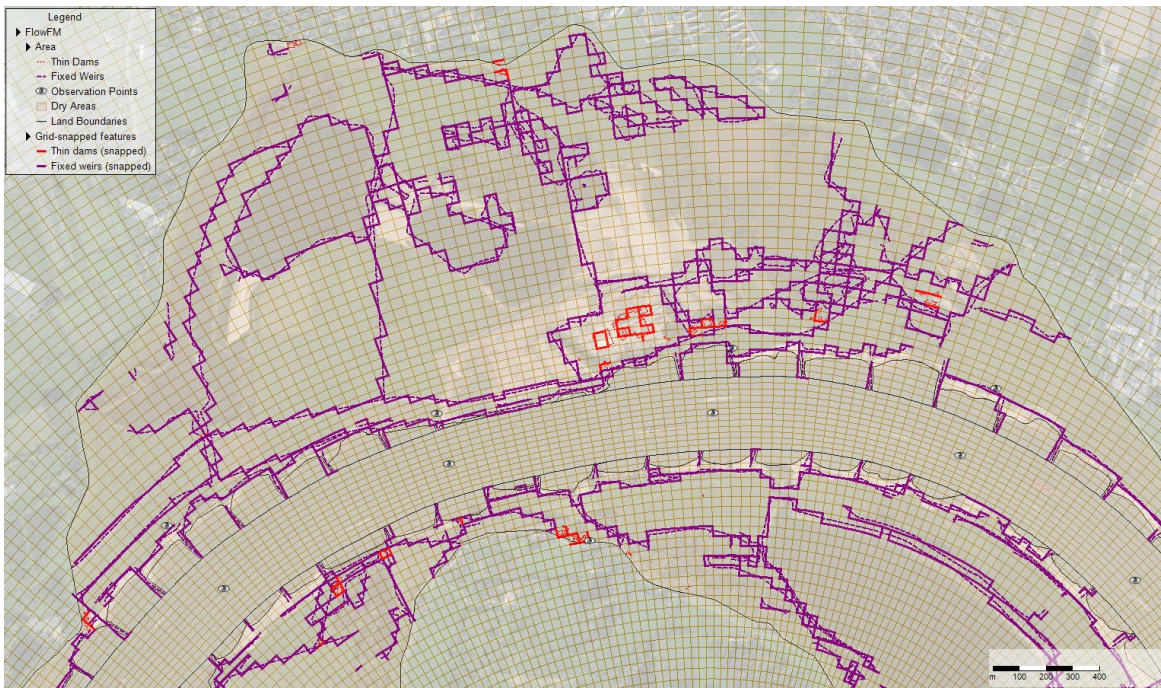
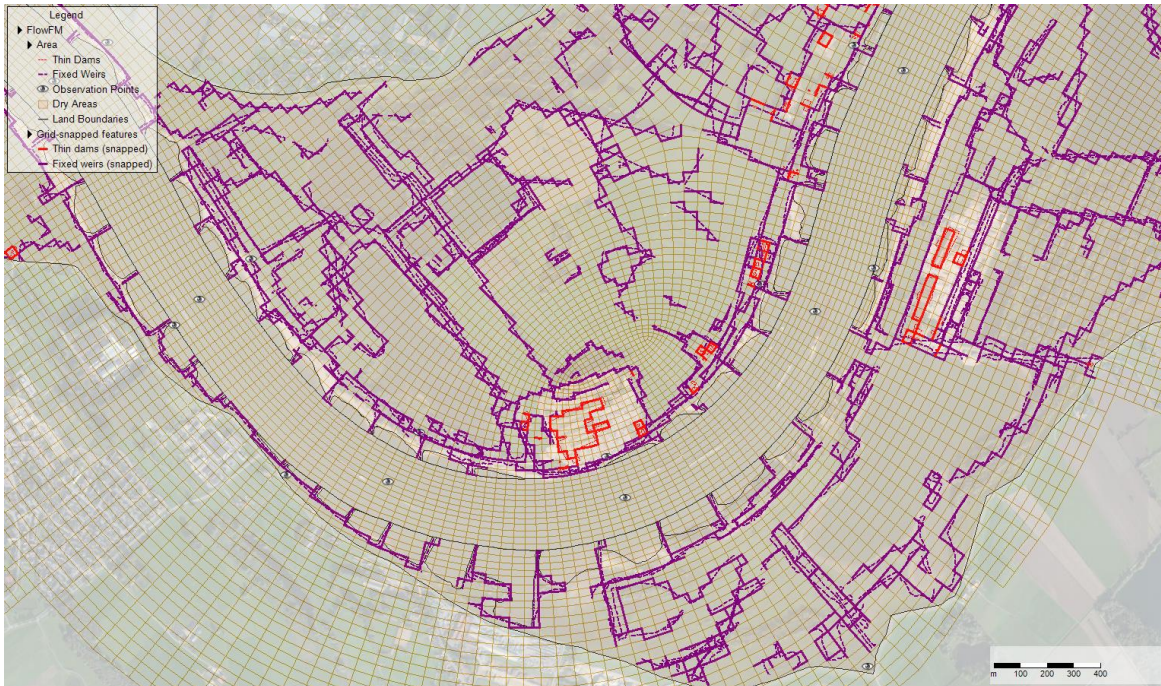
In onderstaande afbeelding staat ook uitgewerkt hoe de hoogte wordt overgenomen in de geprojecteerde overlaat. Hierbij gelden de volgende regels:

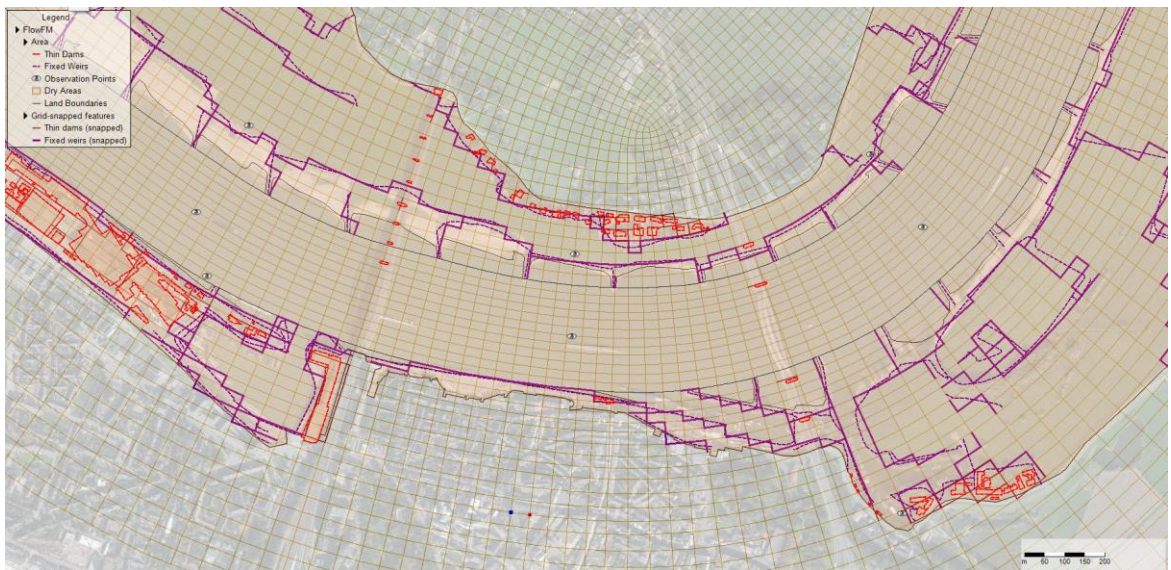
- De hoogte is een gewogen gemiddelde op de locatie waar de flow link doorsneden wordt.
- Indien meerdere overlaten de lijn doorkruizen:
 - Van de diverse hoogtes van de overlaten wordt de maximale hoogte gekozen
 - Van de diverse breedtes van de overlaten wordt de maximale breedte gekozen



A.5 Voorbeeldfiguren projectie

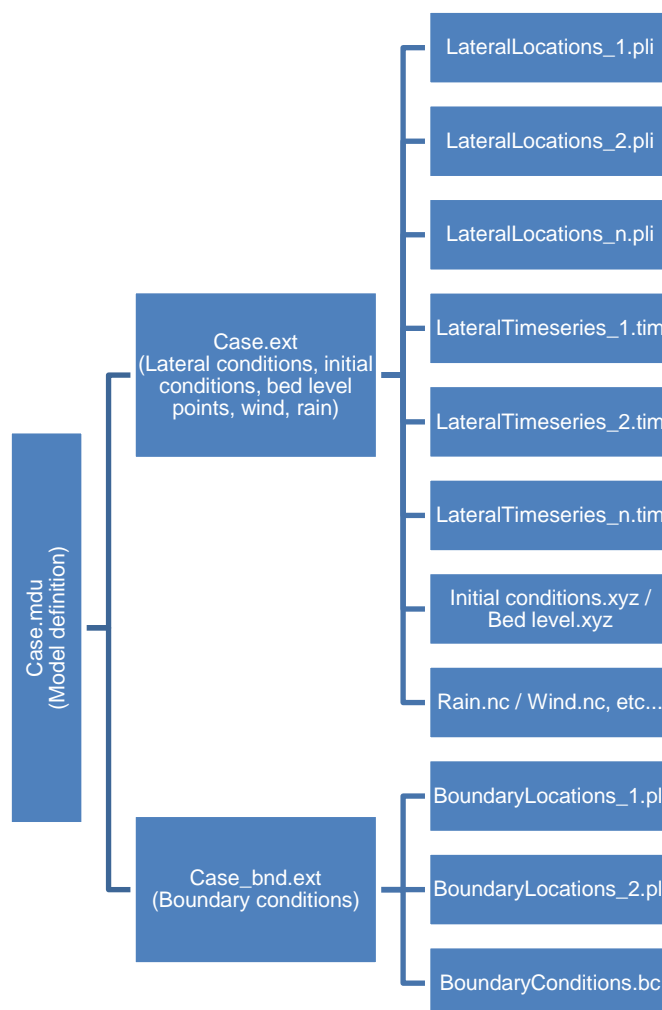






B Mapindeling

De padverwijzingen randvoorwaarden zijn als volgt gedefinieerd in D-HYDRO:



Voor de bestandsindeling is rekening gehouden met zowel Deltashell als Linux-berekeningen. Dit zorgt voor de volgende beperkingen:

1. De .mdu- en de .ext-bestanden moeten momenteel nog in dezelfde map geplaatst worden
2. Het .mdu-bestand dient op het hoogste niveau geplaatst te worden om de mappenstructuur te behouden na het uitvoeren van een berekening.
3. Alle case-specifieke bestanden krijgen de naam van de case (mdu-, ext- en uitvoerbestanden)

Tabel B.1 Voorbeeld van de mapstructuur. (NU)

Bestandsnaam	Beschrijving
/#case#.mdu	
/baseline /initial_wl_#model#	
/baseline /#model#_dry_areas.pol	
/baseline /#model#_fixed_weirs.pliz	
/baseline /#model#_landboundaries.ldb	
/baseline /#model#_laterals.pli	
/baseline /#model#_observation_points.xyn	
/baseline /#model#_thin_dams.pli	
/baseline /#model#_thracytopes.pli	
/baseline /#model#_weirs_gates.pli	
/baseline /pilot_2016_Rijn_v01_net.nc	
/invoer /faceCenters.xyz	Bed level at face centers
/invoer /Q_raaien.crs	
/invoer /roughcombination-general_rijn-2015_5-v1.ttd	
/#case#.ext	
/#case#_bnd.ext	
/randvw /#case# *.pli	Boundary Condition Locations
/randvw /#case# BC.bc	
/randvw /#case# *.pli	Lateral Condition Locations
/randvw /#case# *.tim	Lateral Condition Time series
/resultaten	

Tabel B.2 Voorbeeld van de mapstructuur. #case# = 'HW1995'; #model# = 'j95_5-v1' (Gewenst)

Bestandsnaam	Beschrijving
/#case#.mdu	
/baseline /initial_wl_#model#	
/baseline /#model#_dry_areas.pol	
/baseline /#model#_fixed_weirs.pliz	
/baseline /#model#_landboundaries.ldb	
/baseline /#model#_laterals.pli	
/baseline /#model#_observation_points.xyn	
/baseline /#model#_thin_dams.pli	
/baseline /#model#_thracytopes.pli	
/baseline /#model#_weirs_gates.pli	
/baseline /pilot_2016_Rijn_v01_net.nc	
/invoer /faceCenters.xyz	Bed level at face centers
/invoer /Q_raaien.crs	
/invoer /roughcombination-general_rijn-2015_5-v1.ttd	
/#case#.ext	
/#case#_bnd.ext	
/randvw /#case# *.pli	Boundary Condition Locations
/randvw /#case# BC.bc	
/randvw /#case# *.pli	Lateral Condition Locations
/randvw /#case# *.tim	Lateral Condition Time series
/resultaten	

Functionality required:

- Load multiple files per tag in mdu
- Combine lateral locations into one pli
- Combine boundary locations into one pli
- Get lateral conditions in the .bc file
- File paths in .ext should be relative to .ext file
- Face center bed level in different file (?)

C Rekenrooster van het D-Flow FM model voor de 2016 Rijn Pilot

Deze tekst beschrijft de roostergeneratie voor het 2016 pilot project voor de Rijn. Het domein omvat:

- de Bovenrijn vanaf de Duitse grens tot de Pannerdensche kop,
- de Waal vanaf de Pannerdensche kop tot de Merwedekop,
- het Pannerdensch kanaal,
- de Nederrijn tot de stuw bij Driel, en
- de IJssel tot Doesburg.

Het gebied is verdeeld in een zomerbed en een winterbed. De begrenzing van beide gebieden zijn goed gedefinieerd met wat in D-Flow FM terminologie een landgrens heet.

De roostergeneratie is uitgevoerd met het D-Flow FM ontwikkelingsinterface, versie 1.1.192.47947.

C.1 Criteria

De eisen aan het rooster zijn als volgt:

- zomerbed:
 - rooster is curvilineair en uitgelijnd met de begrenzing van het zomerbed,
 - een resolutie van 40 meter in stromingsrichting,
 - ten minste acht roostercellen in dwarsrichting, en maximaal 20 tot 30 meter resolutie.
- winterbed:
 - zo min mogelijk driehoekige cellen,
 - rooster aansluitend op de begrenzing met het zomerbed,
 - rooster niet noodzakelijkerwijs aansluitend op de andere begrenzingen, maar wel het gehele winterbed bedekkend,
 - roosterresolutie van ten hoogste 40 meter dwars op het zomerbed,
 - gelijkmatige overgang van het zomerbed naar het winterbed.

Bovendien moet het rooster overal orthogonaal en voldoende glad zijn.

Met deze criteria is het rooster in het zomerbed uitgelijnd met de dominante stromingsrichting om numerieke fouten te minimaliseren. Bovendien worden minstens acht cellen in dwarsrichting, en maximaal 20 tot 30 meter resolutie voldoende geacht om de variaties in die richting voldoende nauwkeurig te representeren.

In het winterbed is geen dominante stromingsrichting en uitlijnen om die reden onmogelijk. De eis om geen driehoeken te gebruiken komt voort uit het vermoeden dat de numerieke fouten op een regelmatig gestructureerd rooster kleiner zijn dan op een rooster van driehoeken. De vraag is of dit een verdedigbare stelling is en of ze in alle gevallen opgaat. Vanuit praktisch oogpunt kan wel opgemerkt worden dat de roostergeneratie profijt heeft van deze keuze, aangezien de verschillende roostergeneratie technieken beter toegesneden zijn op gestructureerde roosters. Denk hierbij aan het aanwijzen van roosterlijnen en het manipuleren, bijvoorbeeld verplaatsen en invoegen, hiervan.

Een tweede voordeel van het curvilineaire rooster in het winterbed is dat een geleidelijke overgang vanuit het zomerbed makkelijker te realiseren is (de gladheidseis). Het aansluitende rooster in het winterbed kan exponentieel groeiend in één richting gemaakt worden. Dit is met driehoeken lastiger, aangezien deze moeilijker in slechts één richting te verfijnen zijn en tegelijkertijd orthogonaal blijven.

De orthogonaliteits- en gladheidseisen komen voort uit de discretisaties toegepast in het rekenschema van D-Flow FM. Orthogonaliteit zou strikt gehandhaafd moeten worden en de gladheid van het rooster vermindert numerieke fouten.

C.2 Opzet van het rooster

Het rooster in het zomerbed is curvilineair. De cellen zijn 40 meter lang in stromingsrichting en in dwarsrichting uniform verdeeld, met:

- 12 cellen breed in de Waal,
- 20 cellen breed in de Bovenrijn,
- 8 cellen breed in het Pannerdensch kanaal, de IJssel en de Nederrijn.

We schatten de volgende typische breedtes in het zomerbed:

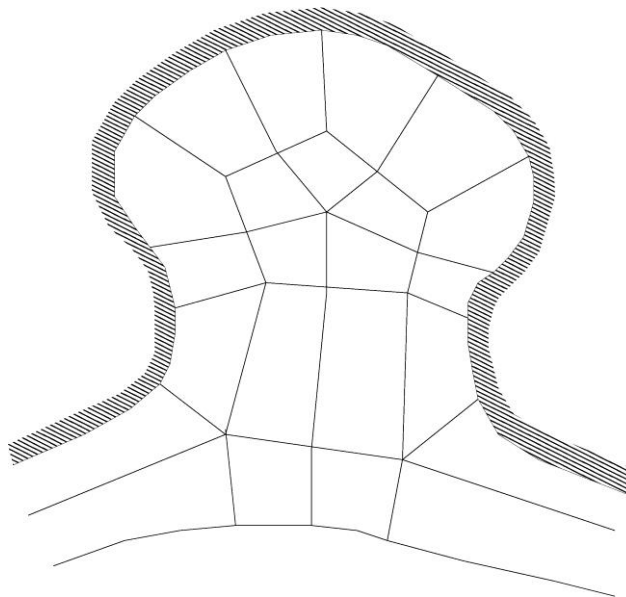
- Waal: 300 m, 12 cellen van 25 meter,
- Bovenrijn: 340, 20 cellen van 17 meter,
- Pannerdensch kanaal: 140 m, 8 cellen van 17 meter,
- IJssel: 80 meter, 8 cellen van 10 meter,
- Nederrijn: 120 m, 8 cellen van 15 meter.

Bij de Pannerdensch kop sluiten de roosterlijnen aan bij de splitsing. Bij de IJsselkop daarentegen niet. Daarom is rooster ter plekke verfijnd in dwarsrichting, waar bij de verfijning vierentwintig driehoeken geïntroduceerd zijn in het zomerbed.

Het rooster in het winterbed is, zoals al vermeld, ook curvilineair en de overgang met het winterbed kan geleidelijk gemaakt worden door de roosterpunten dwars op de begrenzing met het zomerbed exponentieel te verdelen. Het streven is om de groeifactor rond de 1.05 te laten zijn. Zie een opmerking hierover onderaan deze tekst.

Aan de binnenzijde van een sterk gekromde bocht is het niet mogelijk om een orthogonaal curvilineair rooster te maken. Daarom passen we daar een "multi-block" aanpak toe, waarbij we werken met meerdere ("multi") blokken ("block") van curvilineair rooster. Zie de bijgevoegde figuur voor een voorbeeld van een blokindeling.

Een eerste onderzoek naar het effect van driehoekige tot vierhoekige grid cellen is gegeven in Platzek & Patzwahl (2015a).



Figuur C.1 Voorbeeld van een multi-block indeling in het winterbed bij een sterk gekromd zomerbed (gearceerd)

Bij de splitsingen bij de Pannerdenschekop en de IJsselkop is gebruikt gemaakt van driehoeken om het winterbed te vullen.

In het winterbed conformeert het rooster zich alleen aan de begrenzing met het zomerbed en niet aan de overige begrenzingen. Het is wel voldoende uitgestrekt om het hele winterbed te bedekken.

C.3 Uitvoering

Omdat het rooster voor een groot deel curvilineair is, of uit curvilineaire blokken bestaat, is het mogelijk om het rooster eerst met een lagere resolutie te maken en daarna te verfijnen en daarbij de structuur van het rooster te behouden. Alle roosteroperaties zijn makkelijker en sneller uit te voeren op een grover rooster.

In D-Flow FM is er onderscheid tussen een curvilineair rooster, wat "curvilineair grid" of "grid" genoemd wordt, en een ongestructureerd rooster, wat "netwerk" genoemd wordt. We zullen in onze stappen aangeven op welke van de twee de operaties uitgevoerd worden en wanneer we converteren van het ene naar het andere type.

Als uitgangspunt nemen we de begrenzingen van het zomerbed als "landgrens". Hierin zullen we een curvilineair grid maken. Vervolgens creëren we een curvilineair grid vanuit het zomerbed. De gebieden waar het curvilineaire grid niet toereikend was worden verwijderd en handmatig aangepast met een "multi-block" tactiek. Vervolgens wordt het rooster georthogonaliseerd en gesmoothed. Dit wordt herhaald voor alle delen (rivieren) die handmatig verbonden worden. Hierna wordt het rooster tweemaal verfijnd en georthogonaliseerd/gesmoothed, en worden na elke verfijning en orthogonalisatie/smoothing lokale aanpassingen gepleegd en reparaties uitgevoerd (zie hieronder).

De stappen gaan als volgt:

- 1 We starten met het genereren van een curvilineair grid in het zomerbed van de Waal op grove resolutie. Dit betekent cellen van 160 meter in stromingsrichting en 3 cellen in dwarsrichting. Dit kan met behulp van "grow grid from spline" of door een bestaand curvilineair grid te vergroven tot de gewenste afmetingen. In het eerste geval is een spline geplaatst precies in het midden van het zomerbed.
- 2 Het curvilineaire grid wordt geconverteerd naar een "netwerk" voor verdere bewerking.
- 3 Het netwerk wordt aan de landgrenzen geconformeerd door te het orthogonaliseren/smoothen en tegelijkertijd de netwerk randen naar de landgrenzen te projecteren.
- 4 Vervolgens wordt een exponentieel grid "gegroeid" uit de randen van het zomerbed netwerk, waarbij de groeifactor afgestemd wordt op het grove rooster en het aantal lagen op de te bereiken aspect ratio van "1". Voor het uiteindelijke fijne rooster is de gewenste groeifactor 1.05. De breedte van de eerste laag is conform die in het zomerbed, dus ongeveer 80 meter (grof), en het aantal exponentieel groeiende lagen is dan 3 (grof). De groeifactor in het grove rooster wordt 1.17, wat correspondeert in het fijne rooster met een groeifactor van $(1.17)^{(1/4)} = 1.04$.
- 5 Het exponentieel groeiende curvilineaire grid in het winterbed wordt geconverteerd naar en toegevoegd aan het bestaande netwerk.
- 6 Uit de randen van het netwerk wordt met een groeifactor van "1" en een grid breedte van 160 m (grof) het restant van het winterbed grid gegroeid.
- 7 Het curvilineaire grid wordt geconverteerd naar en toegevoegd aan het netwerk.
- 8 De stukken netwerk met snijdende roosterlijnen of kleine cellen wordt verwijderd.
- 9 In de delen waar het netwerk verwijderd is, wordt een multi-block indeling uitgedacht en *met de hand* aangebracht. Dit is een arbeidsintensief proces.
- 10 De handmatig aangebrachte stukken netwerk worden georthogonaliseerd en gesmoothed door alleen het desbetreffende stuk netwerk te selecteren.
- 11 Het nadeel van het orthogonaliseren/smoothen is dat, hoewel de roosterlijnen op de landgrens blijven geprojecteerd, de exponentieel groeiende laag ongedaan kan worden. Daarom worden artificiële landgrenzen aangemaakt, vanuit splines, om roosterlijnen te forceren. Dit is een arbeidsintensief proces.
- 12 Het gehele rooster wordt in delen georthogonaliseerd en gesmooth door steeds een deel van het rooster (in stromingsrichting) te selecteren. We streven naar een orthogonaliteits indicator van kleiner dan 0.1. We zorgen ervoor dat de roosterlijnen op de landgrenzen (de begrenzing van het zomerbed en de geforceerde roosterlijnen) geprojecteerd worden.
- 13 De stappen 1 tot en met 12 worden herhaald en zo nodig aangepast voor de andere delen, namelijk het Pannerdensch kanaal, de IJssel, de Nederrijn en de Bovenrijn.
- 14 De splitsingspunten worden aangesloten met driehoeken bij de IJsselkop zoals hierboven vermeld. In het winterbed worden waar nodig driehoeken gebruikt.
- 15 Het rooster wordt één maal verfijnd. De resolutie in stromingsrichting is nu 80 meter. Deze verfijning verstoort de exponentieel groeiende laag in het winterbed, aangezien het geen rekening houdt met het exponentiële karakter van het rooster.
- 16 Het rooster wordt, weer in delen, georthogonaliseerd en gesmoothed.
- 17 Het smoothen zal roosterlijnen die niet (artificieel) geforceerd zijn verplaatsen en mogelijk de exponentieel groeiende laag ongunstig beïnvloeden. Wanneer de overgang zomerbed-winterbed te zeer verstoord is, kunnen er extra roosterlijnen langs de begrenzing met het zomerbed ingevoegd en gesmoothed worden. Dit is een arbeidsintensief proces.
- 18 De splitsingspunten worden handmatig aangepast.
- 19 Het rooster wordt nogmaals verfijnd tot de uiteindelijke resolutie van 40 meter in stromingsrichting in het zomerbed.
- 20 De stappen 16 tot en met 18 worden herhaald.

- 21 Bij de splitsing bij de Pannerdensche kop wordt gezorgd dat de roostercel aspect ratio niet groter is dan 4 (of kleiner dan 1/4). Het is noodzakelijk om extra roosterlijnen in dwarsrichting toe te voegen.
- 22 Wanneer de overgang zomerbed-winterbed te grof is, kan lokaal het netwerk geconverteerd worden naar een curvilineair grid. Wanneer er artificieel landgrenzen parallel aan de grens met het zomerbed gemaakt worden (met splines, via polygonen naar landgrenzen), kunnen gridlijnen gefixeerd worden met de specifieke grid operatie (in plaats van de netwerk operaties). Het voordeel hiervan is dat overige gridlijnen meeschuiven wat een eenvoudiger optie is dan het netwerk weer te smoothen.
- 23 Het rooster wordt met een steeds kleinere smoothings bijdrage georthogonaliseerd/gesmoothed. Dit weer in delen.

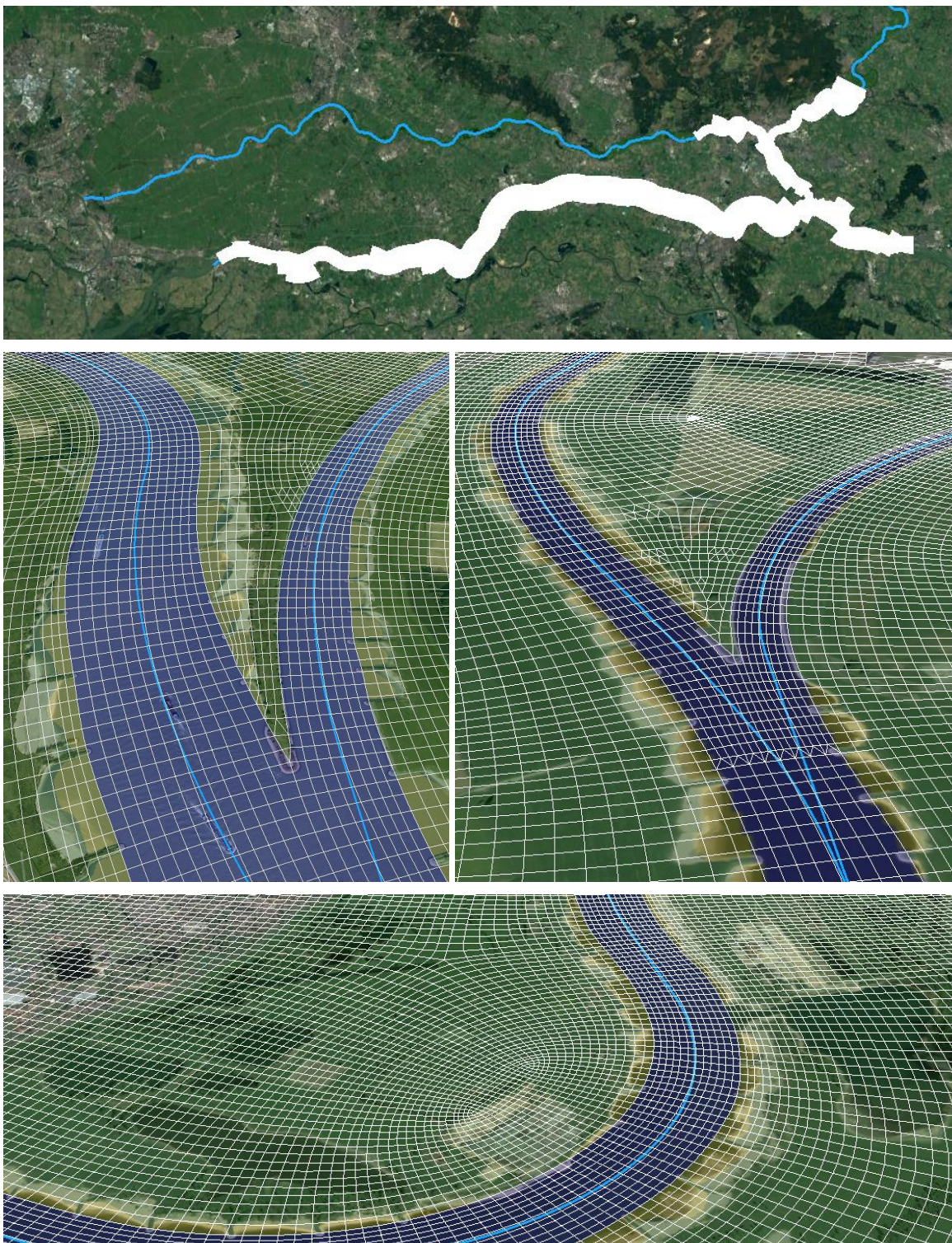
C.4 Opmerkingen

De drie grootste tekortkoming van de gebruikte roostergeneratie techniek zijn:

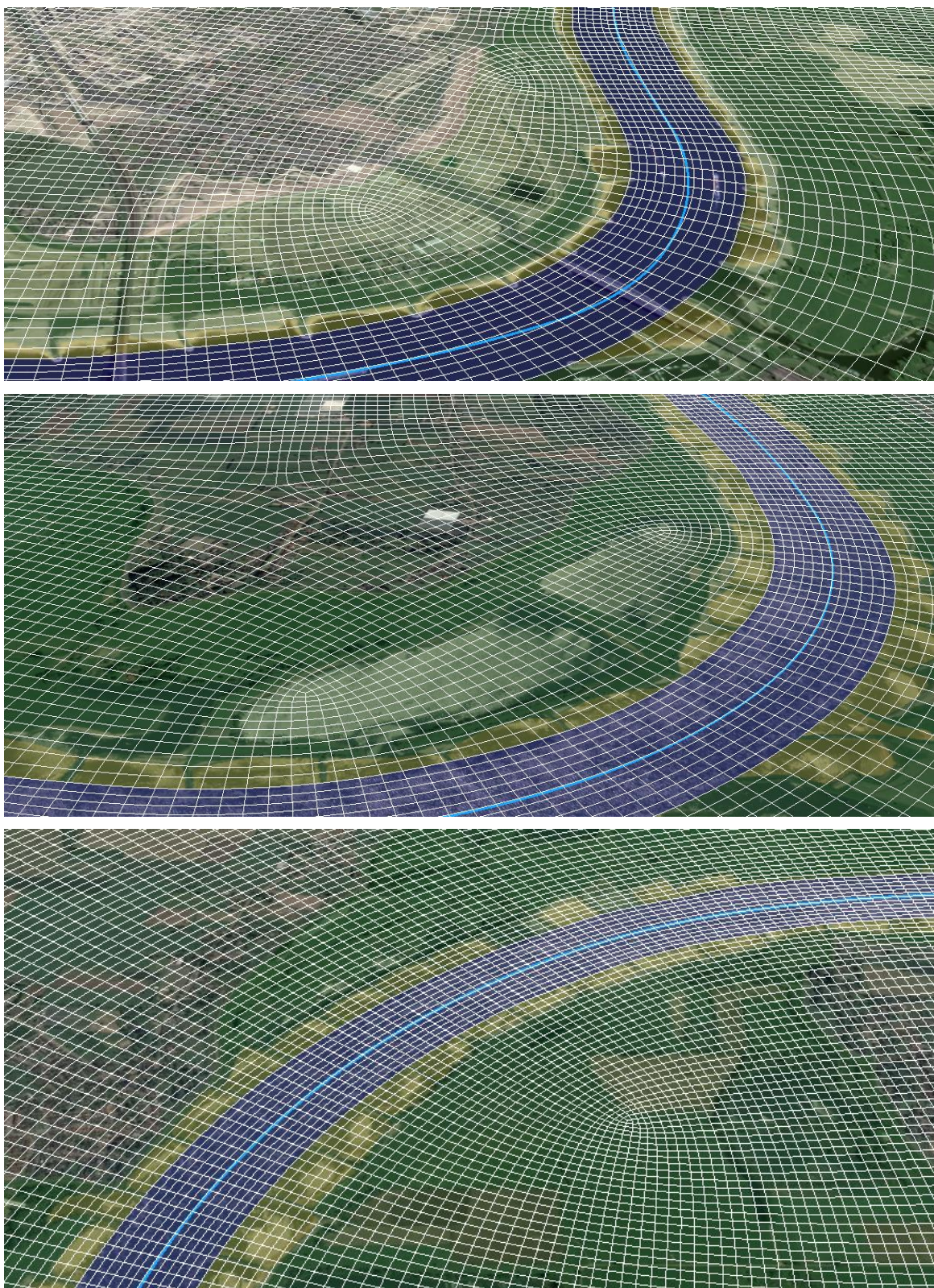
- het ongedaan maken door orthogonalisatie/smoothing van de met veel zorg aangebrachte exponentiële verdeling van roostercel afmetingen in het winterbed. Hierdoor kunnen aan weerszijde van een geforceerde roosterlijn (namelijk de begrenzing met het zomerbed) de roosterafmetingen loodrecht op die lijn te veel gaan verschillen. Dit was juist niet de bedoeling. Het voorkomen hiervan door meer landgrenzen te introduceren waarop roosterlijnen geforceerd worden is een arbeidsintensief proces,
- de roosterverfijning houdt geen rekening met exponentieel toenemende roosterafmetingen. In plaats daarvan worden de nieuwe roosterlijnen in het midden tussen twee oorspronkelijke geplaatst (meer precies worden de cel circumcenters verbonden). Hierdoor wordt geen continu groeiend rooster verkregen. Dit is in een "netwerk" moeilijk op te lossen, maar in een "curvilineair grid" is een betere verfijning waarschijnlijk wel te realiseren.
- het aanbrengen van de multi-block indeling is handwerk en arbeidsintensief.

C.5 Voorbeelden

In onderstaande afbeeldingen zijn enkele kenmerken van het rooster weergegeven.



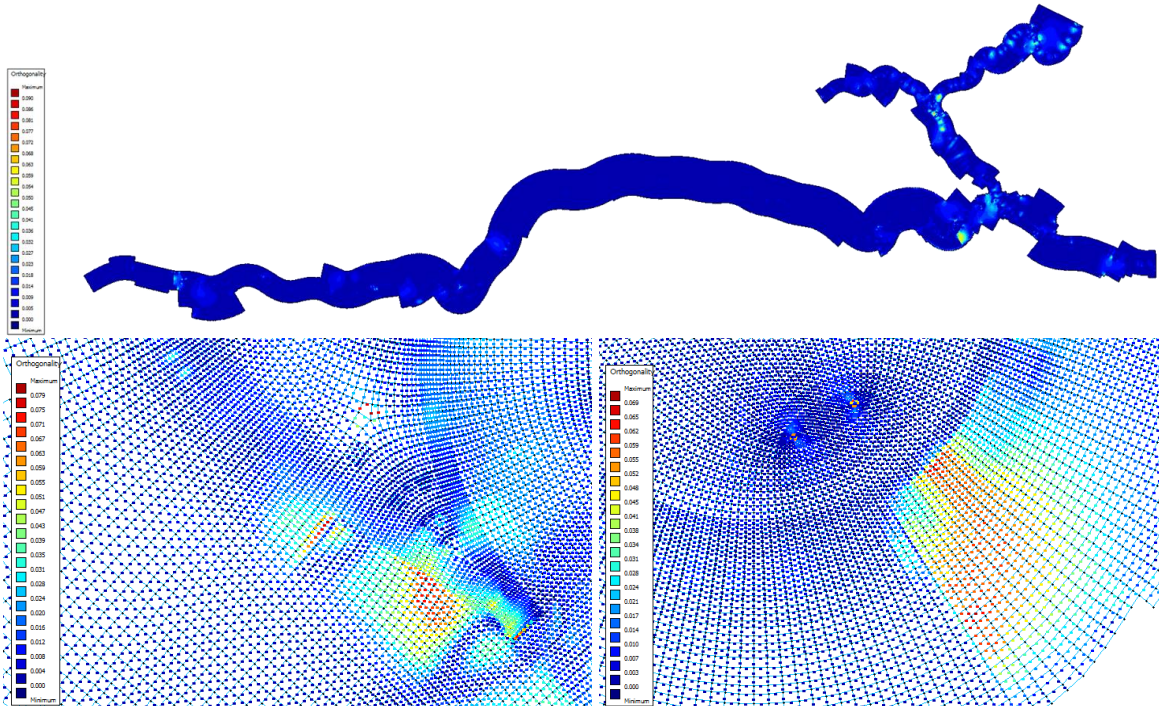
Figuur C.2 Boven: Gehele model; Midden links: Pannerdensche Kop; Midden rechts: IJsselkop; Onder: Bocht bij Erlecom



Figuur C.3 Boven: Bocht bij Nijmegen; Midden: Bocht St. Andries; Onder: Bocht bij Hurwenen

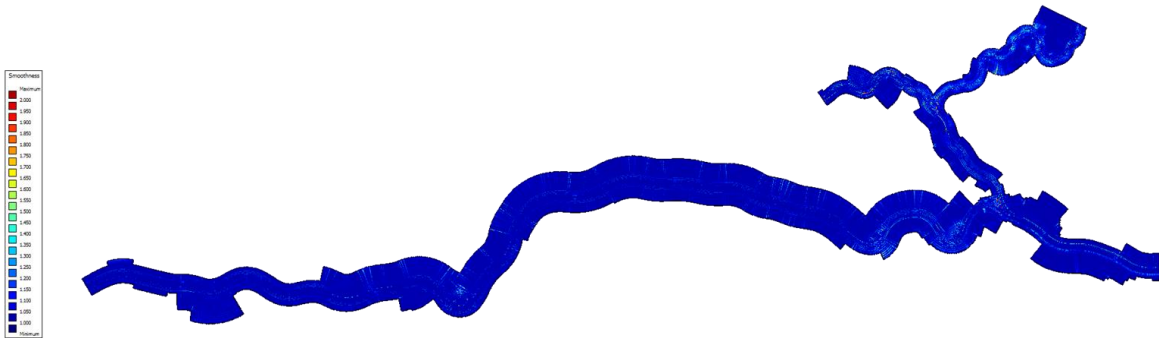
C.6 Orthogonaliteit

De schaal loopt in de drie afbeelding van 0 tot 0.090, 0 tot 0.079 en 0.069.



C.7 Smoothness

De schaal van 1 tot 2

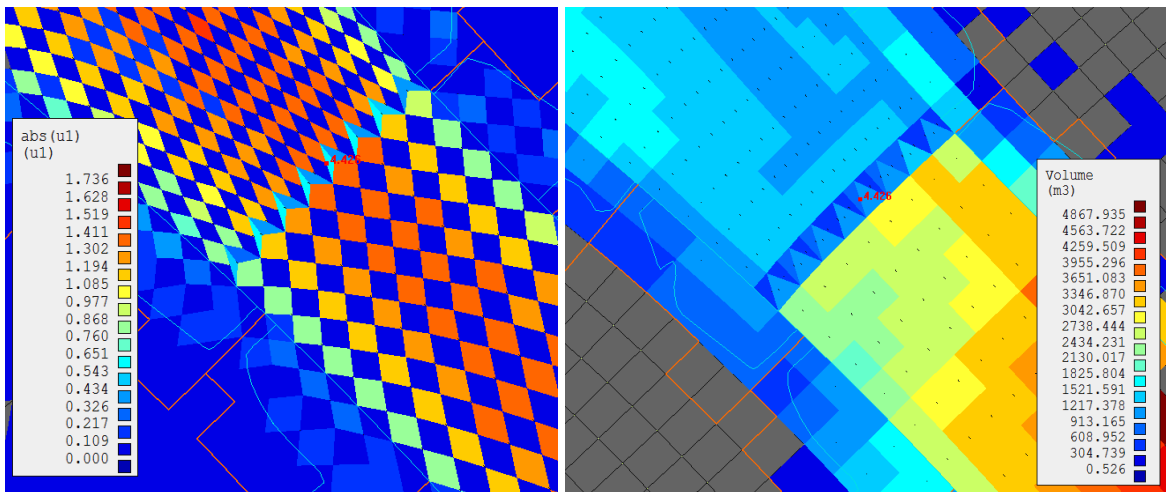
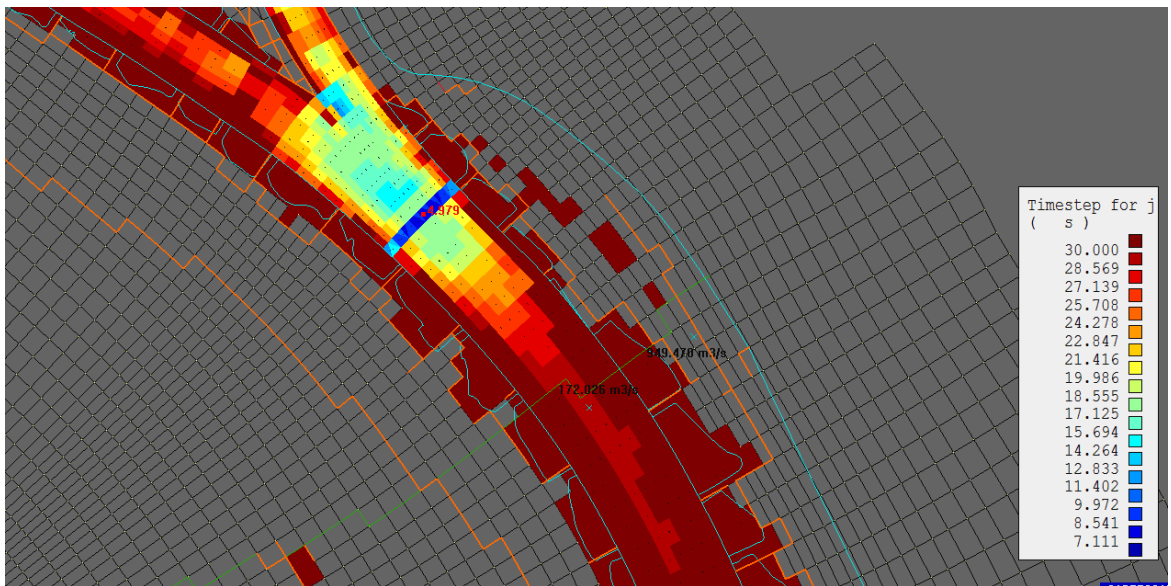


C.8 Limiterende tijdstap

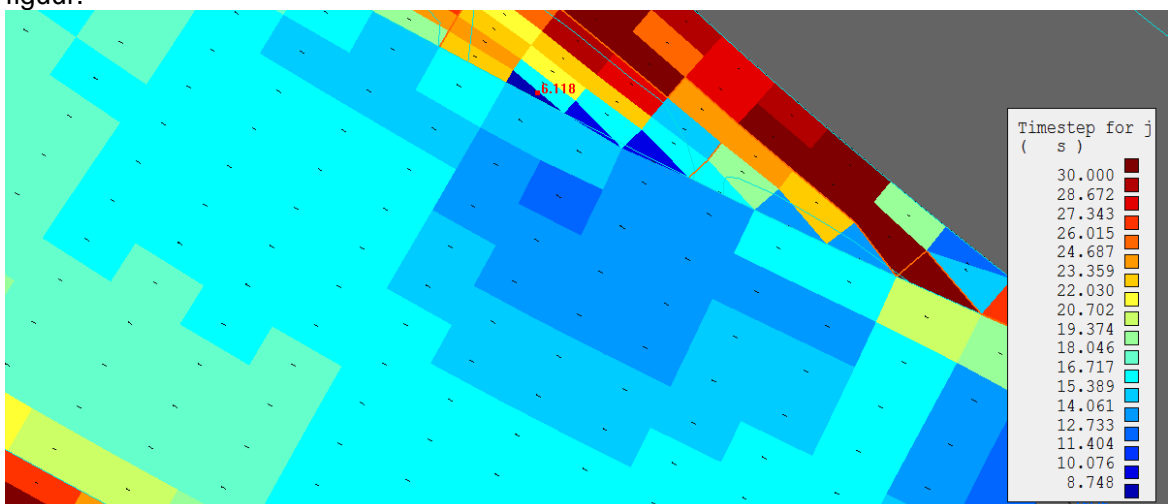
In onderstaande figuren is de parameter “timestep for jaautotimeste ≥ 1 ” gevisualiseerd op face centers. Deze geeft voor iedere grid cel aan de minimale rekentijdstap aan. De rekentijd van het model wordt bepaald door de laagste waarde.

Bij de analyse is gebruik gemaakt van de sequentiële simulatie. Uit de analyse blijkt dat voor vrijwel alle rekentijdstappen de verfijning nabij de IJsselkop de maatgevende tijdstap geeft. Door deze verfijning verder bovenstrooms te verplaatsen kan de rekentijd verbeterd worden.

Onderstaande figuren geven achtereenvolgens de rekentijdstap (s), de stroomsnelheid (m/s) en het volume in de grid cellen (m³).



Wanneer een simulatie wordt gedaan met enkel de Waal, dan zit de limitering bij de bovenstroomse randvoorwaarde op de Pannerdensch Kop, zoals te zien is in onderstaande figuur.



Wanneer gekeken wordt naar de minimale rekentijdstep per gridcel dan blijkt dat de waardes in het winterbed beduidend hoger zijn dan de waardes in het zomerbed. Voor een optimalisatie van de rekentijd hoeft dus enkele gekeken te worden naar het rooster in het zomerbed. Voor een op rekentijd geoptimaliseerd rooster kan de rekentijdstep toe nemen tot zeker 10 seconde.

D Modelresultaten onderzoeken

In deze bijlage zijn figuren opgenomen voor een groot deel van de uitgevoerde simulaties behorende bij Hoofdstuk 4. Iedere simulatie bevat de volgende verzameling aan figuren.

1. Figuren van de waterstand bij drie meetstations als functie van de tijd. Figuren bevatten een tijdserie van de waterstanden van de simulatie en de referentiesimulatie (linksboven); een tijdserie van de verschillen in waterstanden van de simulatie en de referentiesimulatie (linksonder), de waterstanden van de referentiesimulatie uitgezet tegen de waterstanden in de simulatie (rechtsboven) en enkele statistieken voor dit station (rechtsonder). De gekozen meetstations zijn:
 - a. Lobith, bovenstrooms op de Bovenrijn nabij rivierkilometer 862.
 - b. Nijmegen (haven), bovenstrooms op de Waal nabij rivierkilometer 885.
 - c. Zaltbommel, benedenstrooms op de Waal nabij rivierkilometer 935.
2. Een langsdoorsnede van de verandering gemiddelde waterstand van de 13 tijdstappen rondom de maximale waterstand (max13) en de verandering in het gemiddelde over de gehele periode (mean). De figuur laat achtereenvolgens de Bovenrijn, Waal, Pannerdensch Kanaal, Nederrijn en IJssel zien. De stippellijnen geven de waterstand van simulatie en referentiesimulatie; de doorgetrokken lijnen geven de verandering van de simulatie tot de referentiesimulatie. De langsdoorsnede is gebaseerd op de waterstand op rivierkilometer-stations en heeft dus een Δx van 1 km.
3. Een ruimtelijke weergave van de verandering in waterstand en absolute stroomsnelheid op 1 februari 1995, dit is ongeveer het moment van de maximale afvoer bij Emmerich.
4. Een schematische weergave van de verandering in tijd en ruimte op de Waal. Op de horizontale as staat de tijd, op de verticale as de locatie. De verandering tot de referentie is gegeven in een kleurschaal. Deze kleurschaal is niet vastgezet om zoveel mogelijk details te kunnen zien.
5. Een tabel met enkele statistieken over de gehele simulatie:
 - a. Verandering in de afvoer (m^3/s) op de diverse Rijntakken. Het percentage is uitgedrukt ten opzichte van het gemiddelde van de minimum en het maximum afvoer.
 - b. Verandering in de waterstand (m). Het percentage is uitgedrukt ten opzichte van het gemiddelde van de minimum en het maximum waterstand.
 - c. De gemiddelde rekentijdstep (s)
 - d. De totale rekentijd (s)

In sommige gevallen zijn niet alle plots aanwezig. Dit kan veroorzaakt worden door aanpassingen in het grid, of aanpassingen in de rekentijd. In die gevallen zijn de automatische plots niet gegenereerd of niet waardevol om toe te voegen.

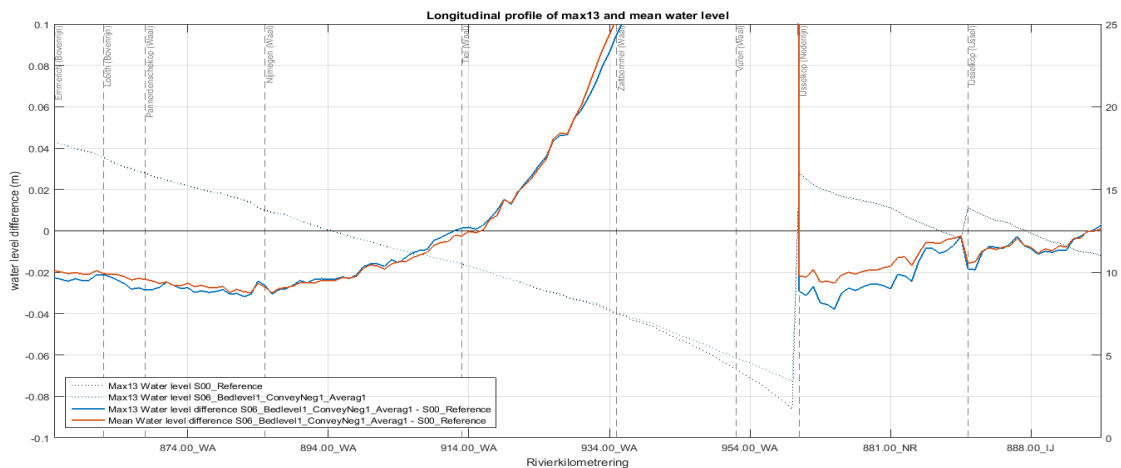
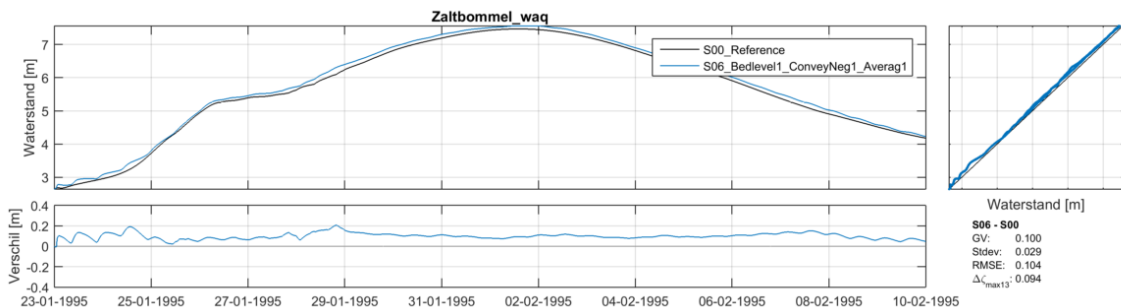
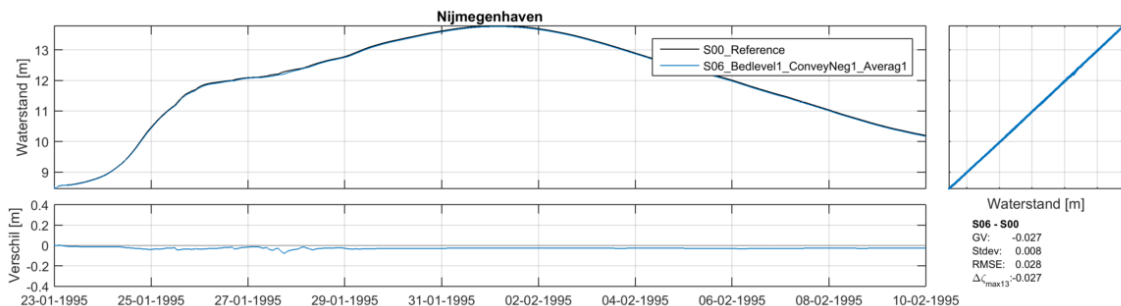
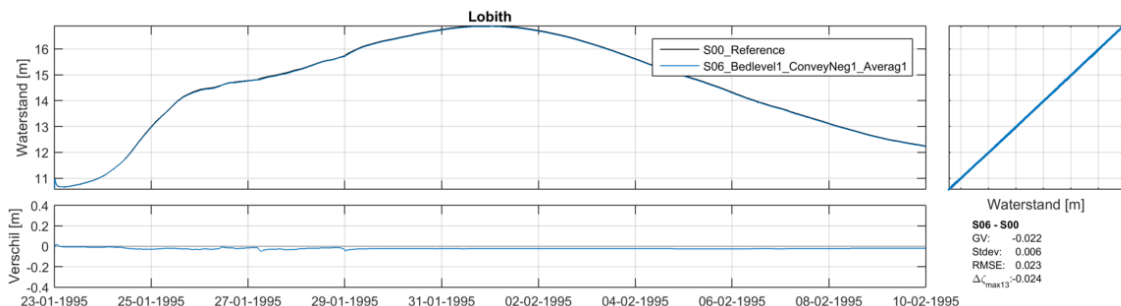
De deelhoofdstukken de volgorde hierin is gelijk aan Hoofdstuk 4 van het hoofdrapport.

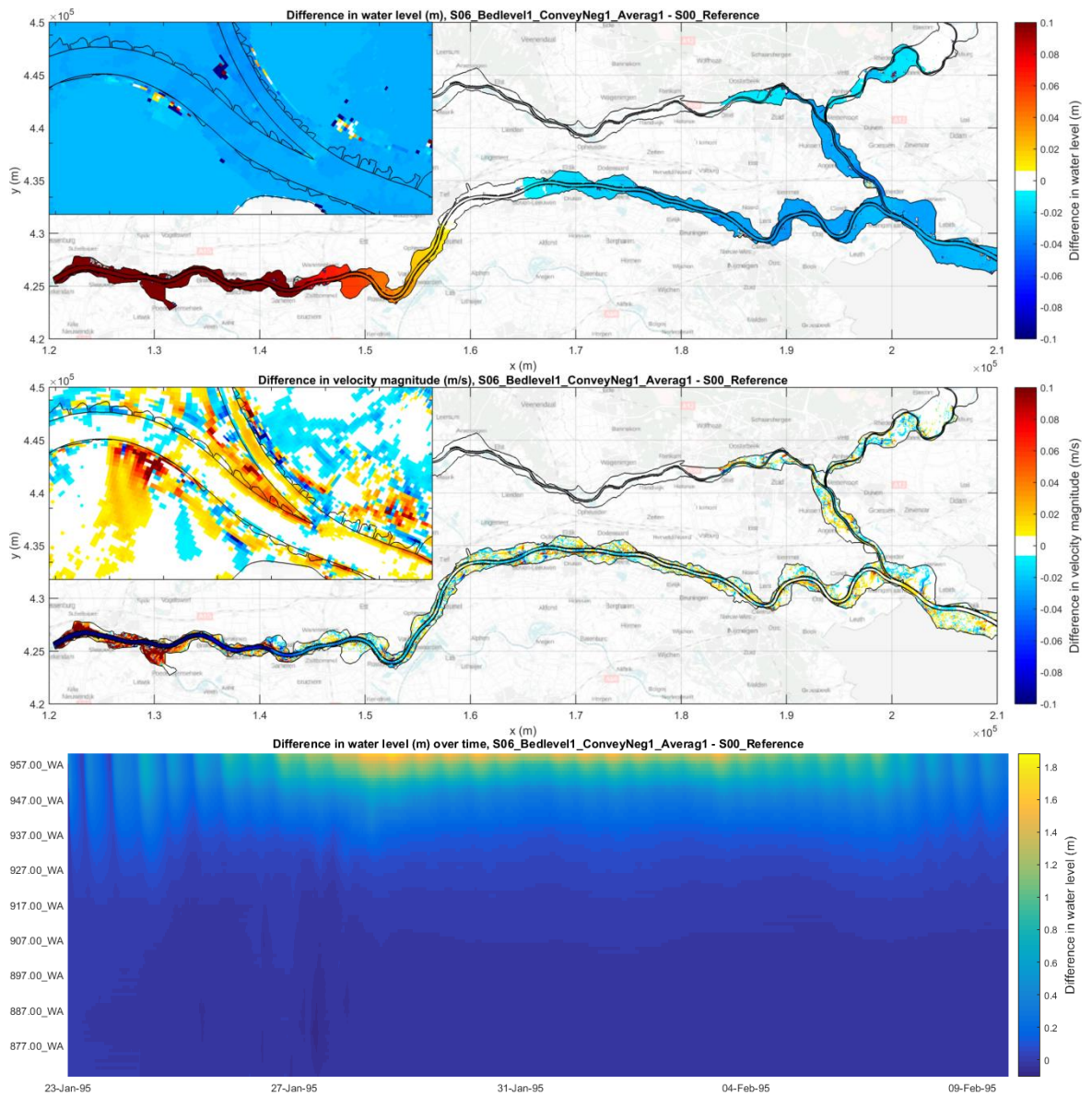
D.1 Middelingstypen voor bodemhoogte samples

D.1.1 Bedlevel1 Convey-1 Averag1

Dit is de aangepaste referentie met de volgende wijzigingen:

- Nieuwe bed level samples met een resolutie van 5 meter
- Nieuwe randvoorwaarde Hardinxveld. Halverwege het proces is voor de kalibratie een nieuwe randvoorwaarde bij Hardinxveld ingevoerd. Deze is toegepast in de analyse van het bedlevel

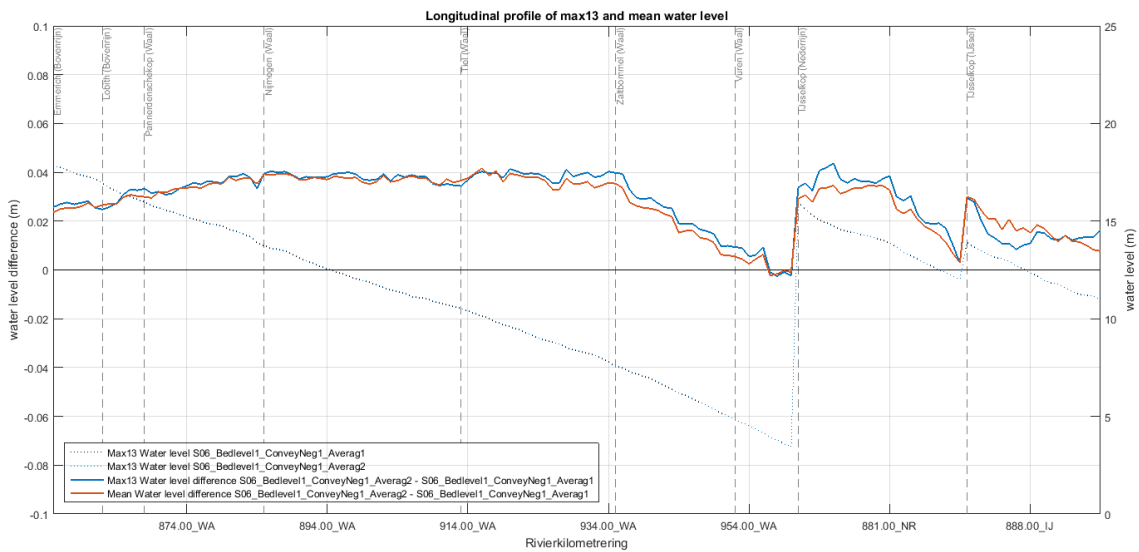
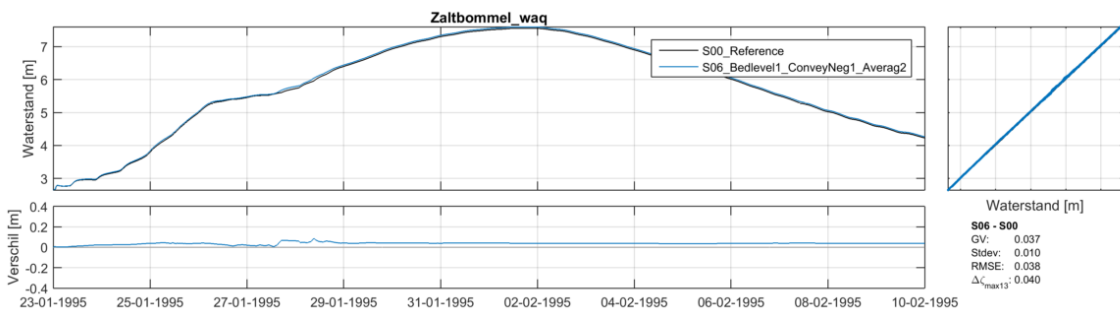
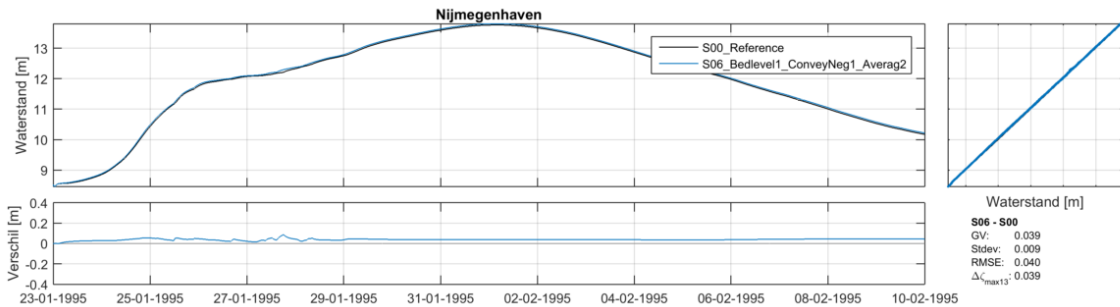
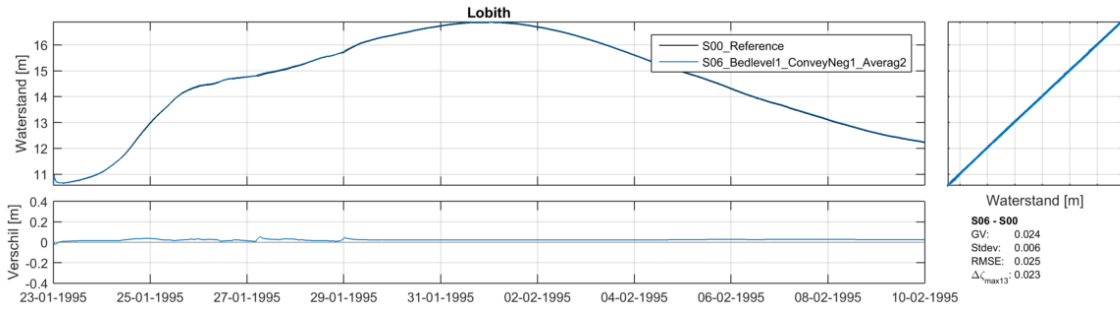


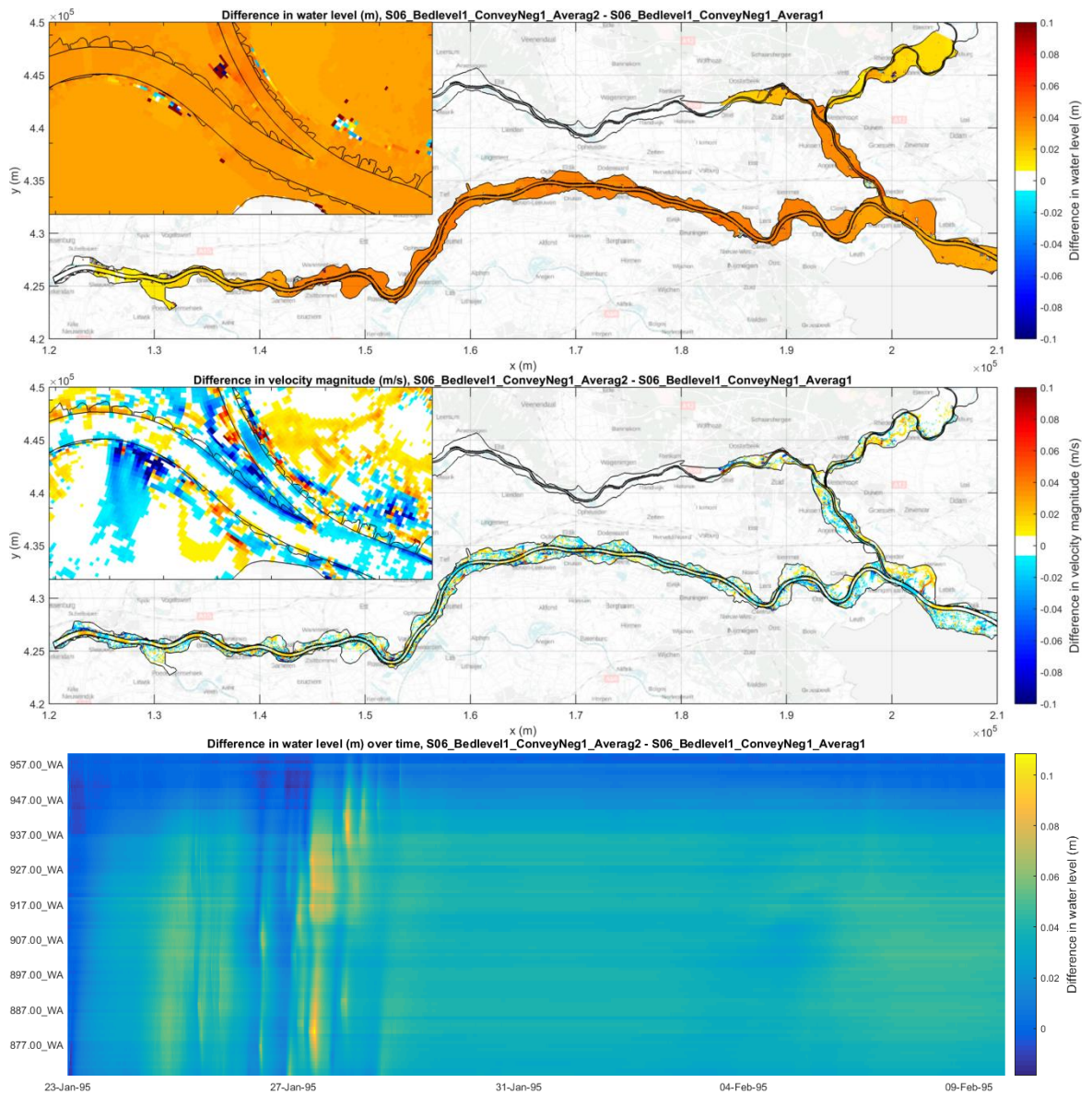


Statistiek			
Q-Waal	+9.7 m ³ /s (+0.1 %)	Emmerich_waq	-0.019 m (-0.3 %)
Q-Pankanaal	-9.6 m ³ /s (-0.2 %)	Lobith	-0.022 m (-0.3 %)
Q-Nederrijn	-7.1 m ³ /s (-0.3 %)	Pannerdenschekop	-0.017 m (-0.3 %)
Q-Yssel	-2.6 m ³ /s (-0.1 %)	Nijmegenhaven	-0.027 m (-0.5 %)
		TielWaal	-0.005 m (-0.1 %)
		Zaltbommel_waq	+0.100 m (+2.0 %)
Gemiddelde rekentijdstap	3.13688 s	Ijsselkop	-0.019 m (-0.4 %)
Runtime	39972 s	Drielboven	+0.000 m (+0.0 %)

D.1.2 Bedlevel1 Convey-1 Averag2

Deze statistieken zijn ten opzichte van de simulatie "Bedlevel1 Convey-1 Averag1"

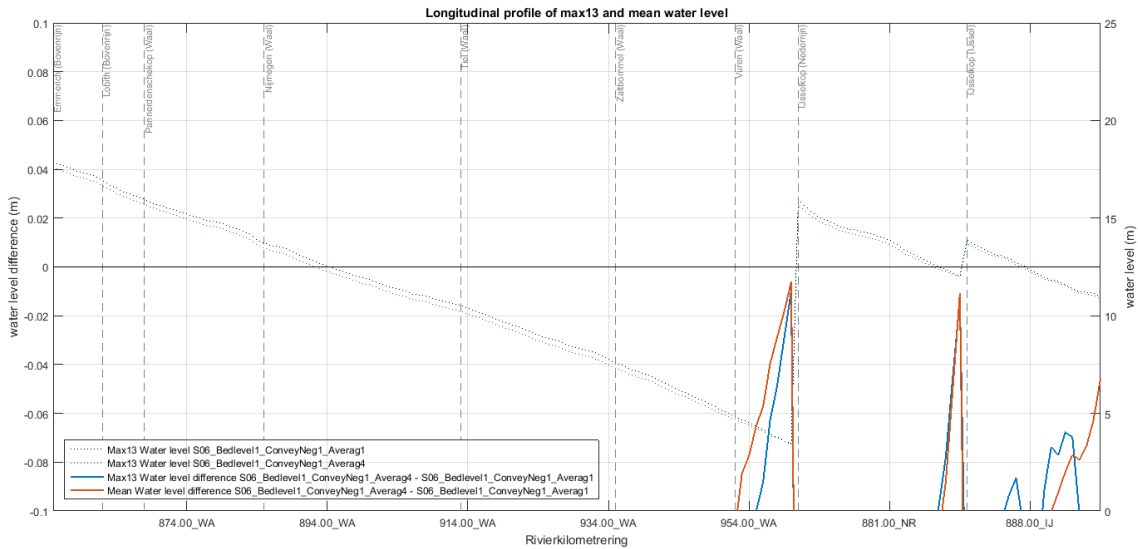
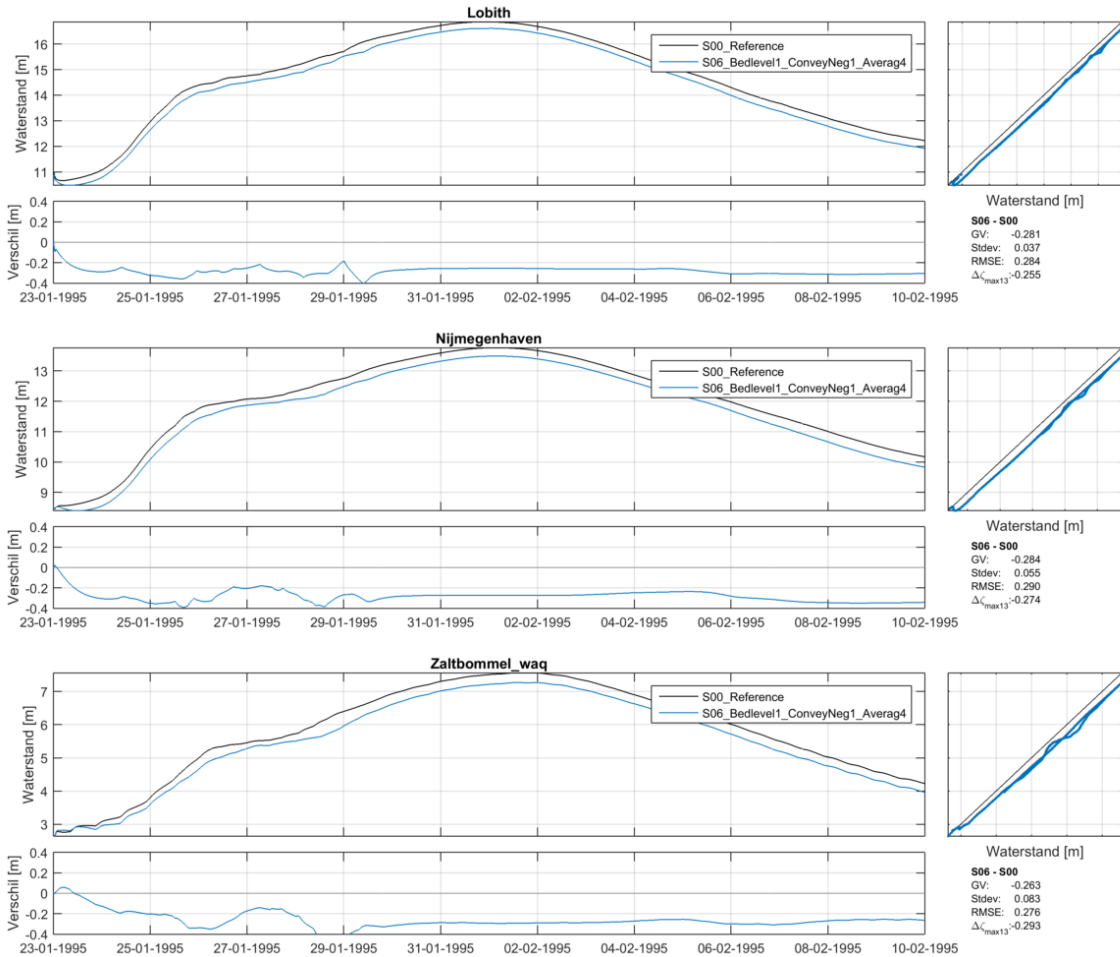


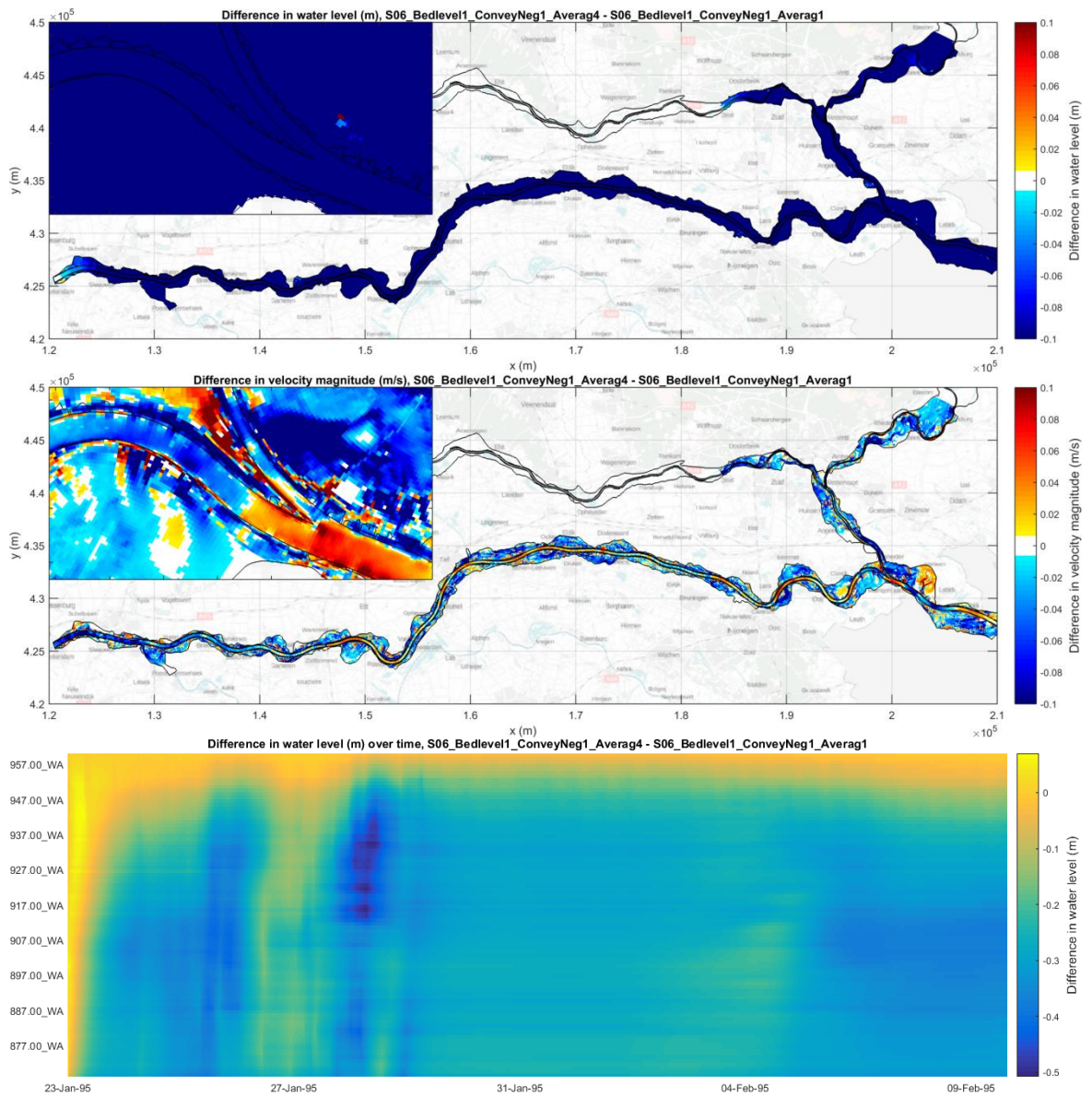


Statistiek			
Q-Waal	-5.2 m ³ /s (-0.1 %)	Emmerich_waq	+0.023 m (+0.3 %)
Q-Pankanaal	+5.0 m ³ /s (+0.1 %)	Lobith	+0.024 m (+0.4 %)
Q-Nederrijn	+6.7 m ³ /s (+0.3 %)	PannerdenscheKop	+0.024 m (+0.4 %)
Q-Yssel	-1.6 m ³ /s (-0.1 %)	Nijmegenhaven	+0.039 m (+0.7 %)
		TielWaal	+0.039 m (+0.7 %)
		Zaltbommel_waq	+0.037 m (+0.7 %)
Gemiddelde rekentijdstap	3.08662 s	Ijsselkop	+0.036 m (+0.7 %)
Runtime	39799.3 s	Drielboven	+0.002 m (+0.0 %)

D.1.3 Bedlevel1 Convey-1 Averag4

Deze statistieken zijn ten opzichte van de simulatie "Bedlevel1 Convey-1 Averag1"

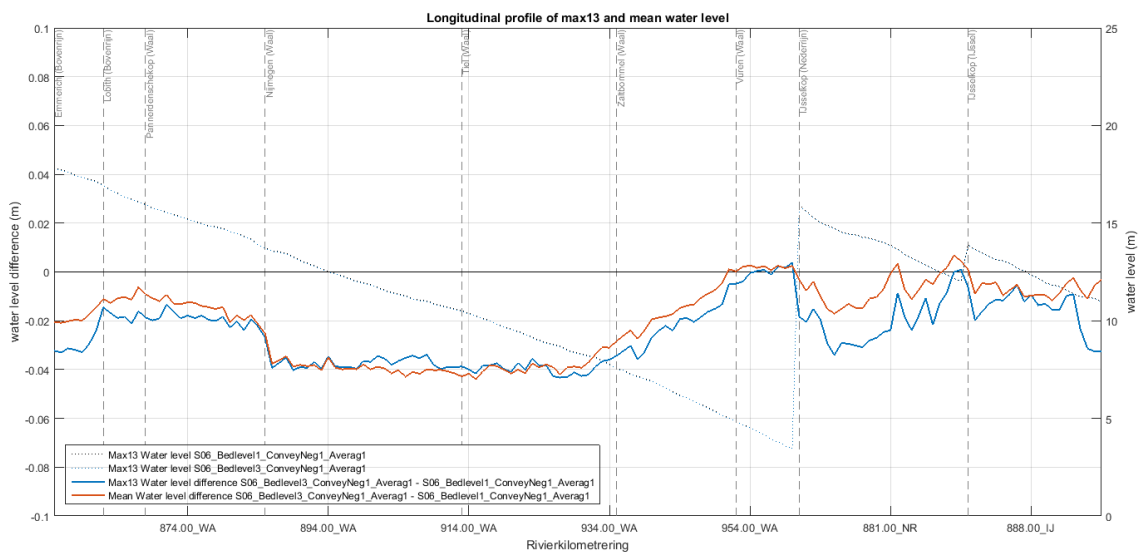
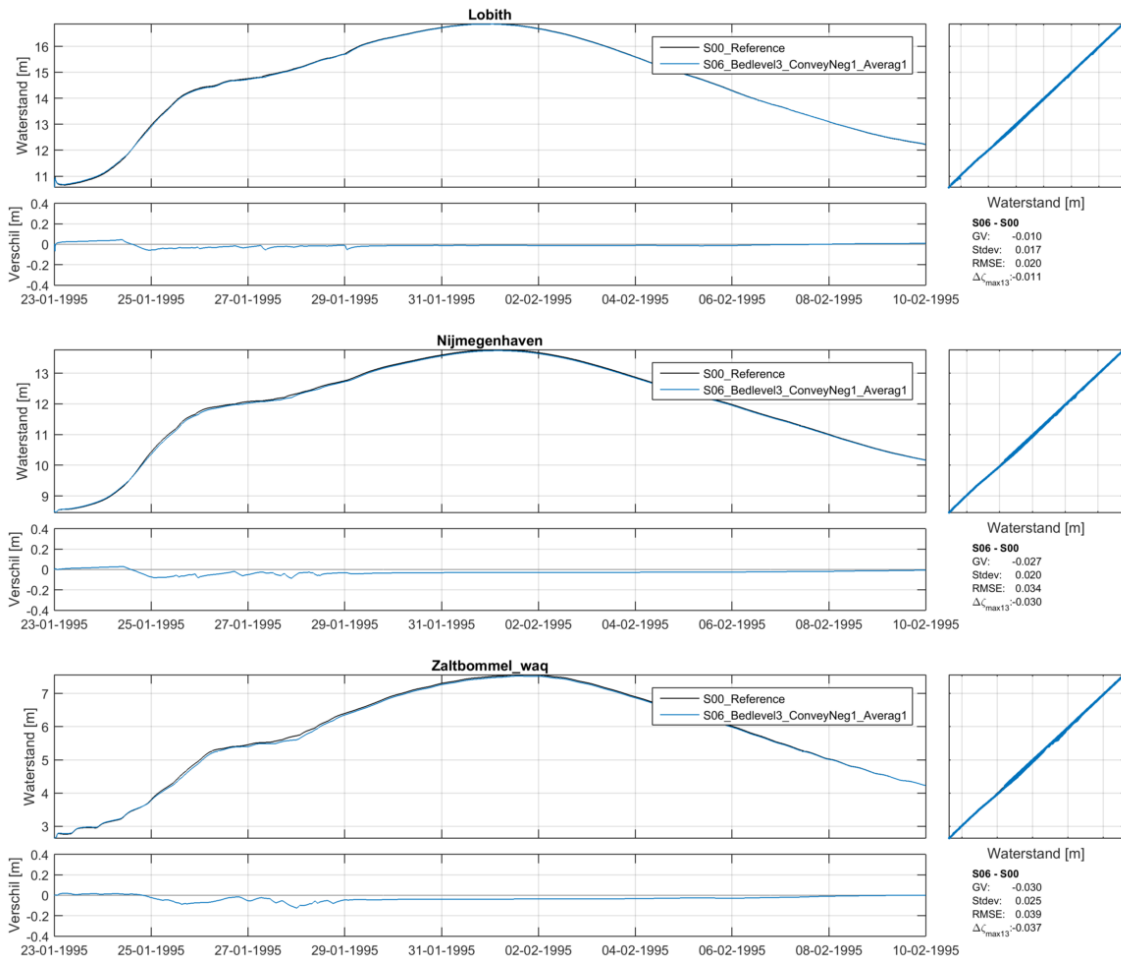


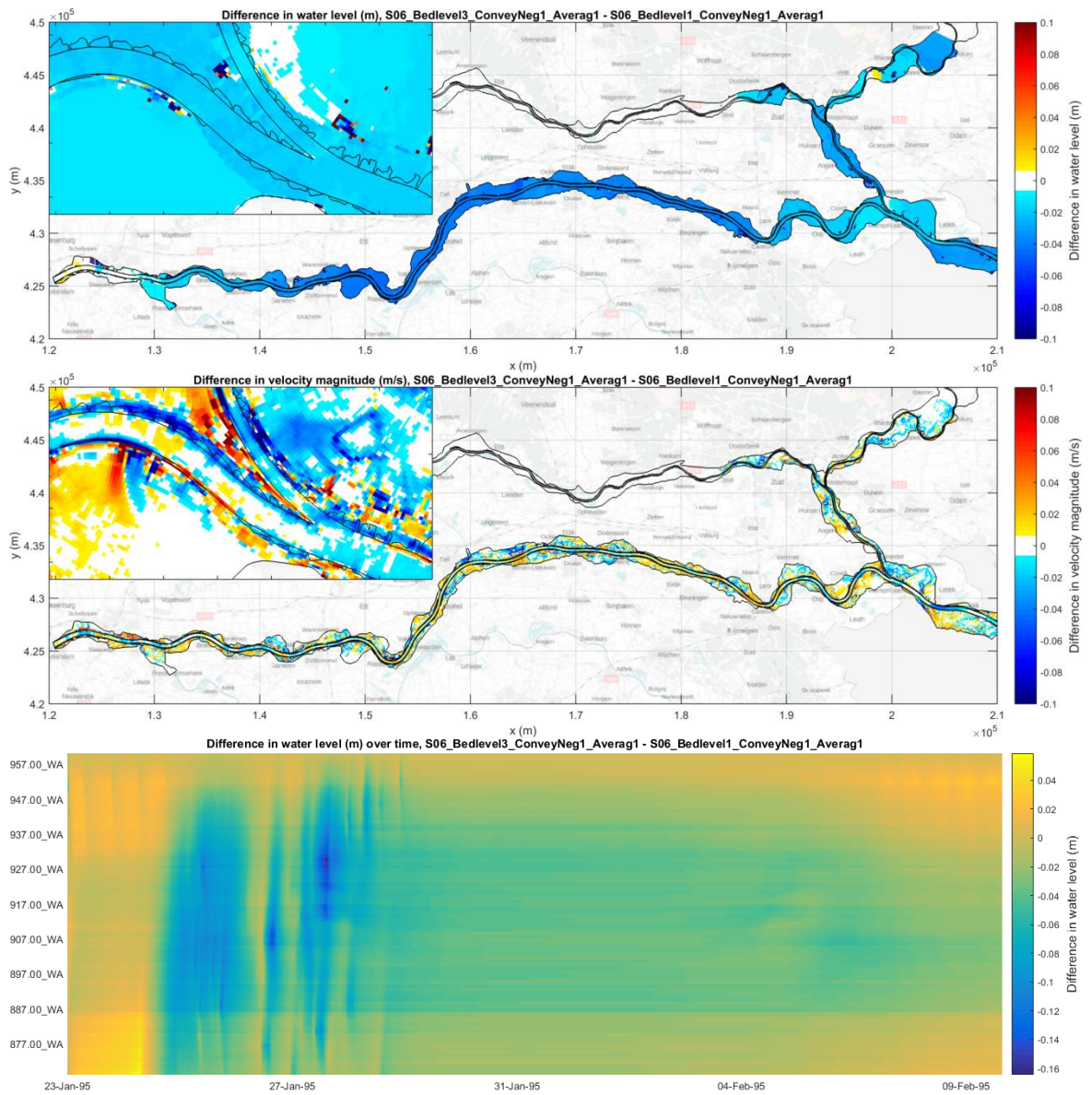


Statistiek			
Q-Waal	+36.9 m ³ /s (+0.5 %)	Emmerich_waq	-0.252 m (-4.0 %)
Q-Pankanaal	-39.2 m ³ /s (-0.9 %)	Lobith	-0.281 m (-4.6 %)
Q-Nederrijn	-43.2 m ³ /s (-1.7 %)	PannerdenscheKop	-0.294 m (-5.2 %)
Q-Yssel	+2.5 m ³ /s (+0.1 %)	Nijmegenhaven	-0.284 m (-5.6 %)
		TielWaal	-0.306 m (-6.2 %)
		Zaltbommel_waq	-0.263 m (-5.7 %)
Gemiddelde rekentijdstap	3.38093 s	Ijsselkop	-0.265 m (-5.6 %)
Runtime	37202.6 s	Drielboven	-0.004 m (-0.1 %)

D.2 Bedleveltype en conveyance

D.2.1 Bedlevel3 Convey-1 Averag1

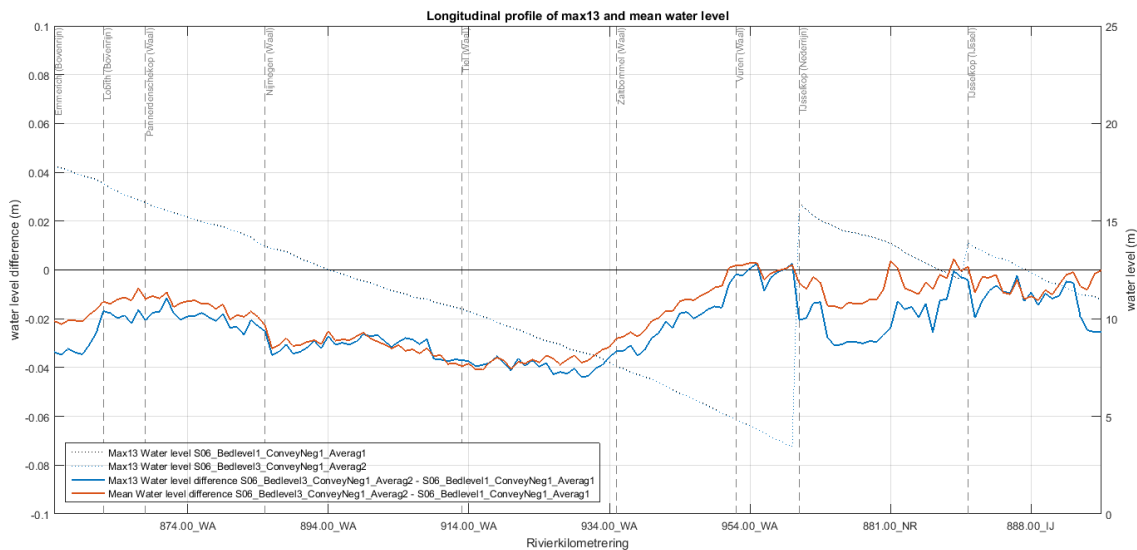
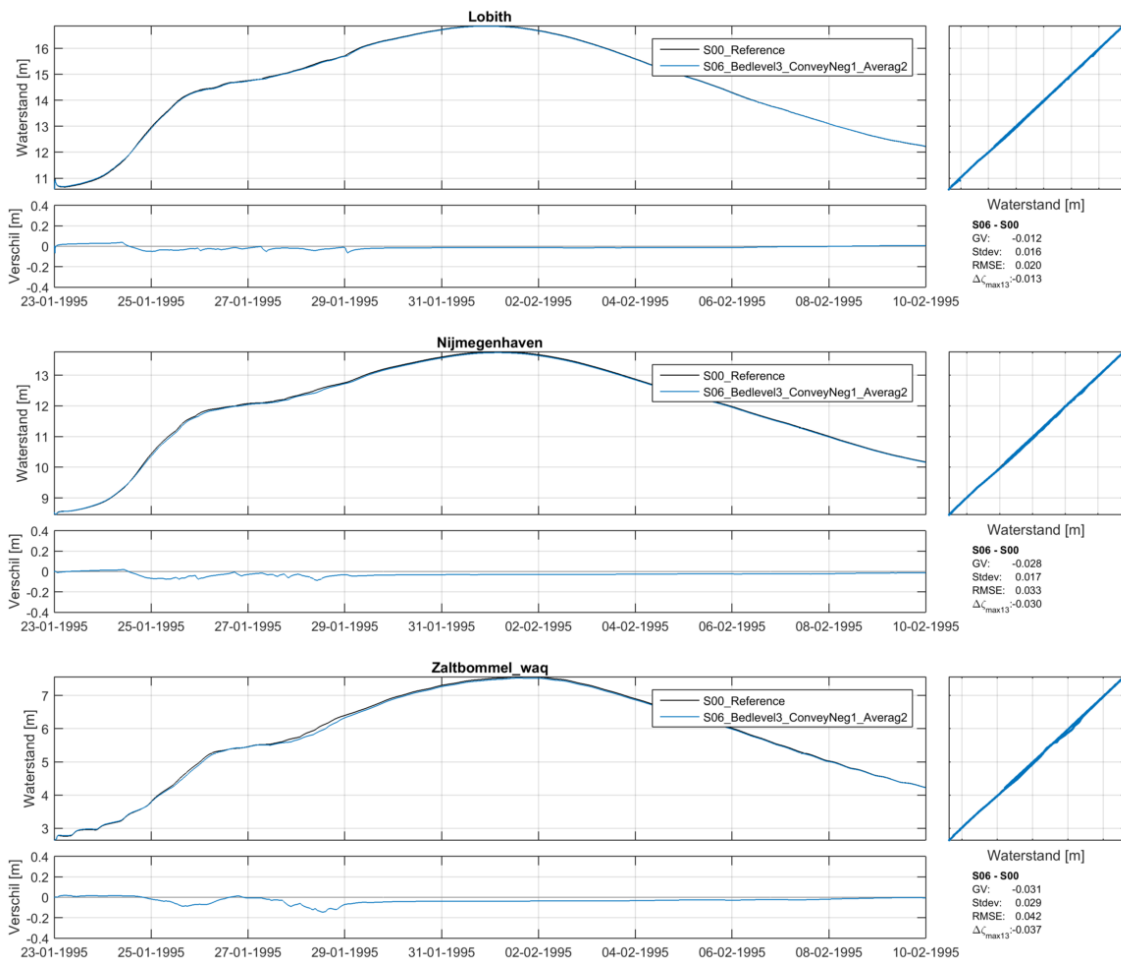


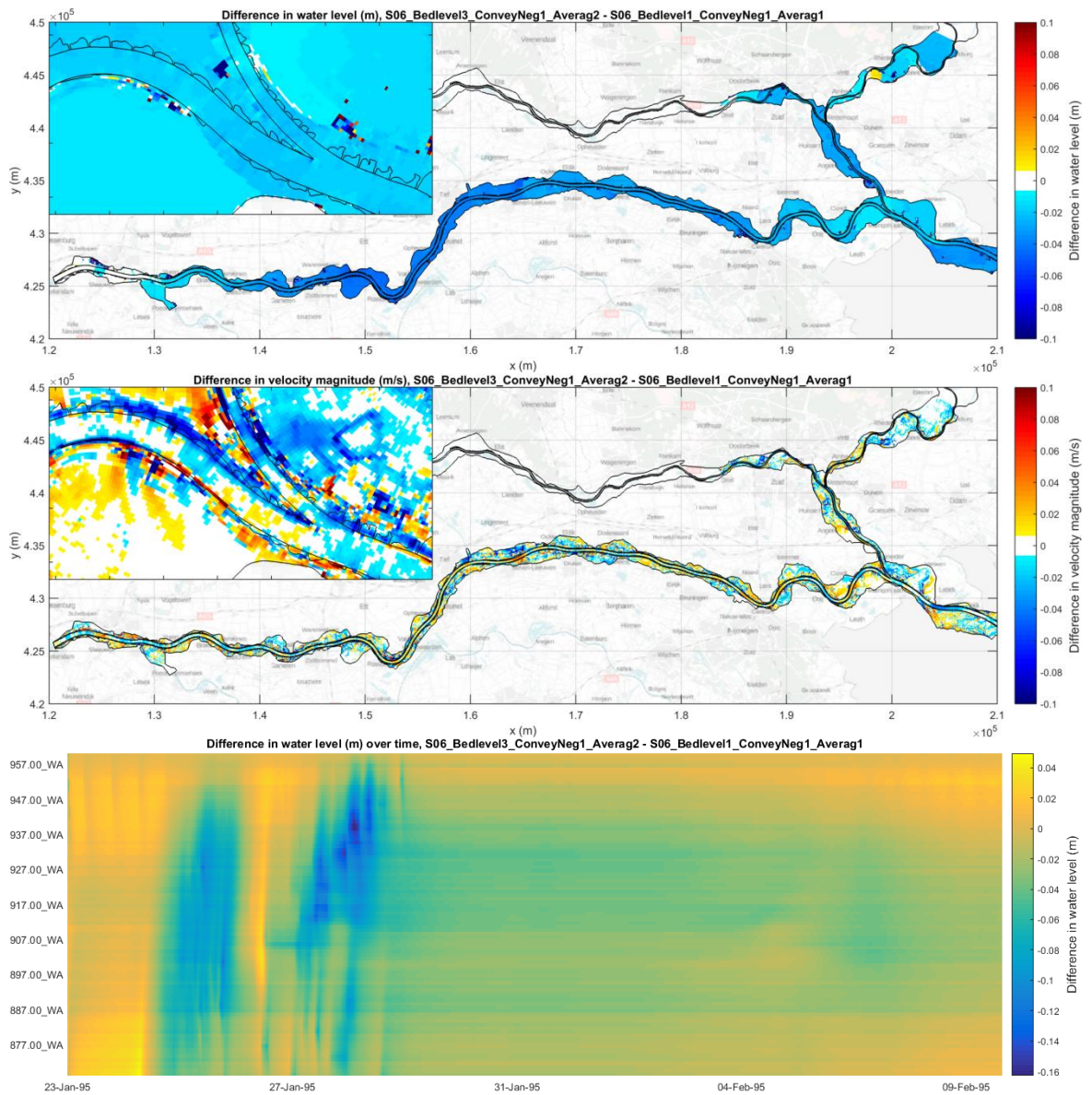


Statistiek			
Q-Waal	+30.8 m ³ /s (+0.4 %)	Emmerich_waq	-0.024 m (-0.4 %)
Q-Pankanaal	-34.3 m ³ /s (-0.8 %)	Lobith	-0.010 m (-0.2 %)
Q-Nederrijn	-20.8 m ³ /s (-0.8 %)	PannerdenscheKop	-0.008 m (-0.1 %)
Q-Yssel	-15.2 m ³ /s (-0.8 %)	Nijmegenhaven	-0.027 m (-0.5 %)
		TielWaal	-0.042 m (-0.8 %)
		Zaltbommel_waq	-0.030 m (-0.6 %)
Gemiddelde rekestijdstap	3.41393 s	Ijsselkop	-0.009 m (-0.2 %)
Runtime	36599.1 s	Drielboven	+0.005 m (+0.1 %)

D.2.2 Bedlevel3 Convey-1 Averag2

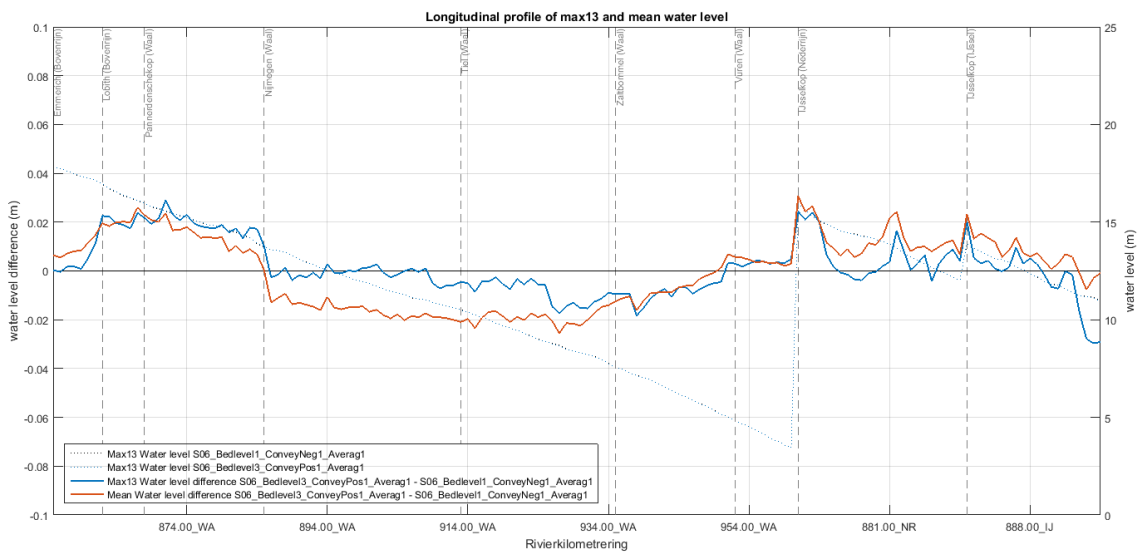
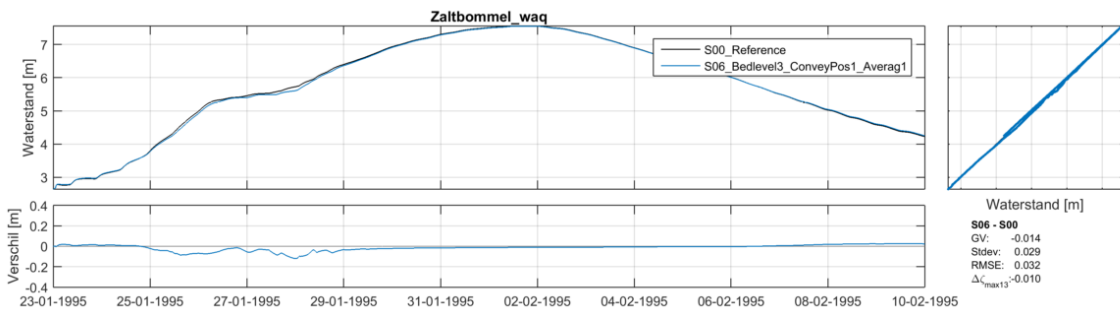
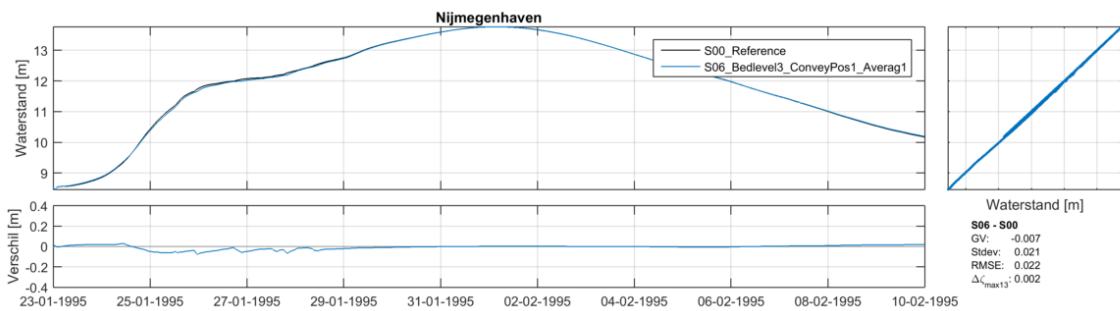
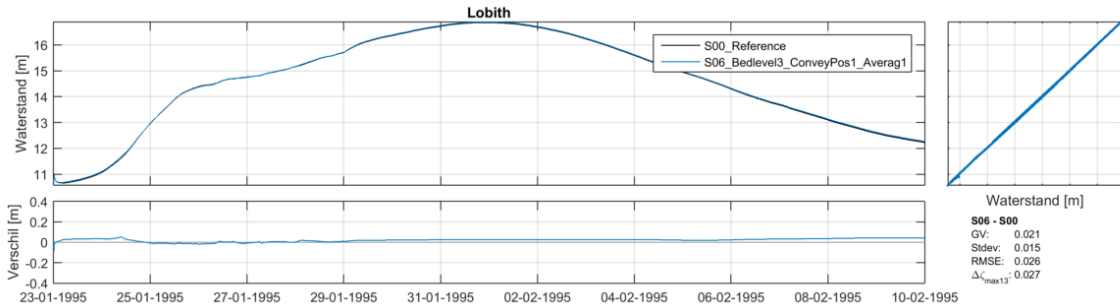
Deze statistieken zijn ten opzichte van de simulatie "Bedlevel1 Convey-1 Averag1"

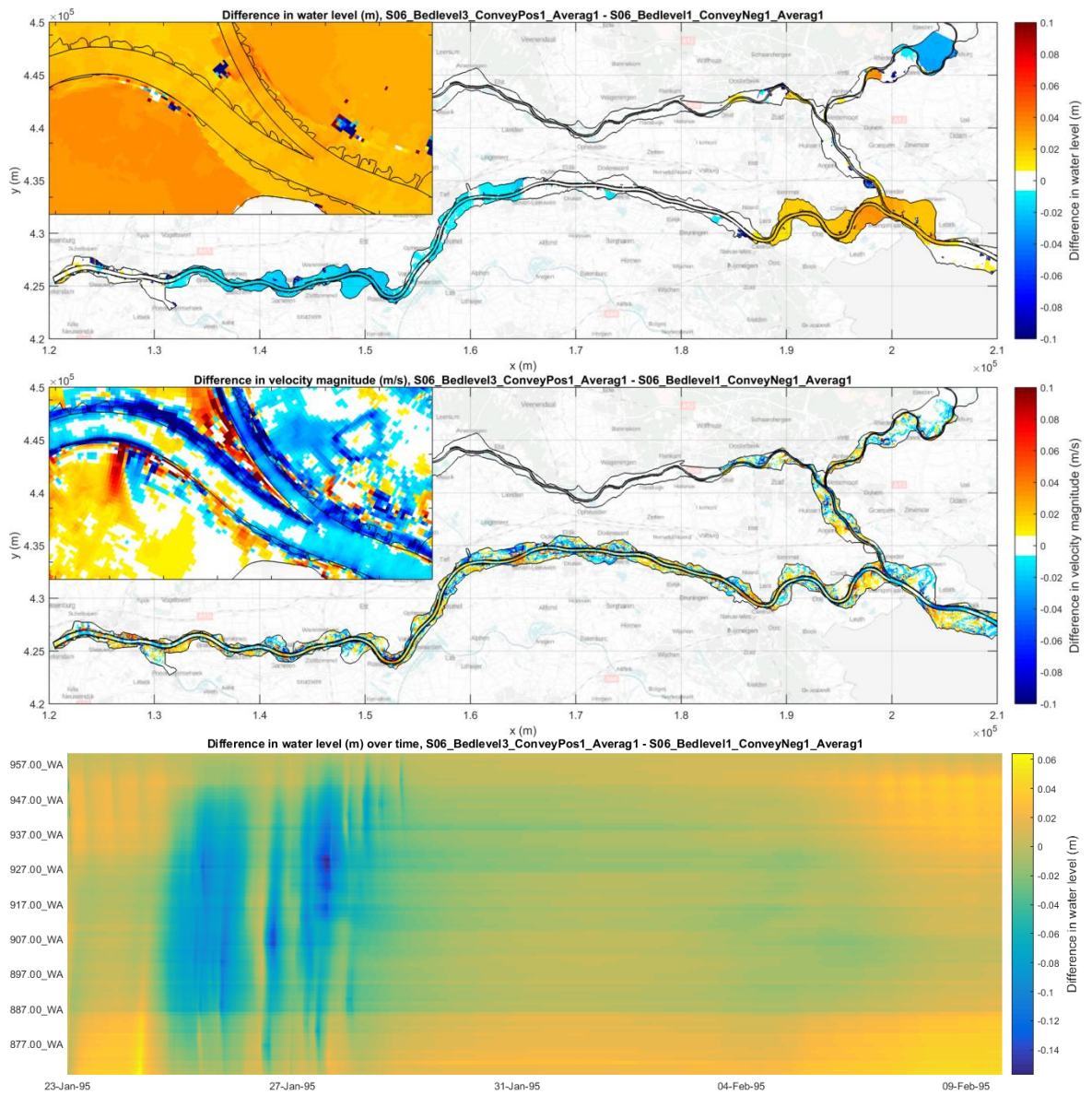




Statistiek			
Q-Waal	+31.7 m ³ /s (+0.4 %)	Emmerich_waq	-0.024 m (-0.4 %)
Q-Pankanaal	-36.1 m ³ /s (-0.8 %)	Lobith	-0.012 m (-0.2 %)
Q-Nederrijn	-21.7 m ³ /s (-0.9 %)	PannerdenscheKop	-0.010 m (-0.2 %)
Q-Yssel	-16.3 m ³ /s (-0.9 %)	Nijmegenhaven	-0.028 m (-0.5 %)
		TielWaal	-0.038 m (-0.7 %)
		Zaltbommel_waq	-0.031 m (-0.6 %)
Gemiddelde rekentijdstap	3.30071 s	Ijsselkop	-0.010 m (-0.2 %)
Runtime	37997 s	Drielboven	-0.001 m (-0.0 %)

D.2.3 Bedlevel3 Convey 1 Averag1

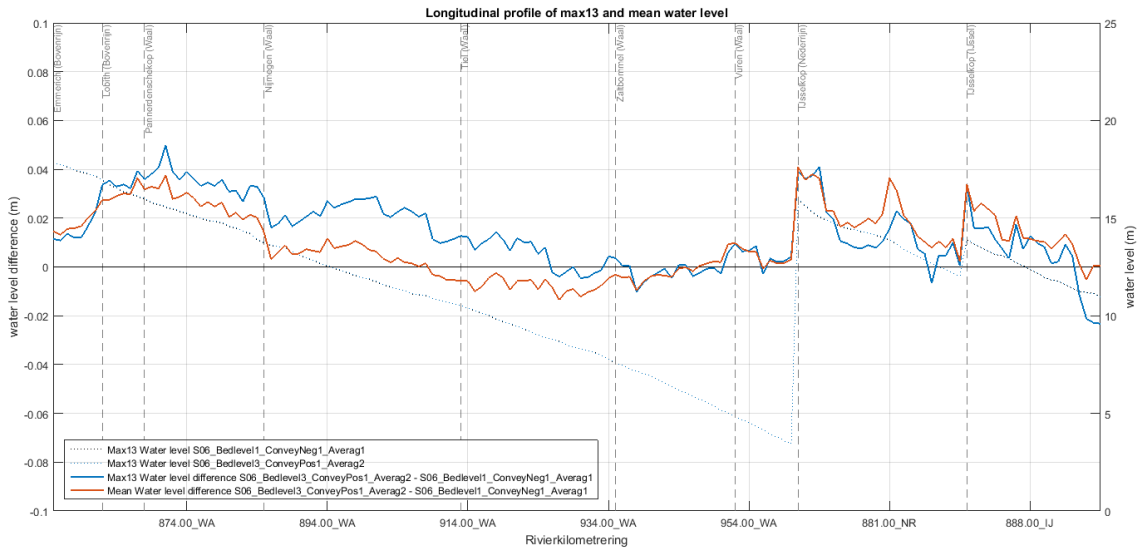
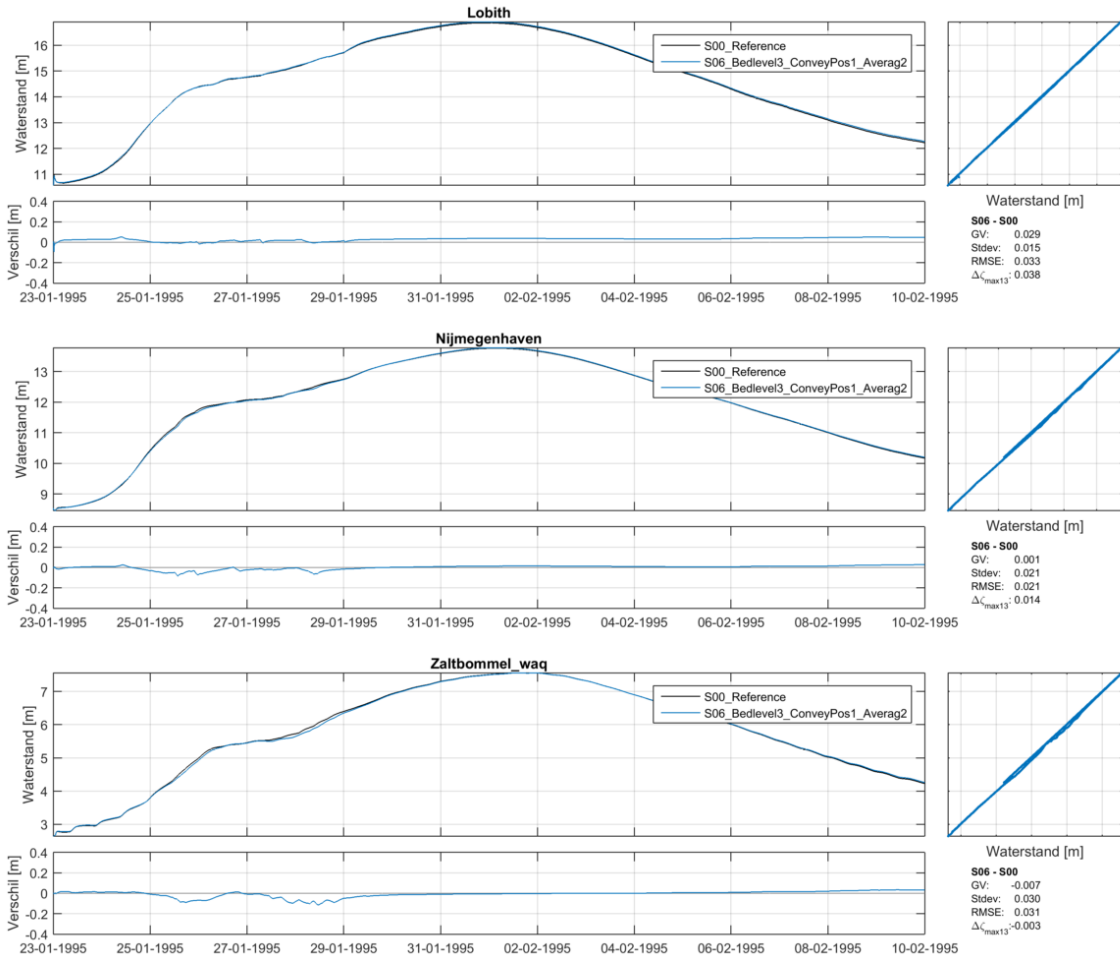


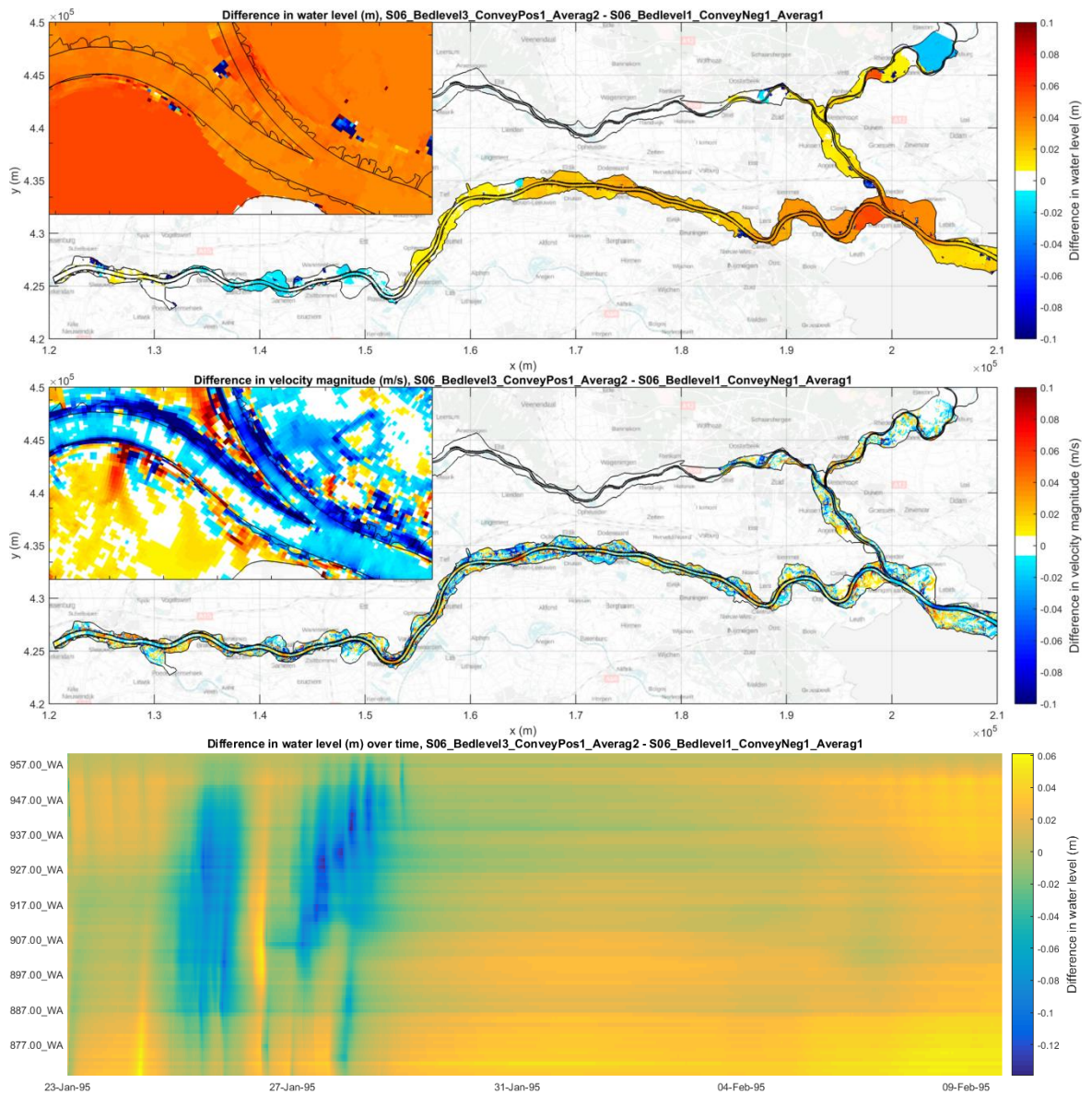


Statistiek			
Q-Waal	+30.9 m ³ /s (+0.4 %)	Emmerich_waq	+0.004 m (+0.1 %)
Q-Pankanaal	-36.3 m ³ /s (-0.8 %)	Lobith	+0.021 m (+0.3 %)
Q-Nederrijn	-18.3 m ³ /s (-0.7 %)	PannerdenscheKop	+0.025 m (+0.4 %)
Q-Yssel	-20.3 m ³ /s (-1.1 %)	Nijmegenhaven	-0.007 m (-0.1 %)
		TielWaal	-0.021 m (-0.4 %)
		Zaltbommel_waq	-0.014 m (-0.3 %)
Gemiddelde rekestijdstap	3.5347 s	Ijsselkop	+0.014 m (+0.3 %)
Runtime	35842.6 s	Drielboven	+0.006 m (+0.1 %)

D.2.4 Bedlevel3 Convey 1 Averag2

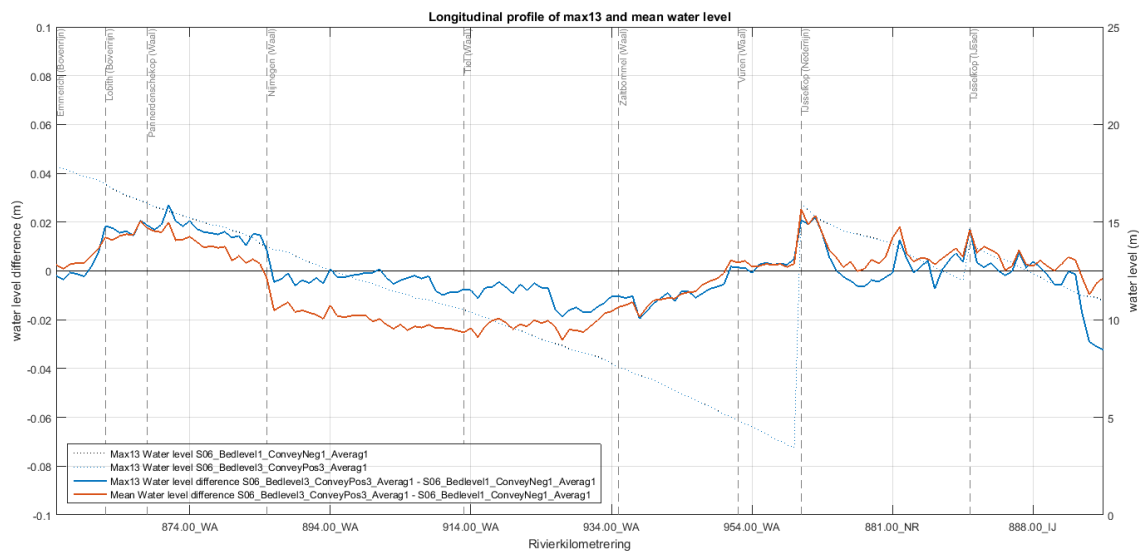
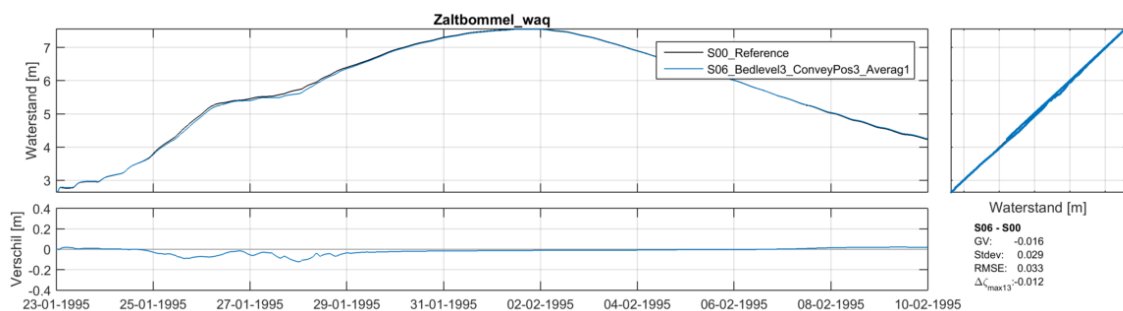
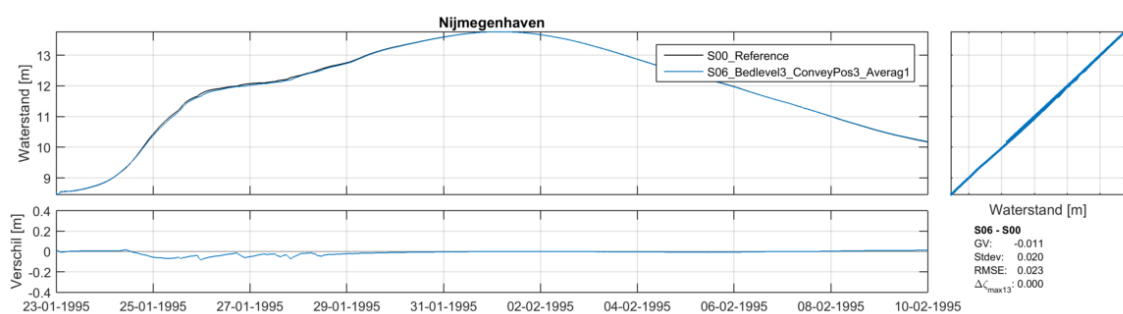
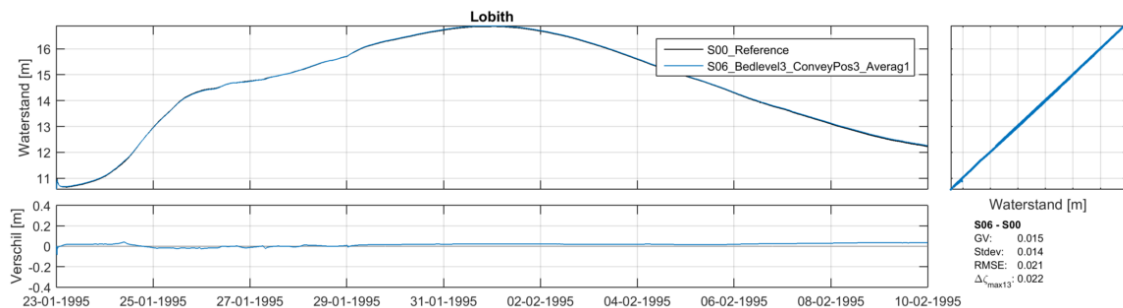
Deze statistieken zijn ten opzichte van de simulatie "Bedlevel1 Convey-1 Averag1"

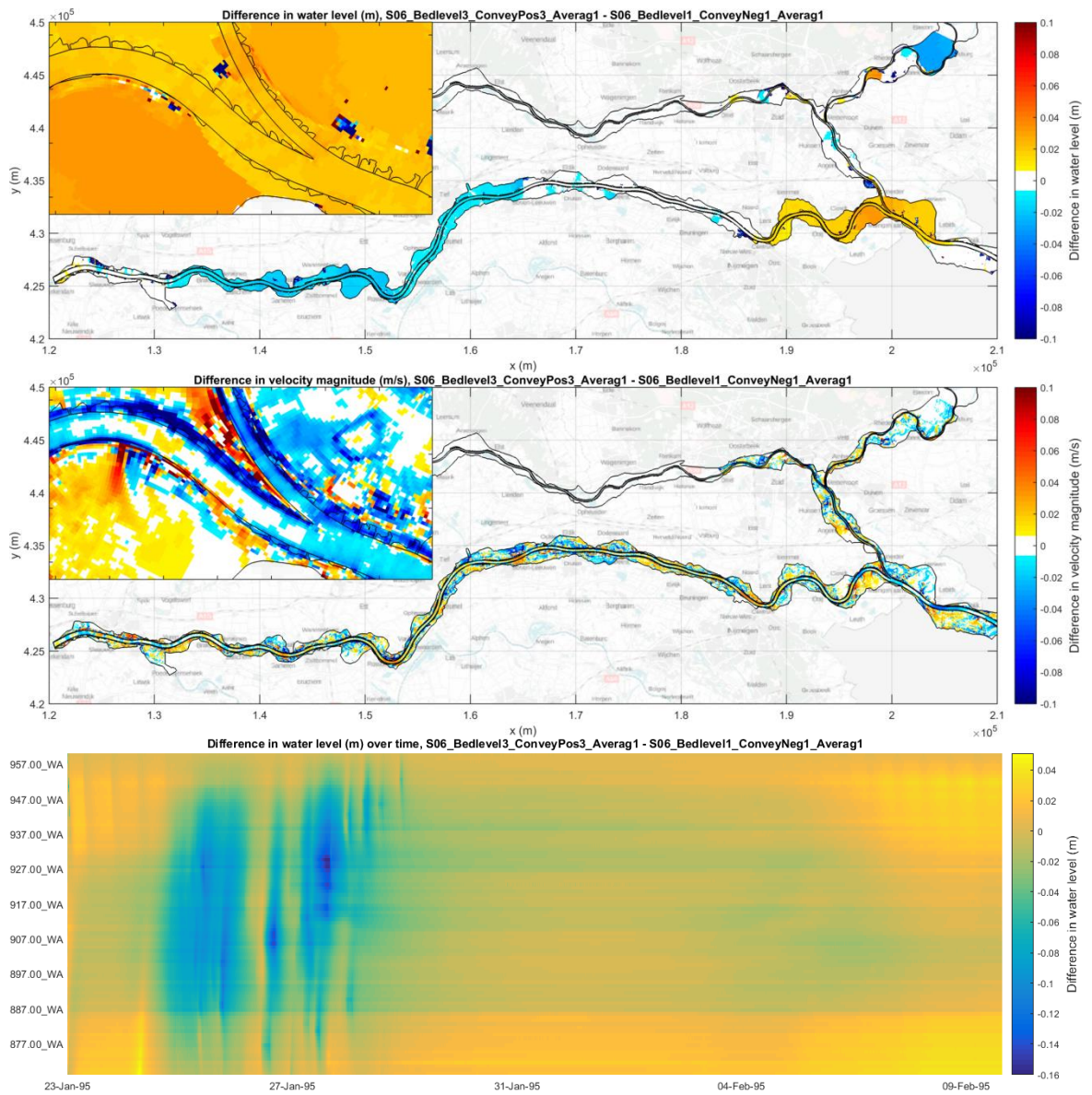




Statistiek			
Q-Waal	+32.5 m ³ /s (+0.4 %)	Emmerich_waq	+0.013 m (+0.2 %)
Q-Pankanaal	-39.2 m ³ /s (-0.9 %)	Lobith	+0.029 m (+0.5 %)
Q-Nederrijn	-20.4 m ³ /s (-0.8 %)	PannerdenscheKop	+0.035 m (+0.6 %)
Q-Yssel	-21.6 m ³ /s (-1.2 %)	Nijmegenhaven	+0.001 m (+0.0 %)
		TielWaal	-0.005 m (-0.1 %)
		Zaltbommel_waq	-0.007 m (-0.1 %)
Gemiddelde rekentijdstap	3.42503 s	Ijsselkop	+0.022 m (+0.4 %)
Runtime	36593.8 s	Drielboven	+0.001 m (+0.0 %)

D.2.5 Bedlevel3 Convey 3 Averag1

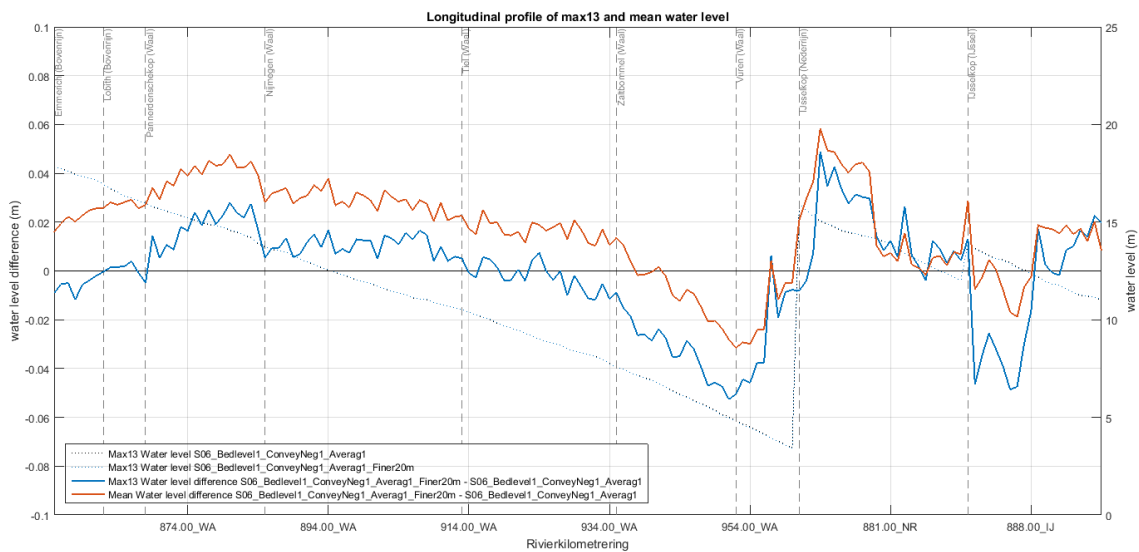
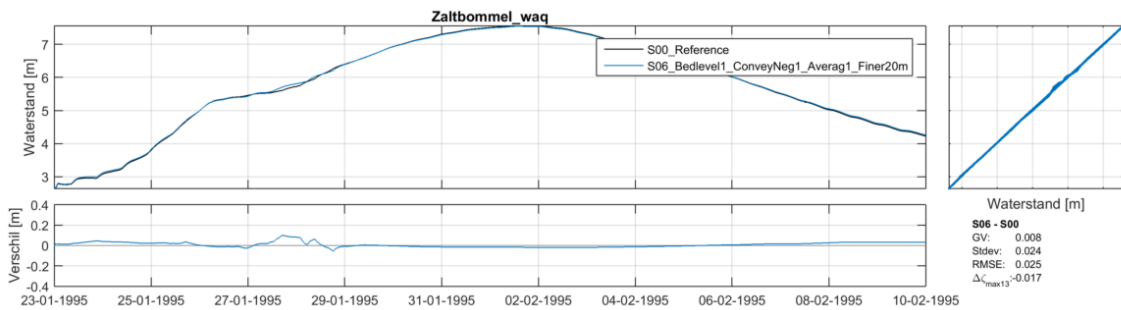
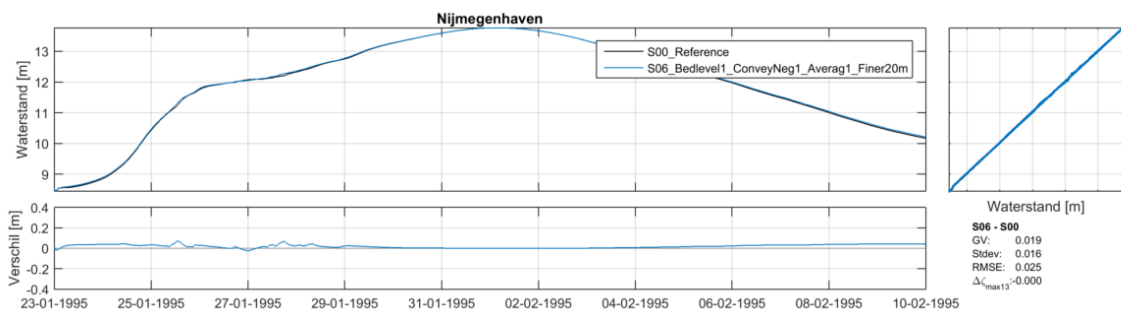
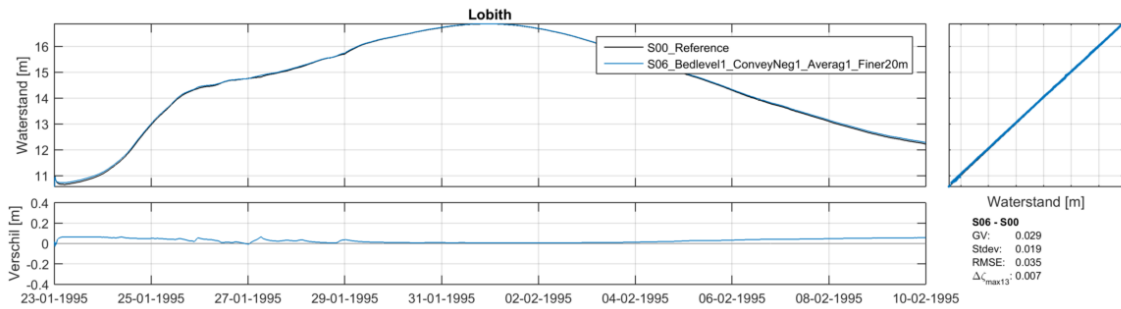


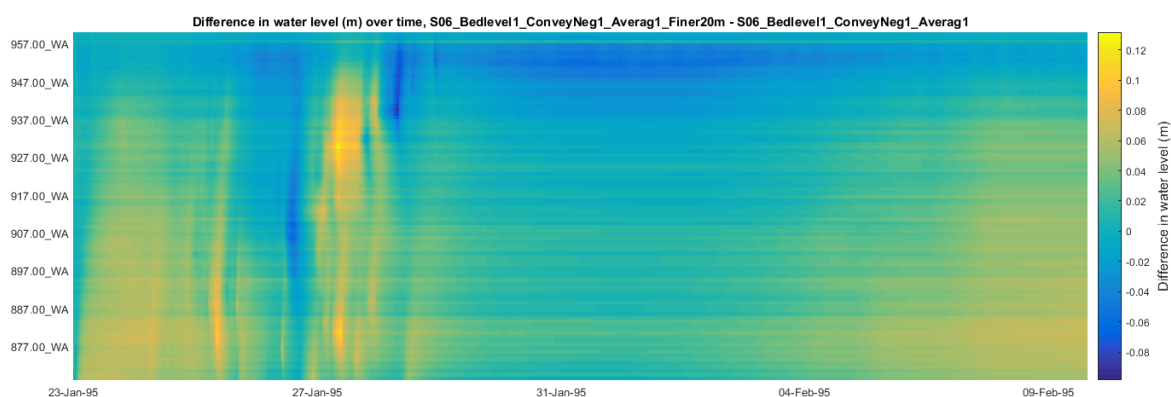


Statistiek			
Q-Waal	+28.7 m ³ /s (+0.4 %)	Emmerich_waq	+0.000 m (+0.0 %)
Q-Pankanaal	-34.1 m ³ /s (-0.8 %)	Lobith	+0.015 m (+0.2 %)
Q-Nederrijn	-18.3 m ³ /s (-0.7 %)	PannerdenscheKop	+0.020 m (+0.3 %)
Q-Yssel	-18.0 m ³ /s (-1.0 %)	Nijmegenhaven	-0.011 m (-0.2 %)
		TielWaal	-0.025 m (-0.5 %)
		Zaltbommel_waq	-0.016 m (-0.3 %)
Gemiddelde rekestijdstap	3.53227 s	Ijsselkop	+0.007 m (+0.1 %)
Runtime	38397.6 s	Drielboven	+0.006 m (+0.1 %)

D.3 Gridconvergentie

D.3.1 Bedlevel1 Convey-1 Averag1 Finer20m

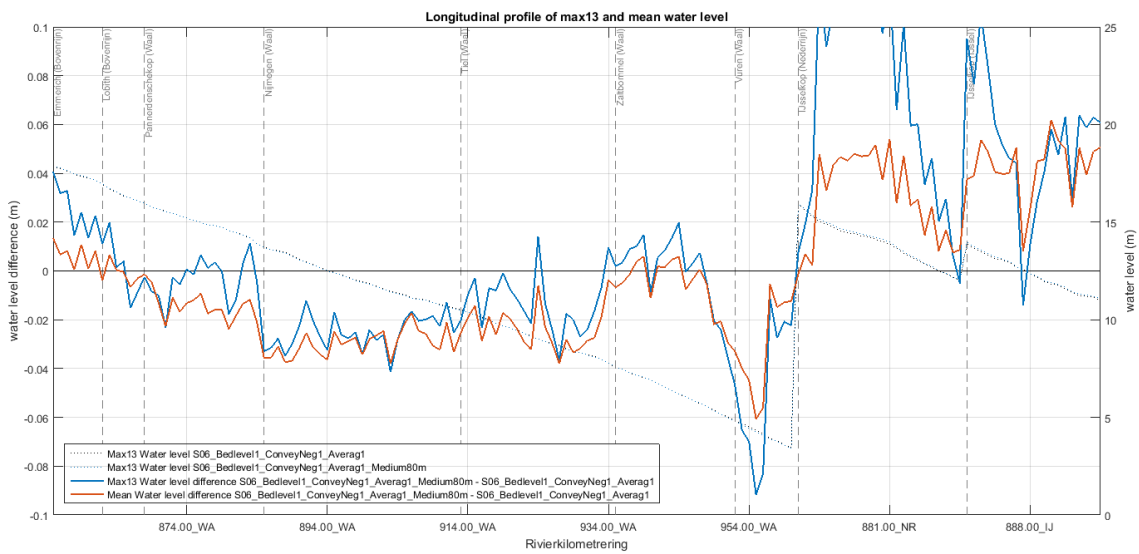
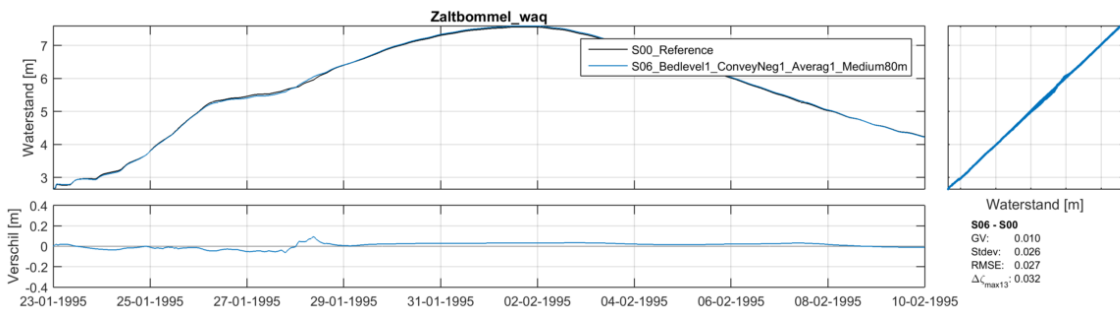
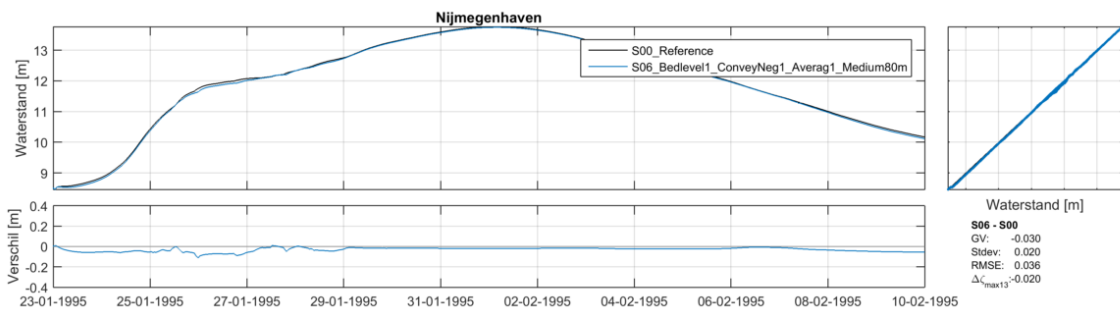
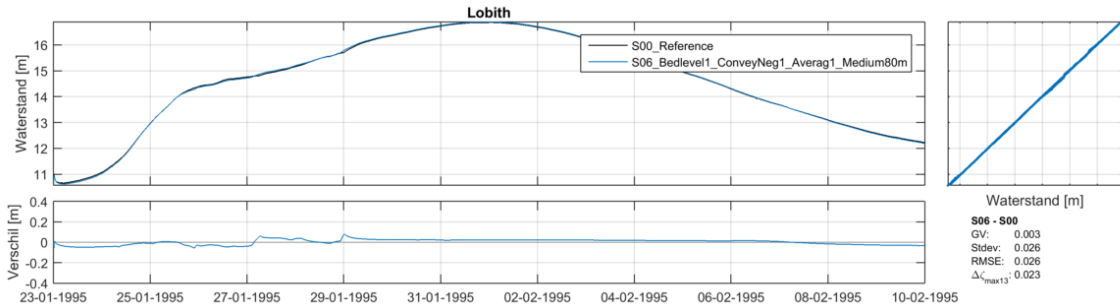


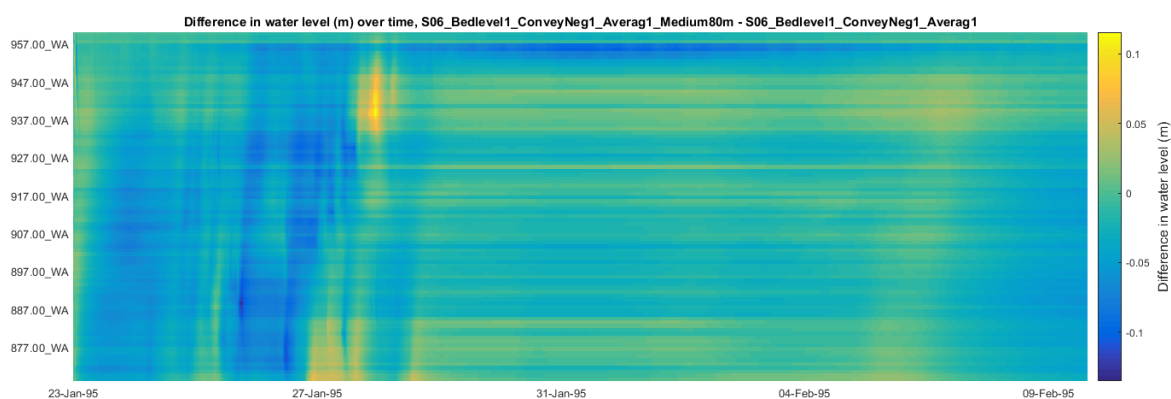


Statistiek			
Q-Waal	-1.1 m ³ /s (-0.0 %)	Emmerich_waq	+0.017 m (+0.3 %)
Q-Pankanaal	+1.8 m ³ /s (+0.0 %)	Lobith	+0.029 m (+0.5 %)
Q-Nederrijn	+4.0 m ³ /s (+0.2 %)	PannerdenscheKop	+0.031 m (+0.5 %)
Q-Yssel	-2.2 m ³ /s (-0.1 %)	Nijmegenhaven	+0.019 m (+0.4 %)
		TielWaal	+0.120 m (+3.2 %)
		Zaltbommel_waq	+0.008 m (+0.2 %)
Gemiddelde rekentijdstap	1.28191 s	Ijsselkop	+0.025 m (+0.5 %)
Runtime	121230 s	Drielboven	+0.007 m (+0.2 %)

D.3.2 Bedlevel1 Convey-1 Averag1 Medium80m

Deze statistieken zijn ten opzichte van de simulatie "Bedlevel1 Convey-1 Averag1"

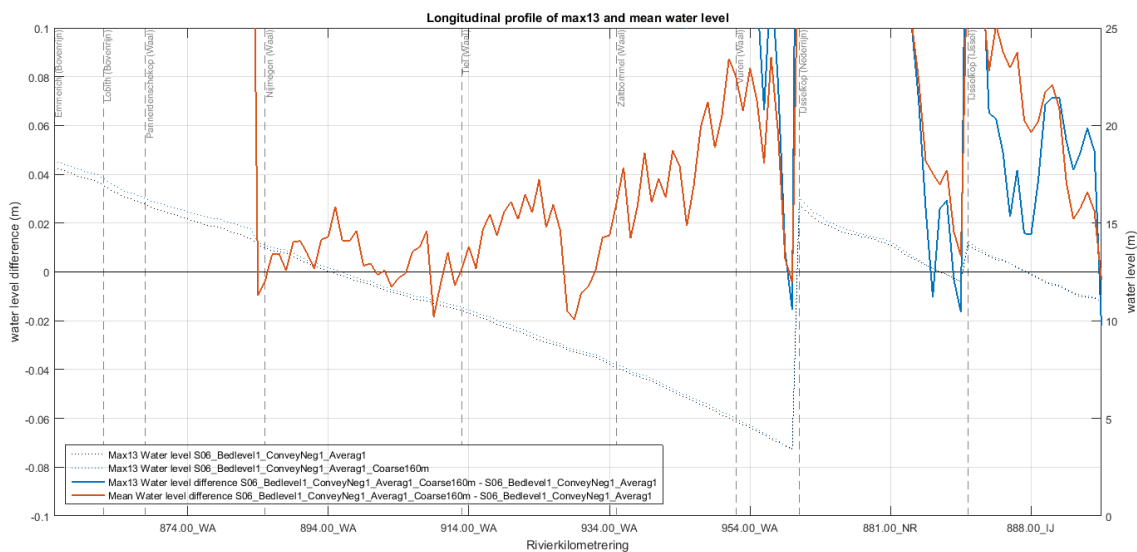
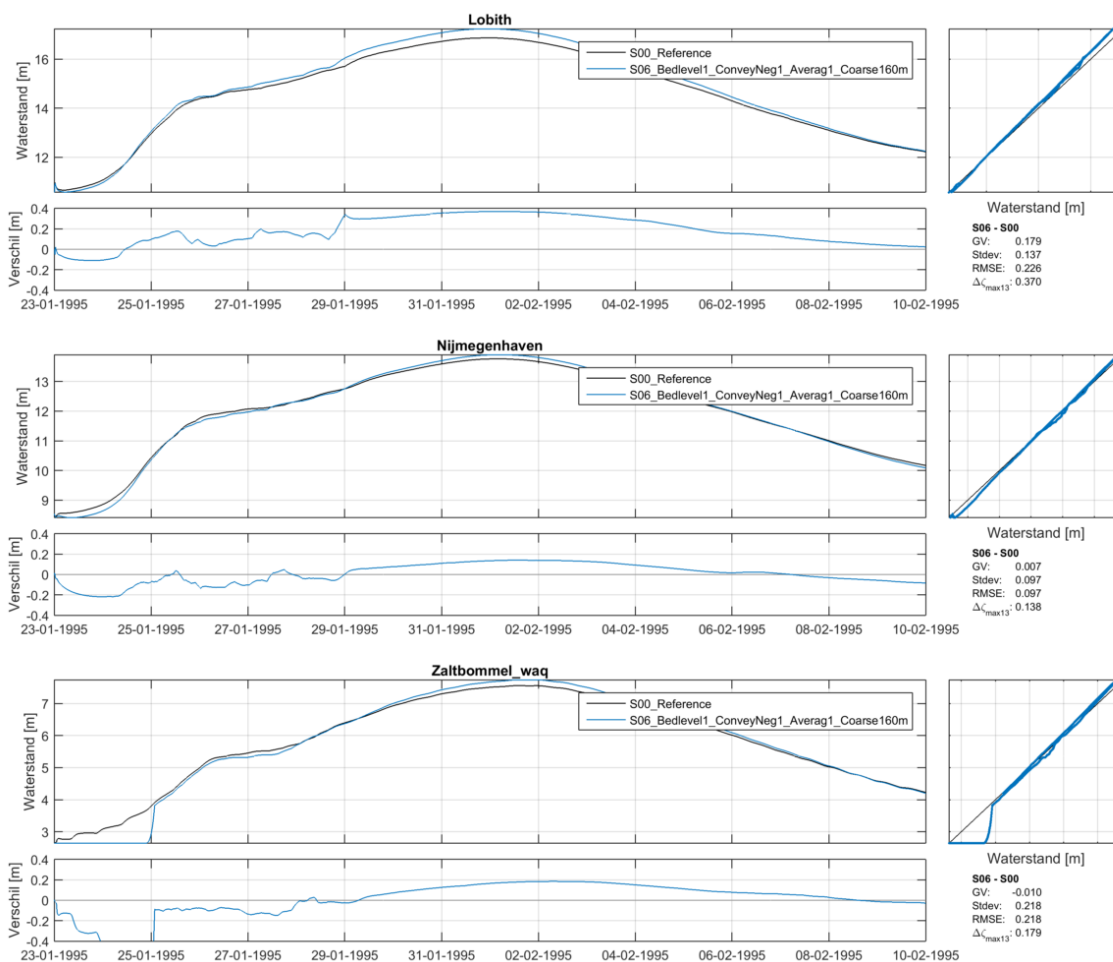


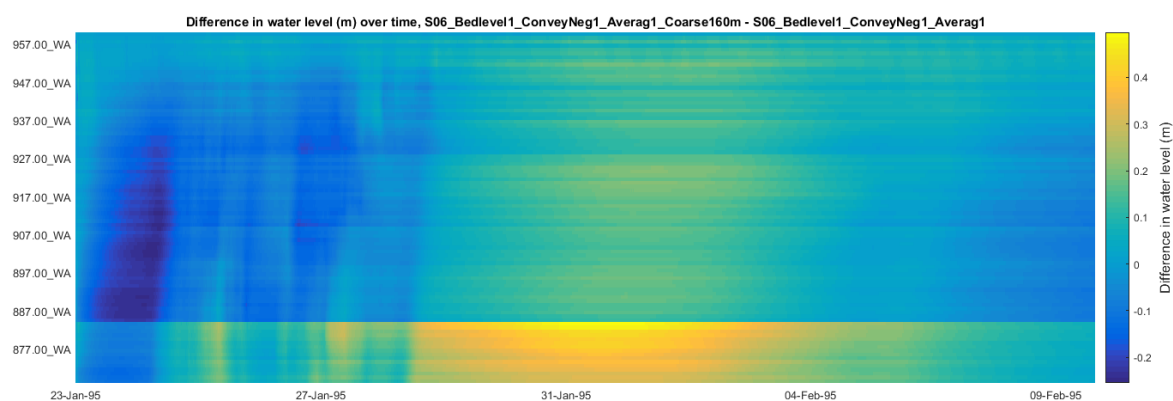


Statistiek			
Q-Waal	-16.7 m ³ /s (-0.2 %)	Emmerich_waq	+0.013 m (+0.2 %)
Q-Pankanaal	+18.4 m ³ /s (+0.4 %)	Lobith	+0.003 m (+0.1 %)
Q-Nederrijn	+3.1 m ³ /s (+0.1 %)	PannerdenscheKop	+0.001 m (+0.0 %)
Q-Yssel	+15.2 m ³ /s (+0.8 %)	Nijmegenhaven	-0.030 m (-0.6 %)
		TielWaal	+0.053 m (+1.3 %)
		Zaltbommel_waq	+0.010 m (+0.2 %)
Gemiddelde rekentijdstap	10.3474 s	Ijsselkop	+0.067 m (+1.3 %)
Runtime	2976.2 s	Drielboven	+0.011 m (+0.2 %)

D.3.3 Bedlevel1 Convey-1 Averag1 Coarse160m

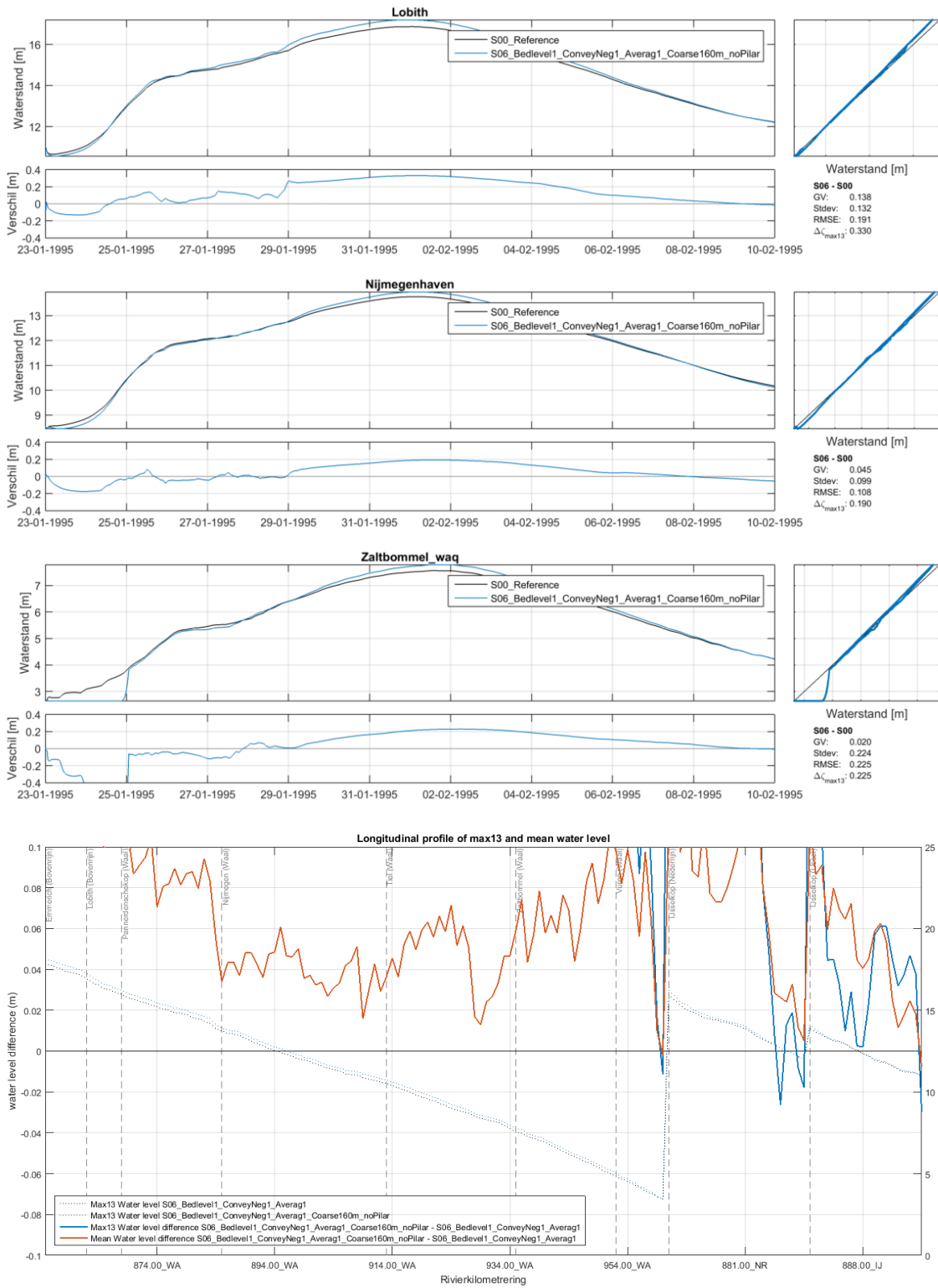
Deze statistieken zijn ten opzichte van de simulatie "Bedlevel1 Convey-1 Averag1"

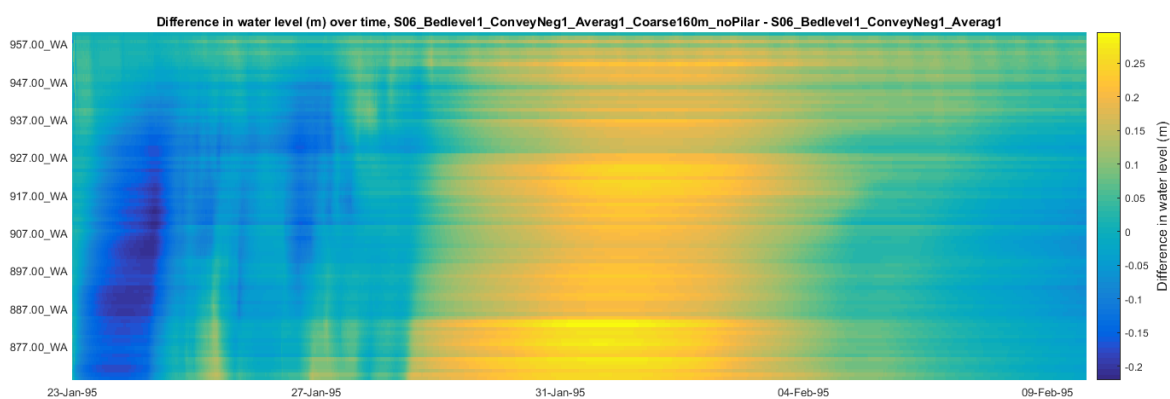




Statistiek			
Q-Waal	-76.1 m ³ /s (-1.0 %)	Emmerich_waq	+0.190 m (+2.8 %)
Q-Pankanaal	+69.3 m ³ /s (+1.5 %)	Lobith	+0.179 m (+2.7 %)
Q-Nederrijn	+0.1 m ³ /s (+0.0 %)	PannerdenscheKop	+0.176 m (+2.8 %)
Q-Yssel	+68.4 m ³ /s (+3.5 %)	Nijmegenhaven	+0.007 m (+0.1 %)
		TielWaal	+0.004 m (+0.1 %)
		Zaltbommel_waq	-0.010 m (-0.2 %)
Gemiddelde rekentijdstap	29.2007 s	Ijsselkop	+0.122 m (+2.4 %)
Runtime	299.727 s	Drielboven	+0.007 m (+0.2 %)

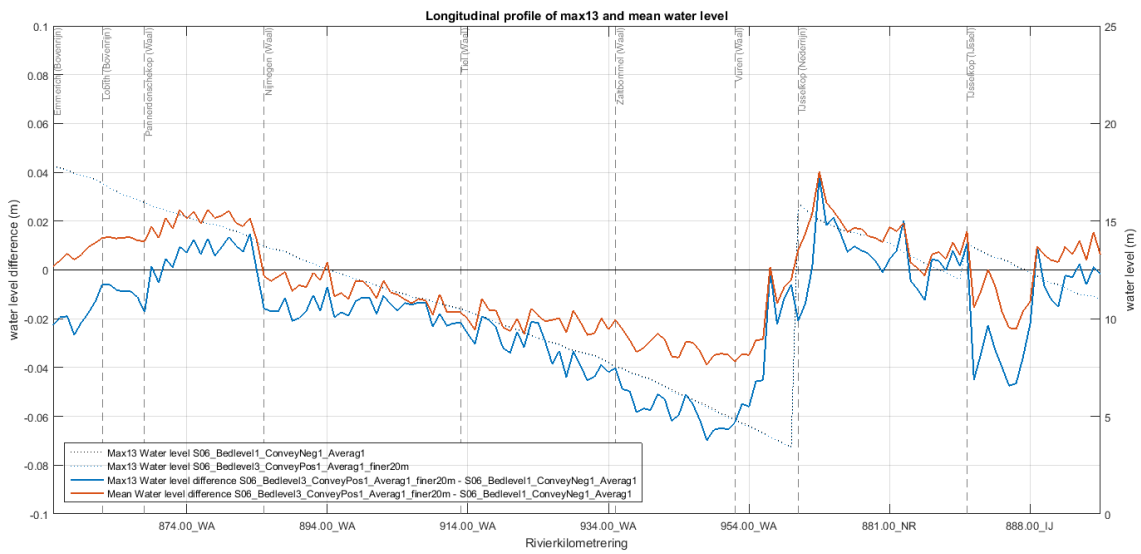
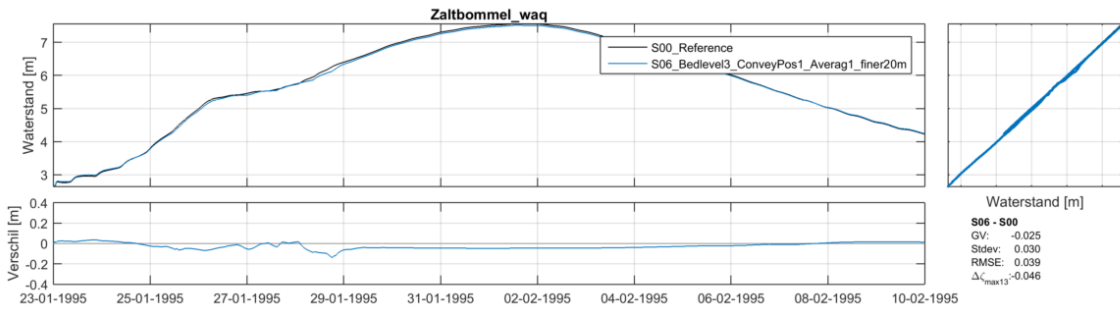
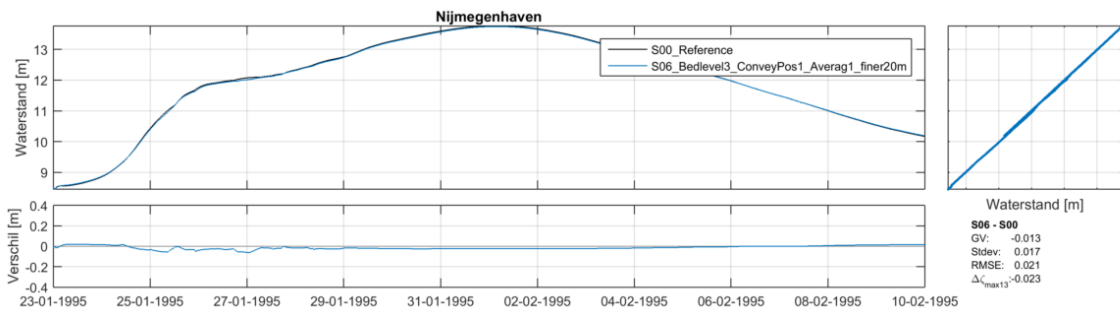
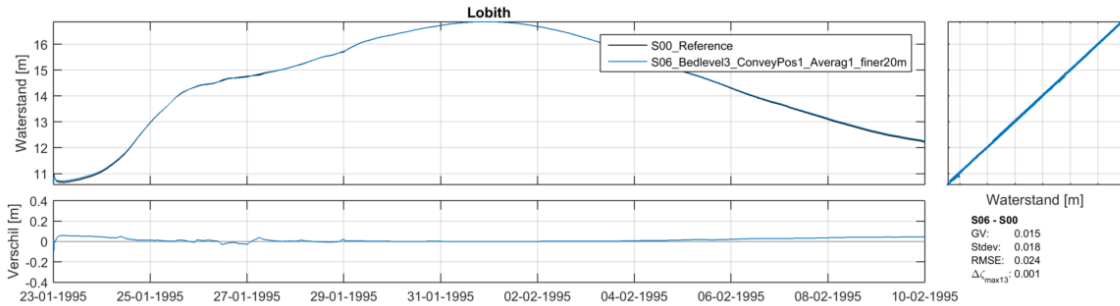
D.3.4 Bedlevel1 Convey-1 Averag1 Coarse160m (zonder brugpijler Nijmegen)

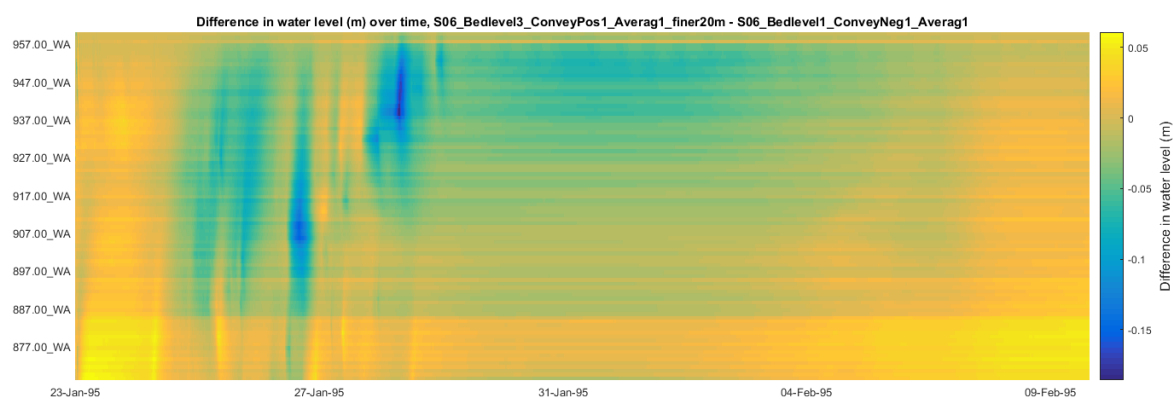




Statistiek			
Q-Waal	-33.9 m ³ /s (-0.5 %)	Emmerich_waq	+0.166 m (+2.4 %)
Q-Pankanaal	+27.4 m ³ /s (+0.6 %)	Lobith	+0.138 m (+2.1 %)
Q-Nederrijn	-24.5 m ³ /s (-1.0 %)	PannerdenscheKop	+0.123 m (+2.0 %)
Q-Yssel	+51.2 m ³ /s (+2.6 %)	Nijmegenhaven	+0.045 m (+0.8 %)
		TielWaal	+0.038 m (+0.7 %)
		Zaltbommel_waq	+0.020 m (+0.4 %)
Gemiddelde rekentijdstap	31.55780 s	Ijsselkop	+0.091 m (+1.8 %)
Runtime	266.9 s	Drielboven	+0.006 m (+0.1 %)

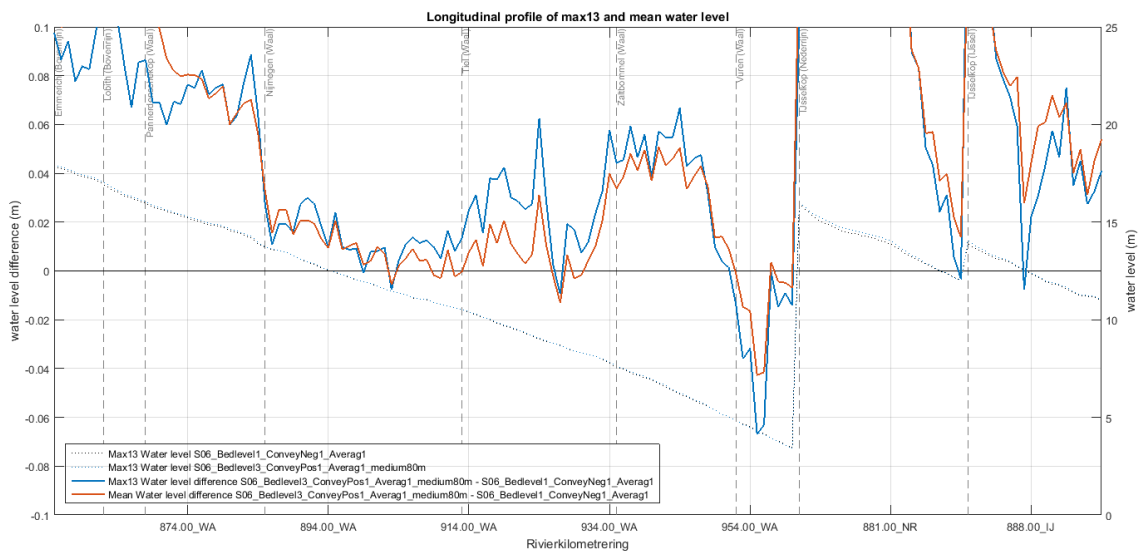
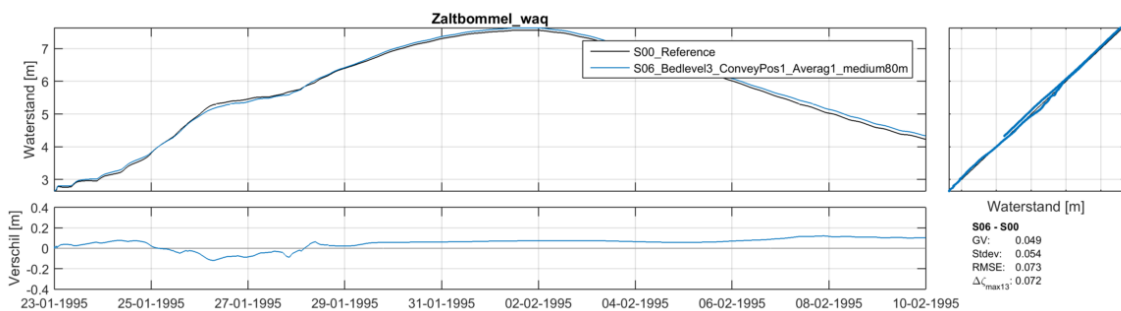
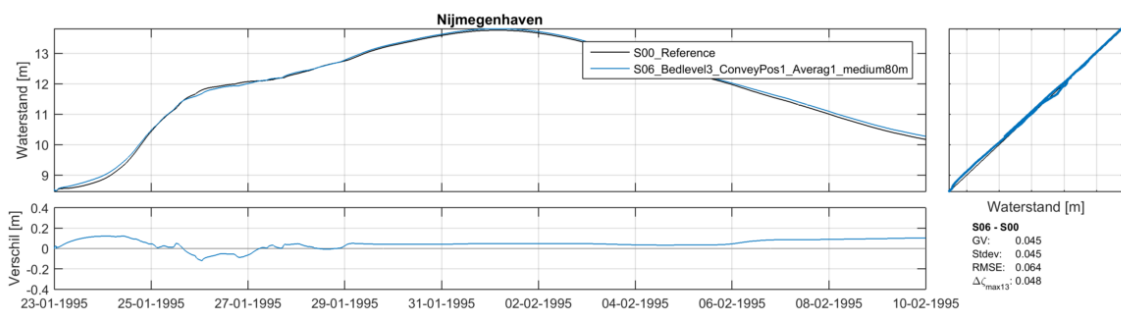
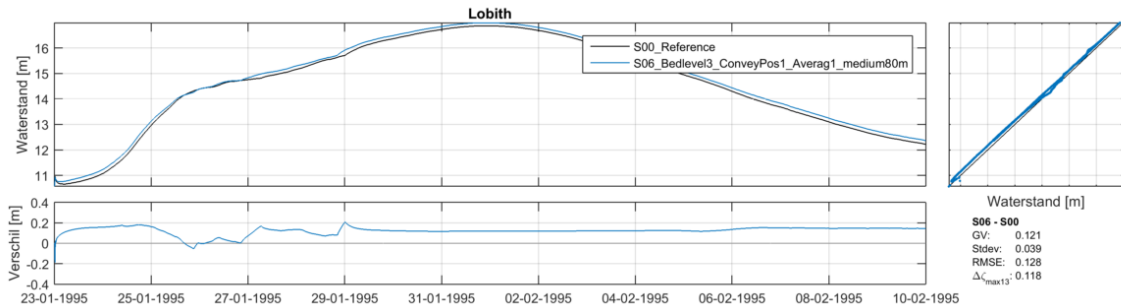
D.3.5 Bedlevel3 Convey 1 Averag1 finer20m

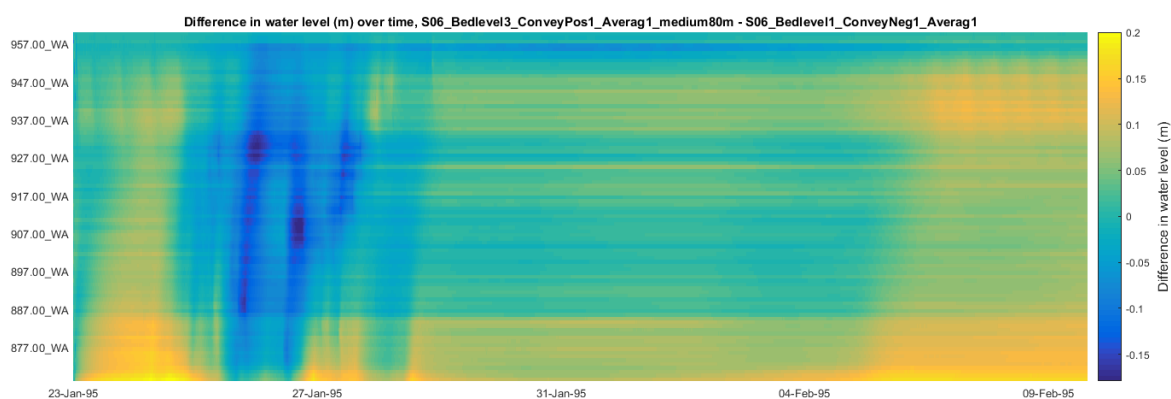




Statistiek			
Q-Waal	+10.9 m ³ /s (+0.1 %)	Emmerich_waq	+0.001 m (+0.0 %)
Q-Pankanaal	-13.1 m ³ /s (-0.3 %)	Lobith	+0.015 m (+0.2 %)
Q-Nederrijn	+0.9 m ³ /s (+0.0 %)	PannerdenscheKop	+0.017 m (+0.3 %)
Q-Yssel	-15.4 m ³ /s (-0.8 %)	Nijmegenhaven	-0.013 m (-0.2 %)
		TielWaal	-0.021 m (-0.4 %)
		Zaltbommel_waq	-0.025 m (-0.5 %)
Gemiddelde rekentijdstap	1.4273 s	Ijsselkop	+0.015 m (+0.3 %)
Runtime	378165.3 s	Drielboven	+0.006 m (+0.1 %)

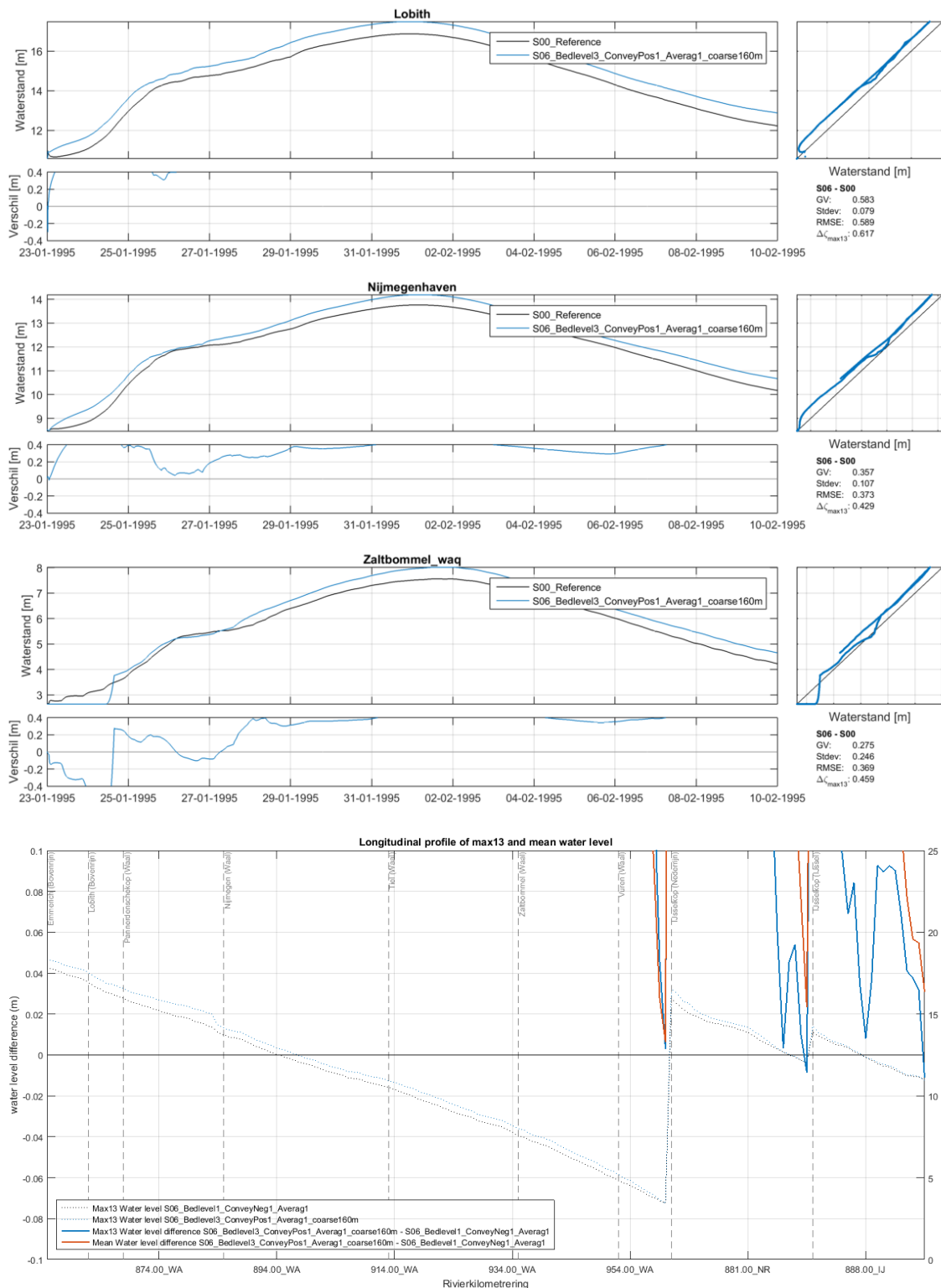
D.3.6 Bedlevel3 Convey 1 Averag1 medium80m

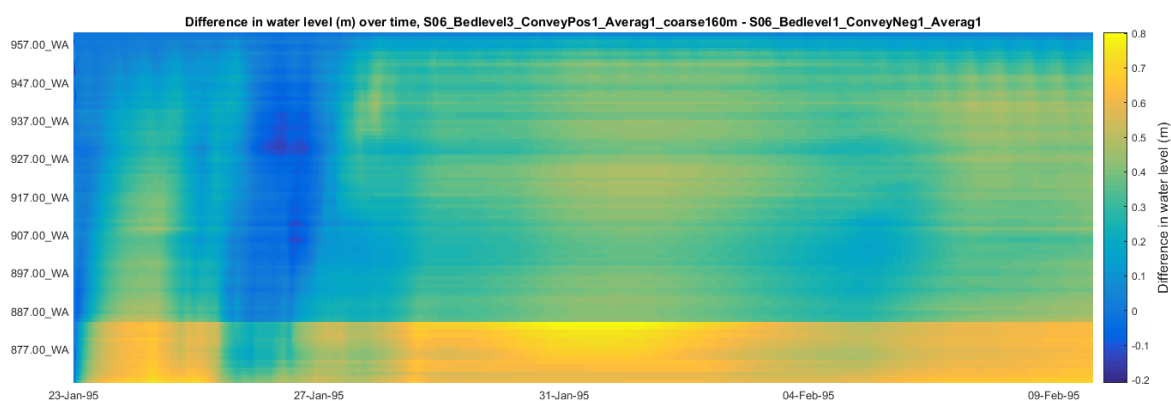




Statistiek			
Q-Waal	+24.4 m ³ /s (+0.3 %)	Emmerich_waq	+0.101 m (+1.5 %)
Q-Pankanaal	-32.8 m ³ /s (-0.7 %)	Lobith	+0.121 m (+1.9 %)
Q-Nederrijn	-16.0 m ³ /s (-0.6 %)	PannerdenscheKop	+0.126 m (+2.1 %)
Q-Yssel	-20.7 m ³ /s (-1.1 %)	Nijmegenhaven	+0.045 m (+0.9 %)
		TielWaal	-0.001 m (-0.0 %)
		Zaltbommel_waq	+0.049 m (+1.0 %)
Gemiddelde rekentijdstap	10.7137 s	Ijsselkop	+0.156 m (+3.1 %)
Runtime	2942.25 s	Drielboven	+0.014 m (+0.3 %)

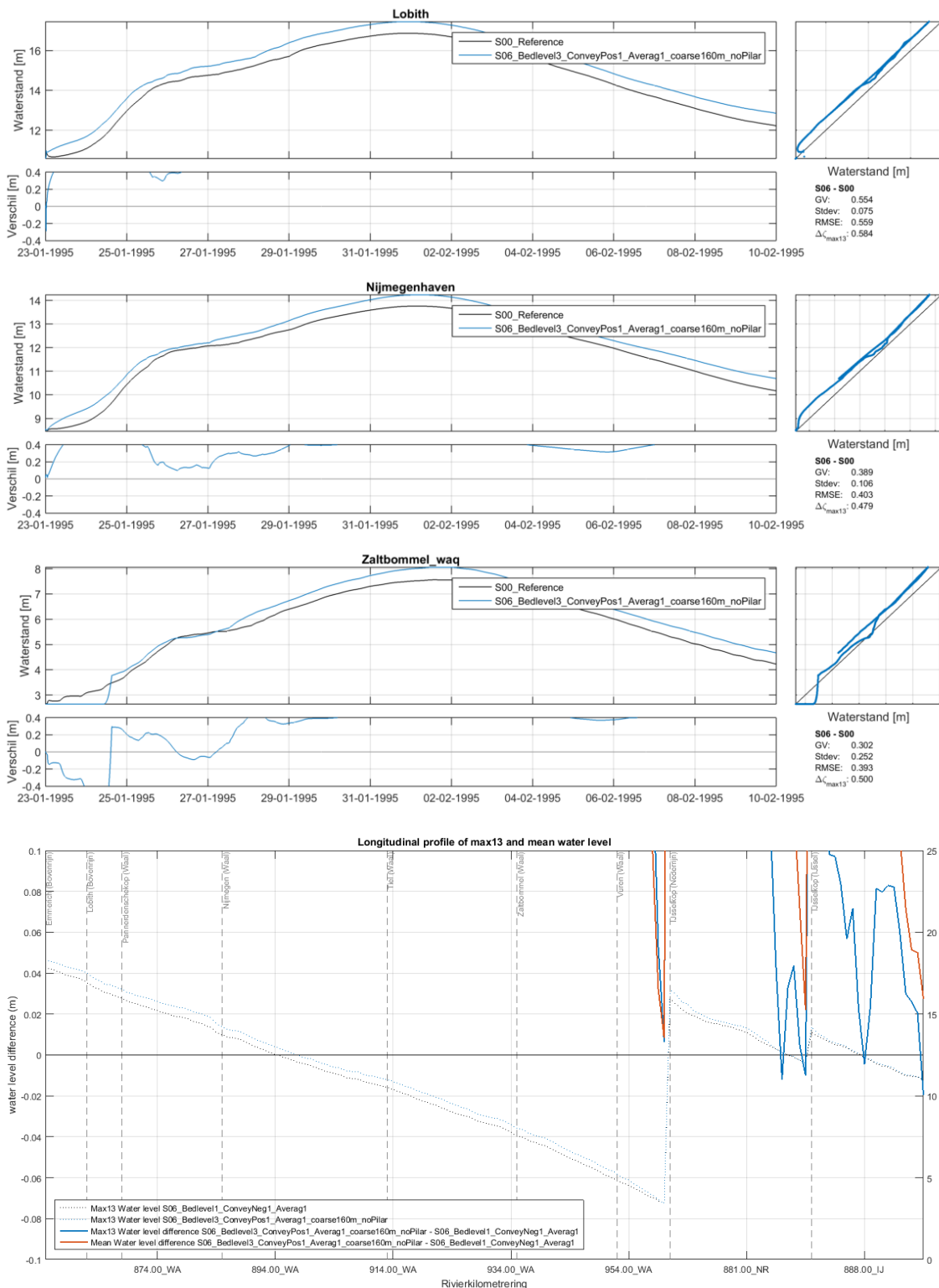
D.3.7 Bedlevel3 Convey 1 Averag1 coarse160m

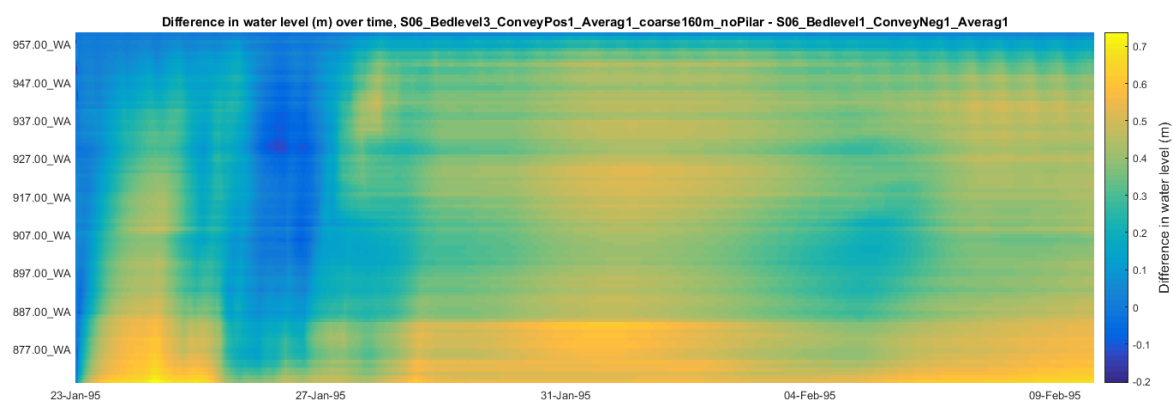




Statistiek			
Q-Waal	+24.3 m ³ /s (+0.3 %)	Emmerich_waq	+0.490 m (+7.0 %)
Q-Pankanaal	-46.3 m ³ /s (-1.1 %)	Lobith	+0.583 m (+8.4 %)
Q-Nederrijn	-63.6 m ³ /s (-2.6 %)	PannerdenscheKop	+0.620 m (+9.6 %)
Q-Yssel	+10.5 m ³ /s (+0.5 %)	Nijmegenhaven	+0.357 m (+6.2 %)
		TielWaal	+0.288 m (+5.1 %)
		Zaltbommel_waq	+0.275 m (+5.1 %)
Gemiddelde rekestijdstap	29.7407 s	Ijsselkop	+0.342 m (+6.6 %)
Runtime	293.531 s	Drielboven	+0.018 m (+0.4 %)

D.3.8 Bedlevel3 Convey 1 Averag1 coarse160m (zonder brugpijler Nijmegen)

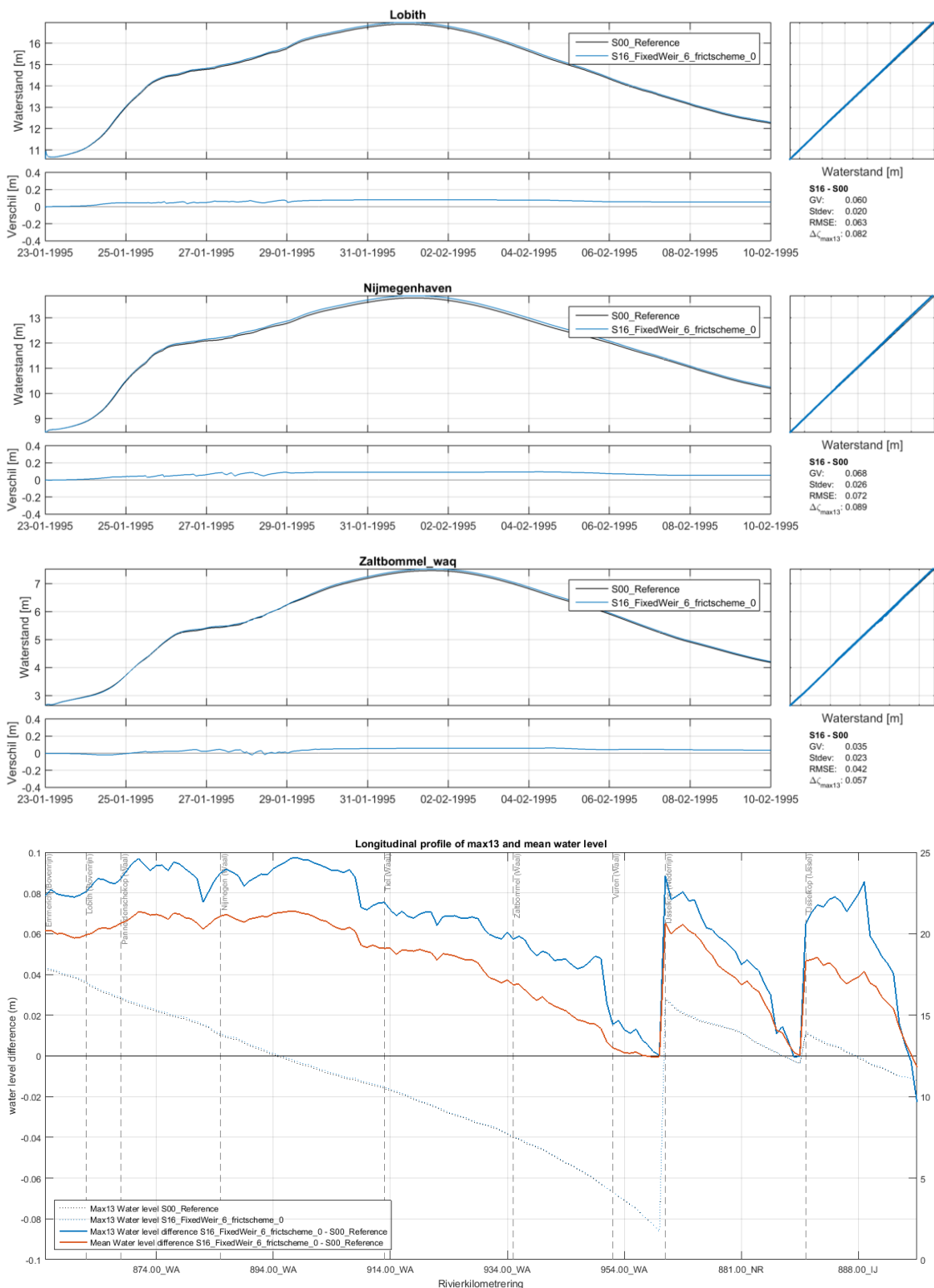


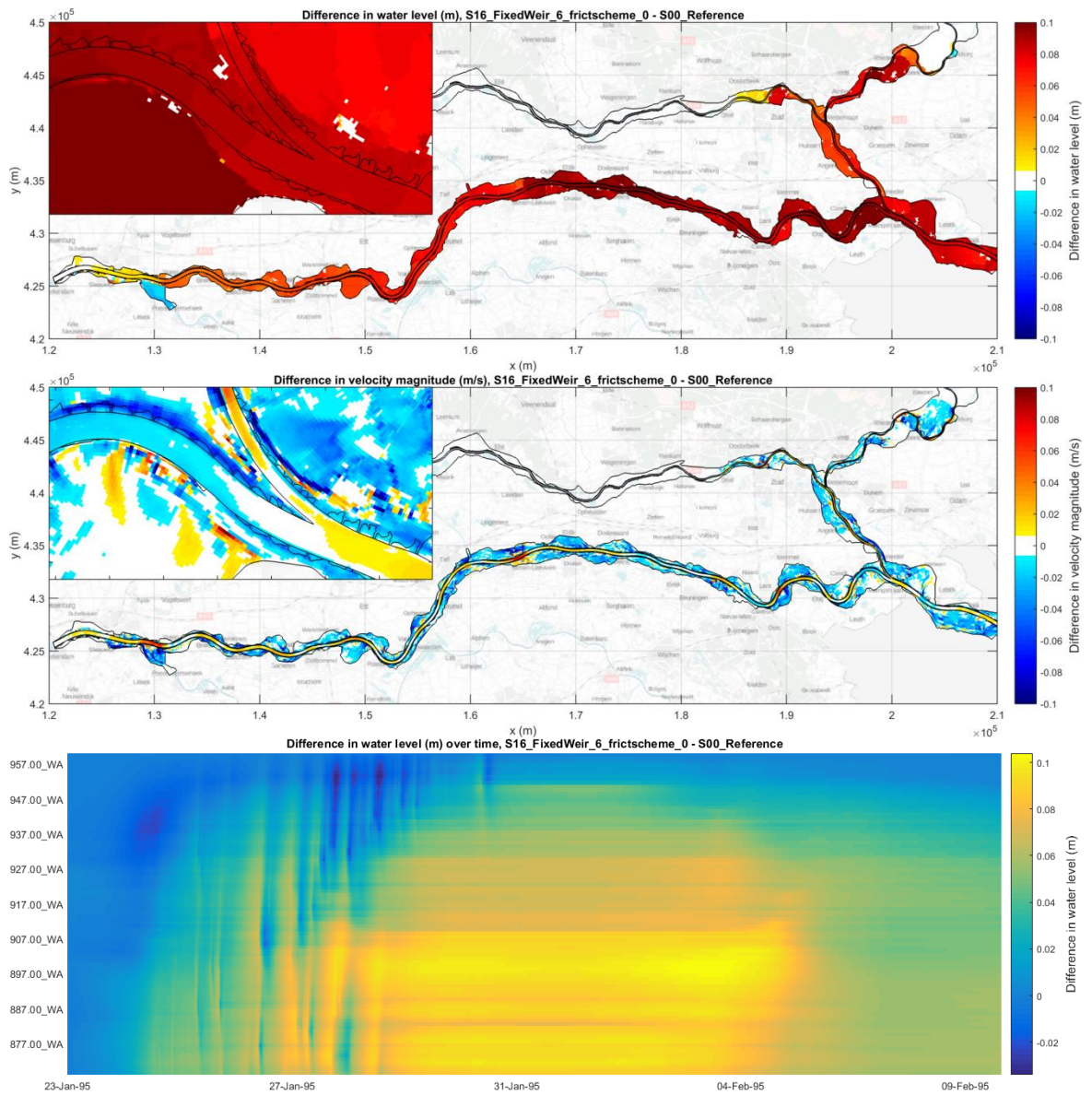


Statistiek			
Q-Waal	+60.6 m ³ /s (+0.8 %)	Emmerich_waq	+0.473 m (+6.7 %)
Q-Pankanaal	-82.3 m ³ /s (-1.9 %)	Lobith	+0.554 m (+8.0 %)
Q-Nederrijn	-83.4 m ³ /s (-3.5 %)	PannerdenscheKop	+0.582 m (+9.0 %)
Q-Yssel	-5.6 m ³ /s (-0.3 %)	Nijmegenhaven	+0.389 m (+6.8 %)
		TielWaal	+0.318 m (+5.6 %)
		Zaltbommel_waq	+0.302 m (+5.6 %)
Gemiddelde rekentijdstap	37.8837 s	Ijsselkop	+0.322 m (+6.2 %)
Runtime	241.5 s	Drielboven	+0.017 m (+0.4 %)

D.4 Fixed weir type

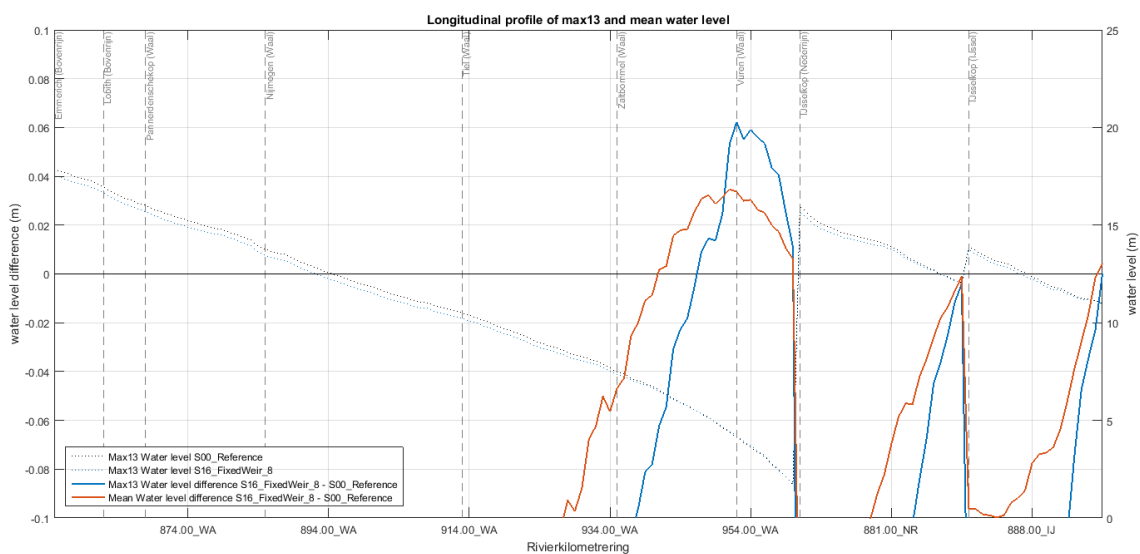
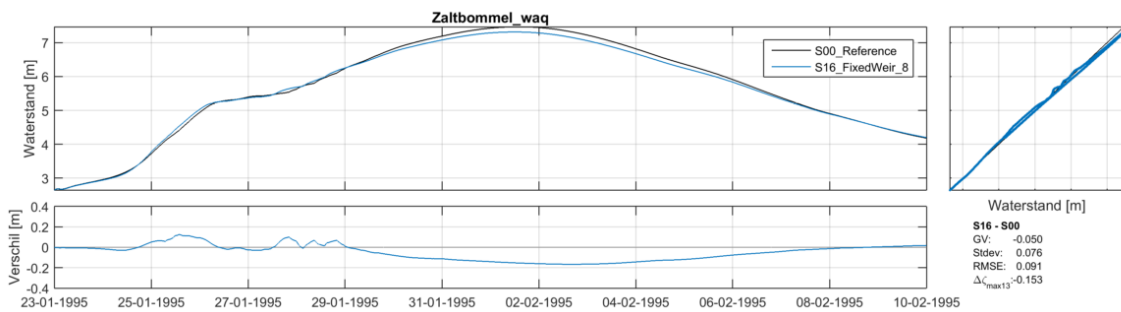
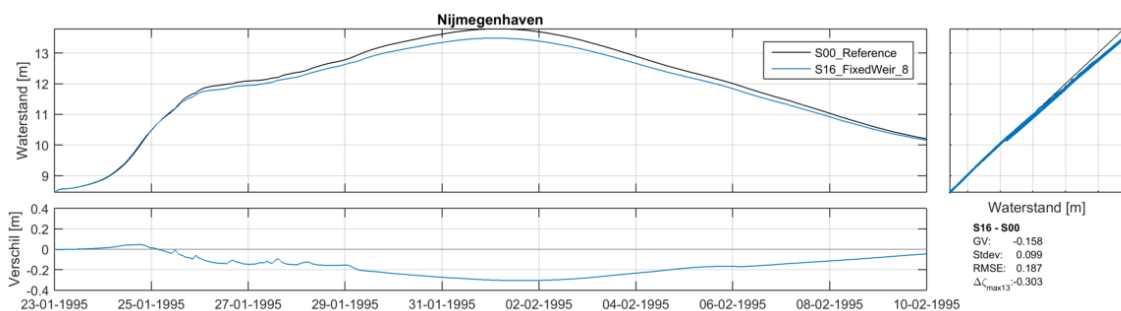
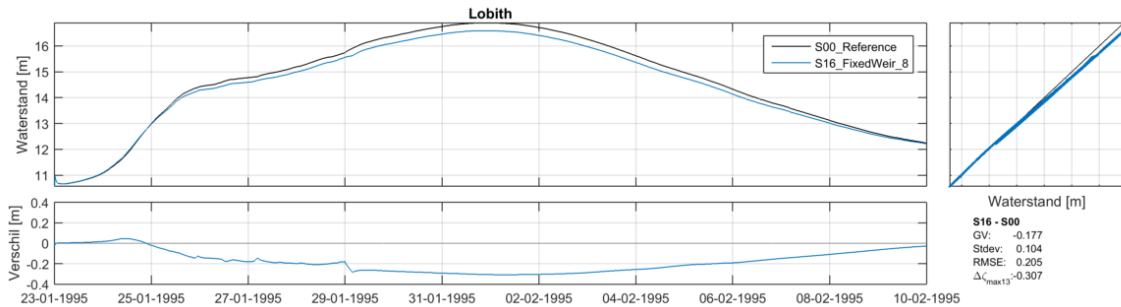
D.4.1 Fixed weir type 6: Numeriek, Frittscheme=0

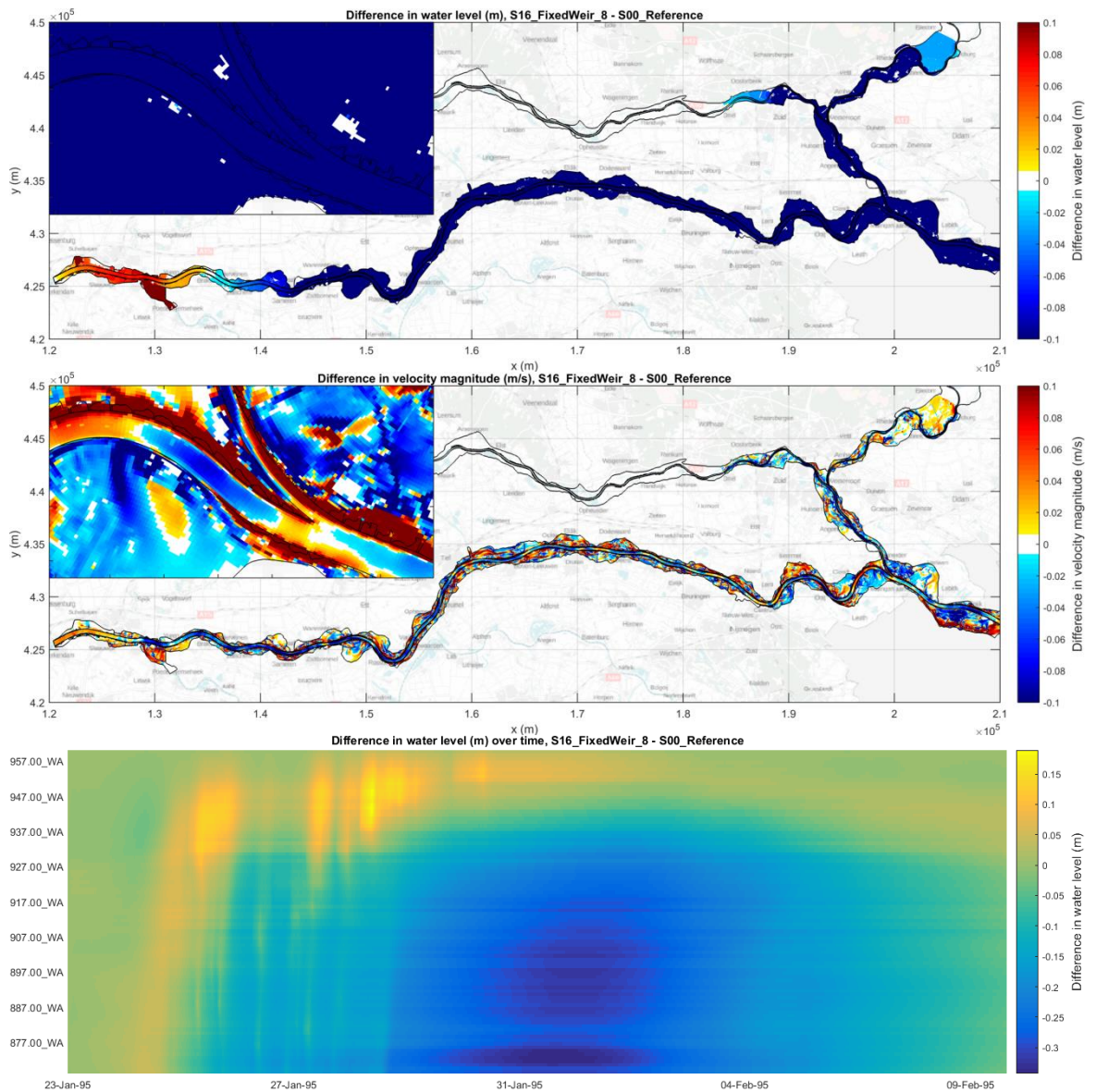




Statistiek			
Q-Waal	-3.8 m ³ /s (-0.1 %)	Emmerich_waq	+0.064 m (+1.0 %)
Q-Pankanaal	+2.9 m ³ /s (+0.1 %)	Lobith	+0.060 m (+0.9 %)
Q-Nederrijn	+2.1 m ³ /s (+0.1 %)	PannerdenscheKop	+0.065 m (+1.1 %)
Q-Yssel	+0.4 m ³ /s (+0.0 %)	Nijmegenhaven	+0.068 m (+1.2 %)
		TielWaal	+0.052 m (+1.0 %)
		Zaltbommel_waq	+0.035 m (+0.7 %)
Gemiddelde rekestijdstap	3.13864	Ijsselkop	+0.043 m (+0.8 %)
Runtime	38292.1	Drielboven	-0.000 m (-0.0 %)

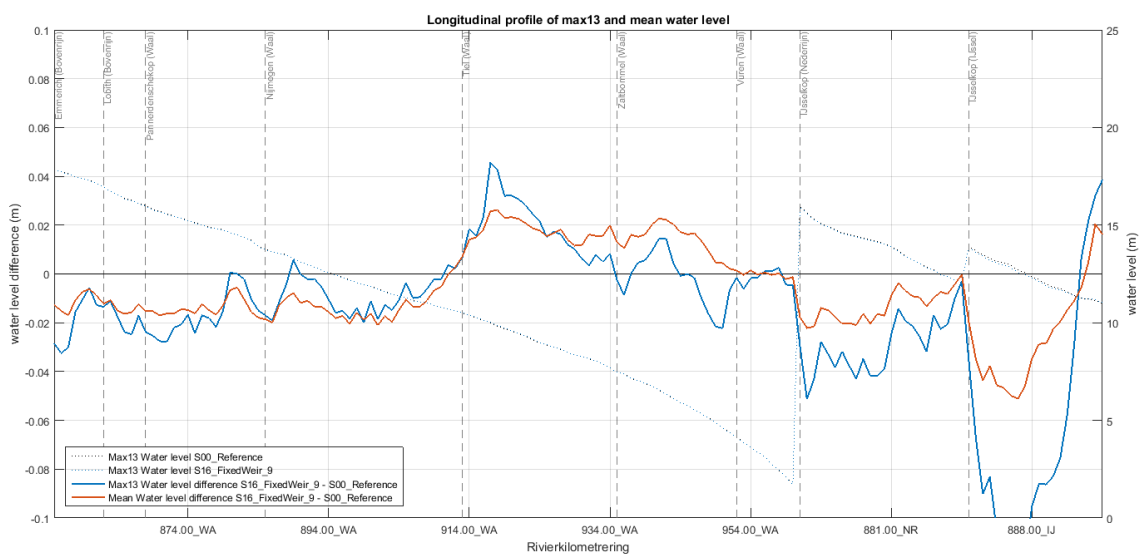
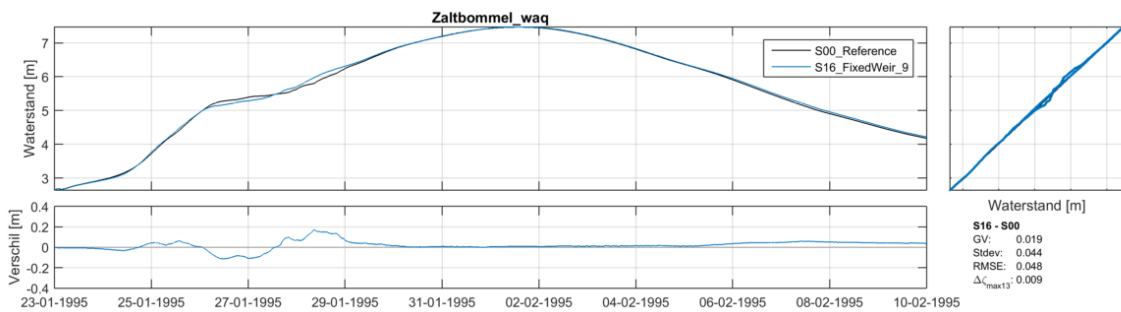
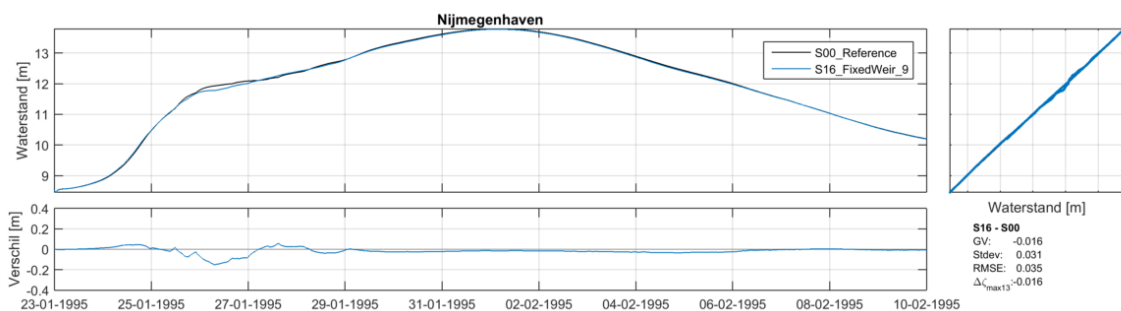
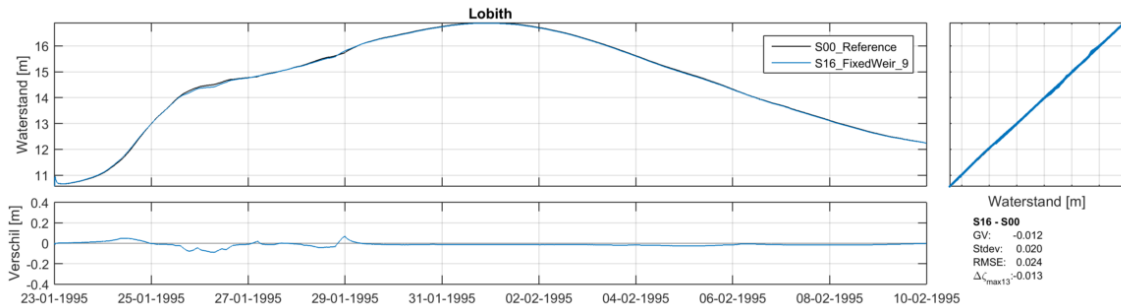
D.4.2 Fixed weir type 8: Tabellenboek

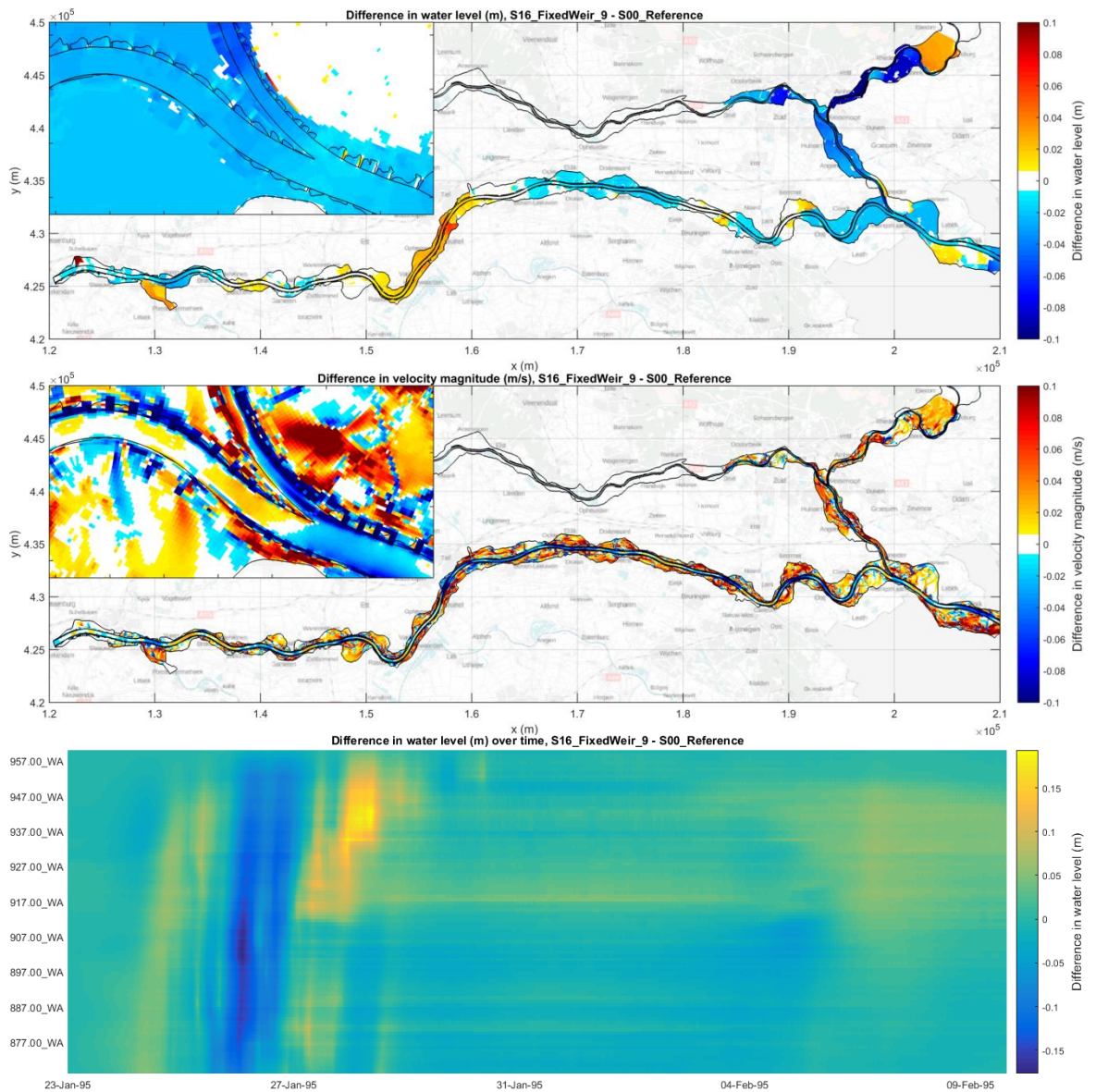




Statistiek			
Q-Waal	+39.6 m ³ /s (+0.5 %)	Emmerich_waq	-0.174 m (-2.8 %)
Q-Pankanaal	-38.4 m ³ /s (-0.9 %)	Lobith	-0.177 m (-2.9 %)
Q-Nederrijn	-28.1 m ³ /s (-1.1 %)	PannerdenscheKop	-0.167 m (-3.0 %)
Q-Yssel	-9.8 m ³ /s (-0.5 %)	Nijmegenhaven	-0.158 m (-3.1 %)
		TielWaal	-0.140 m (-2.8 %)
		Zaltbommel_waq	-0.050 m (-1.1 %)
Gemiddelde rekestijdstap	3.27109 s	Ijsselkop	-0.090 m (-1.9 %)
Runtime	35909.5 s	Drielboven	+0.001 m (+0.0 %)

D.4.3 Fixed weir type 9: Villemonte

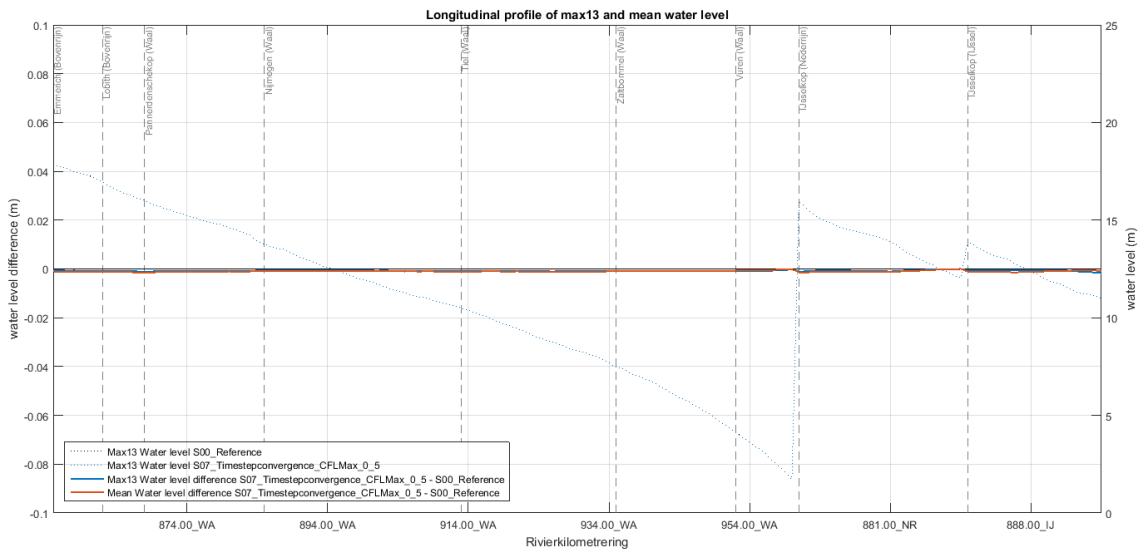
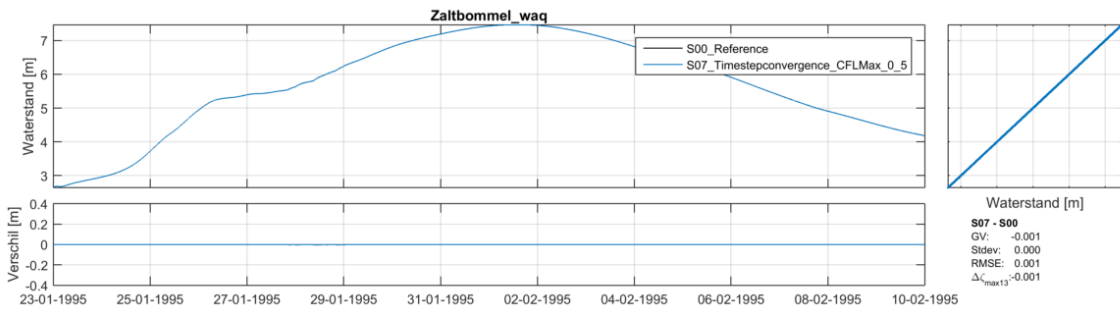
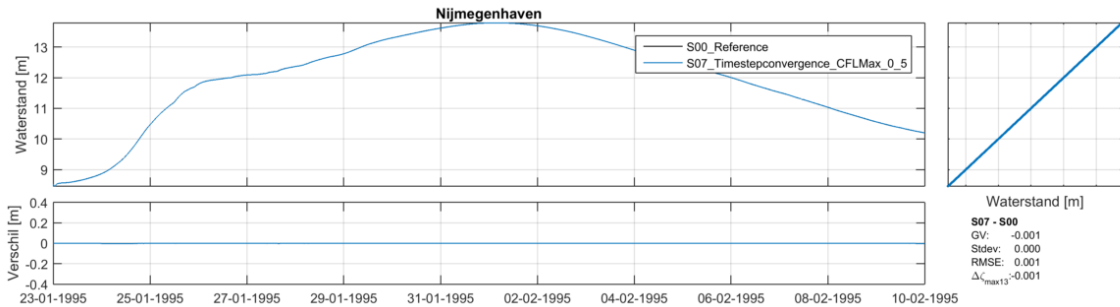
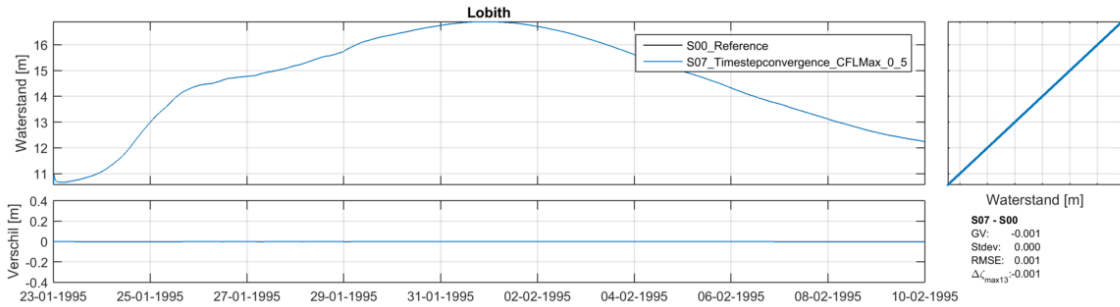


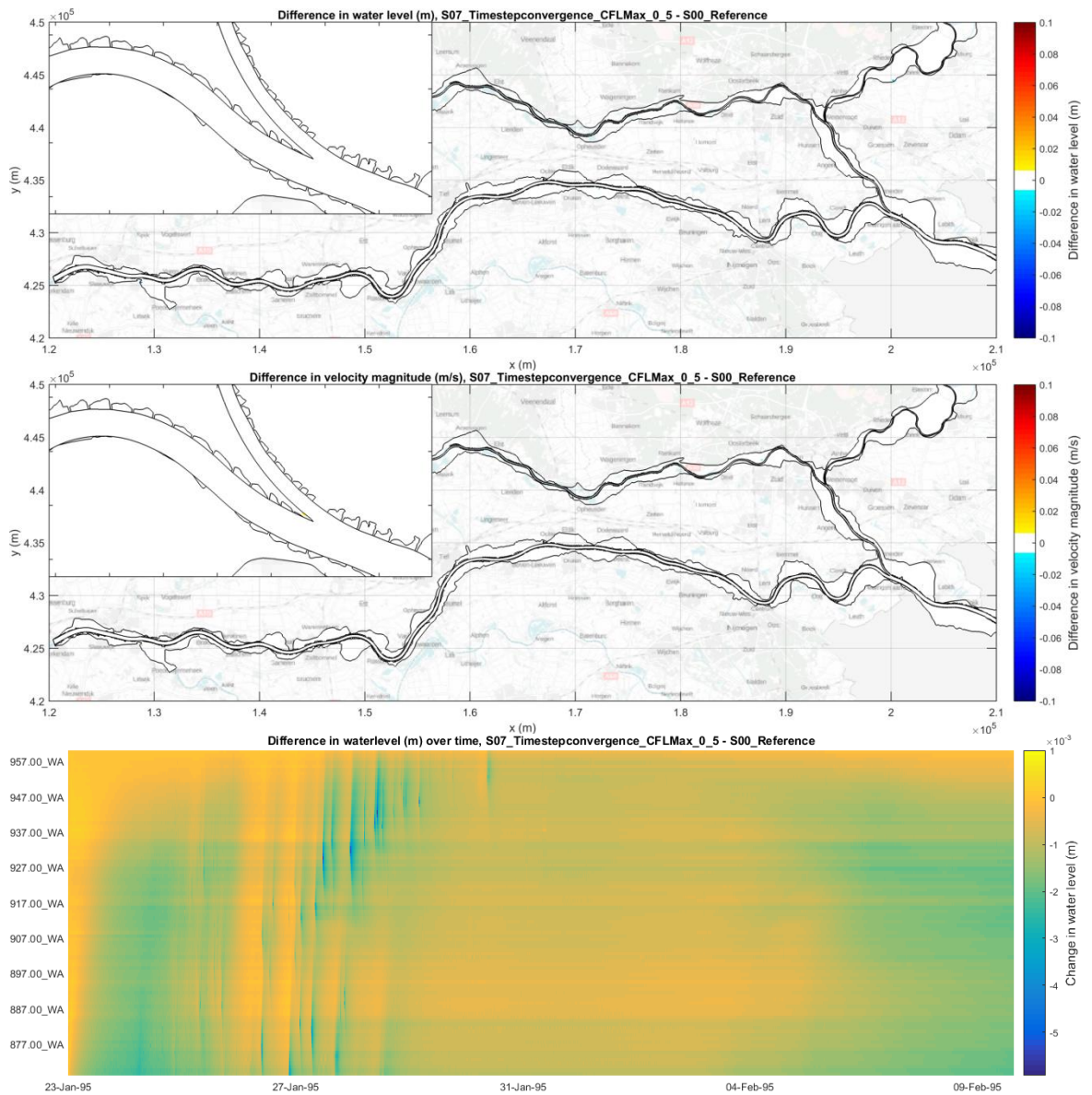


Statistiek			
Q-Waal	-18.8 m ³ /s (-0.3 %)	Emmerich_waq	-0.011 m (-0.2 %)
Q-Pankanaal	+19.3 m ³ /s (+0.4 %)	Lobith	-0.012 m (-0.2 %)
Q-Nederrijn	-0.2 m ³ /s (-0.0 %)	PannerdenscheKop	-0.009 m (-0.1 %)
Q-Yssel	+20.0 m ³ /s (+1.0 %)	Nijmegenhaven	-0.016 m (-0.3 %)
		TielWaal	+0.004 m (+0.1 %)
		Zaltbommel_waq	+0.019 m (+0.4 %)
Gemiddelde rekestijdstap	2.92683 s	Ijsselkop	-0.014 m (-0.3 %)
Runtime	40061.4 s	Drielboven	+0.001 m (+0.0 %)

D.5 Rekeningtimestep

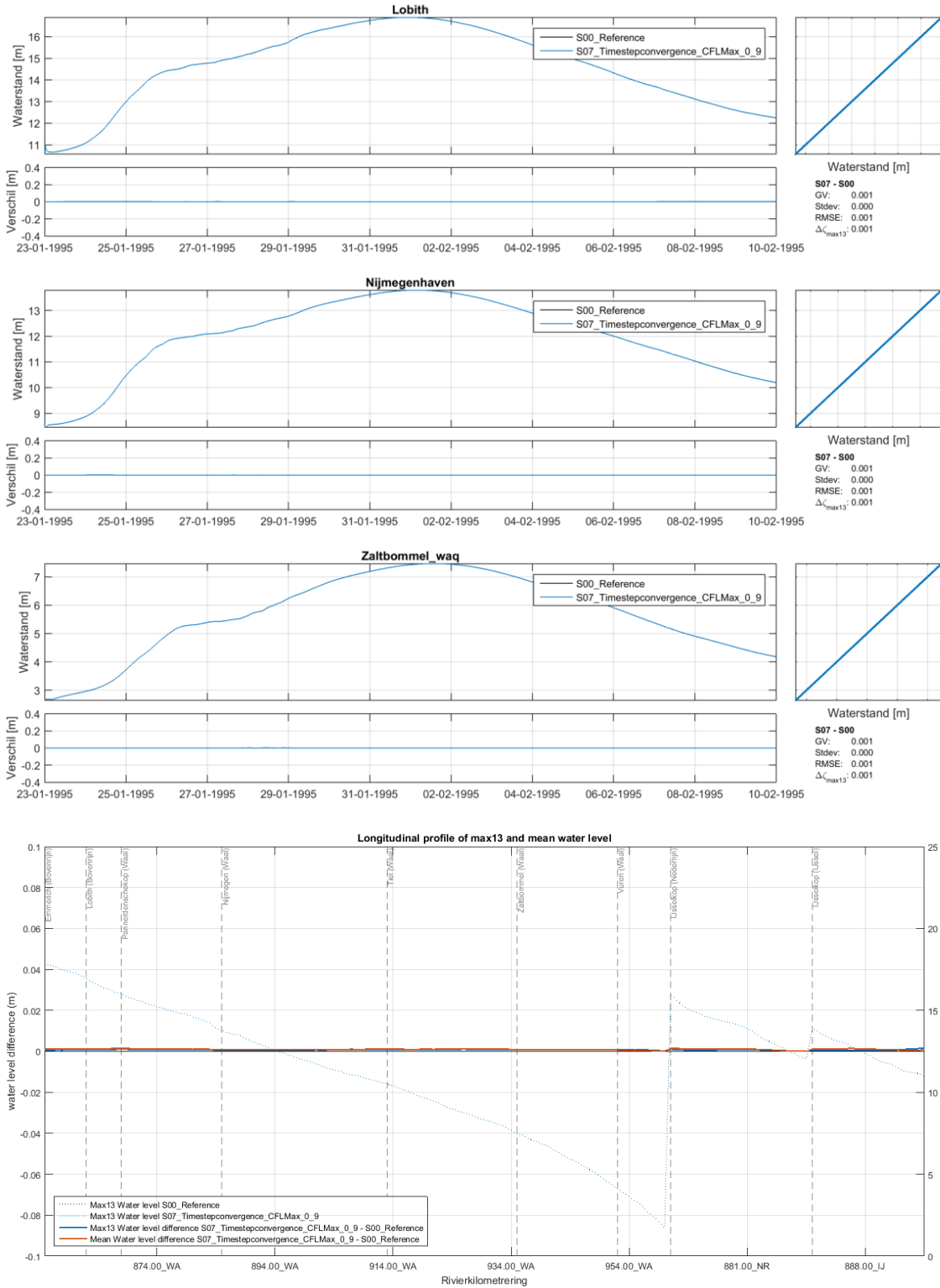
D.5.1 CFLMax=0.5

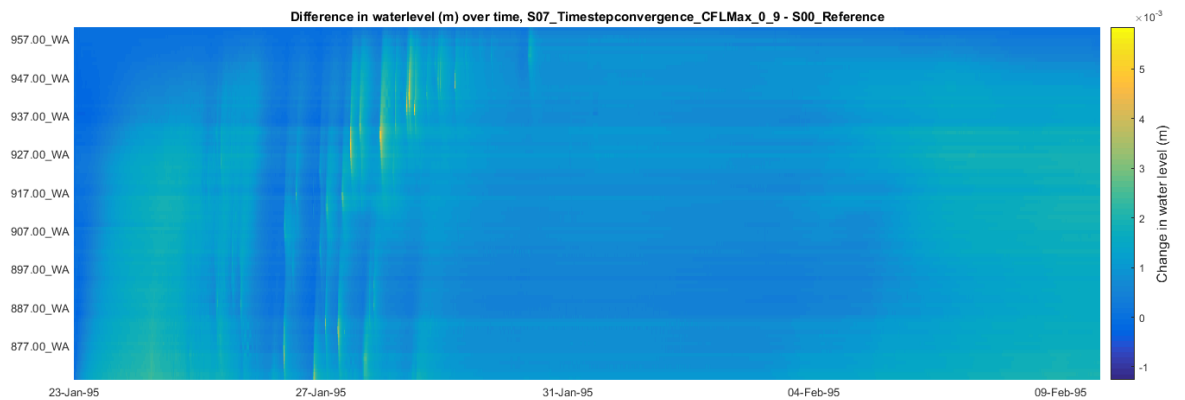
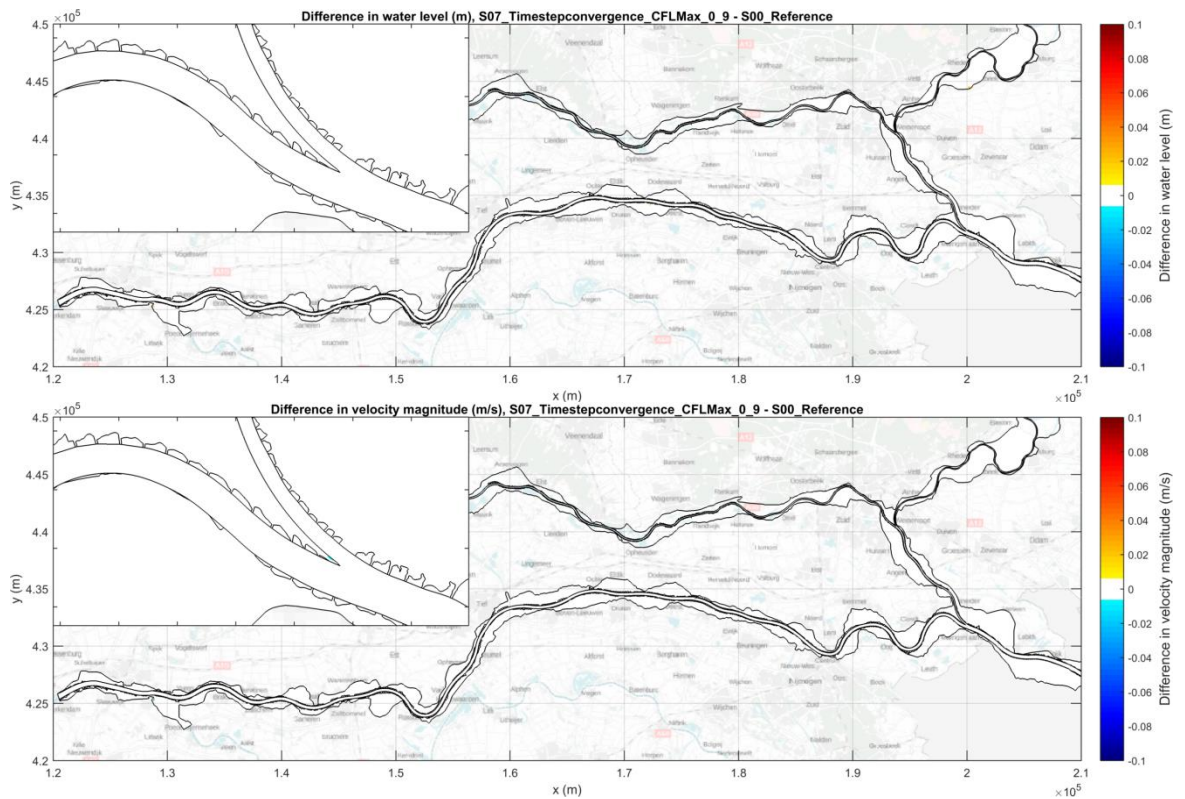




Statistiek			
Q-Waal	-0.3 m ³ /s (-0.0 %)	Emmerich_waq	-0.001 m (-0.0 %)
Q-Pankanaal	+0.4 m ³ /s (+0.0 %)	Lobith	-0.001 m (-0.0 %)
Q-Nederrijn	+0.0 m ³ /s (+0.0 %)	PannerdenscheKop	-0.001 m (-0.0 %)
Q-Yssel	+0.4 m ³ /s (+0.0 %)	Nijmegenhaven	-0.001 m (-0.0 %)
		TielWaal	-0.001 m (-0.0 %)
		Zaltbommel_waq	-0.001 m (-0.0 %)
Gemiddelde rekentijdstap	2.20628 s	Ijsselkop	-0.001 m (-0.0 %)
Runtime	52441.9 s	Drielboven	+0.000 m (+0.0 %)

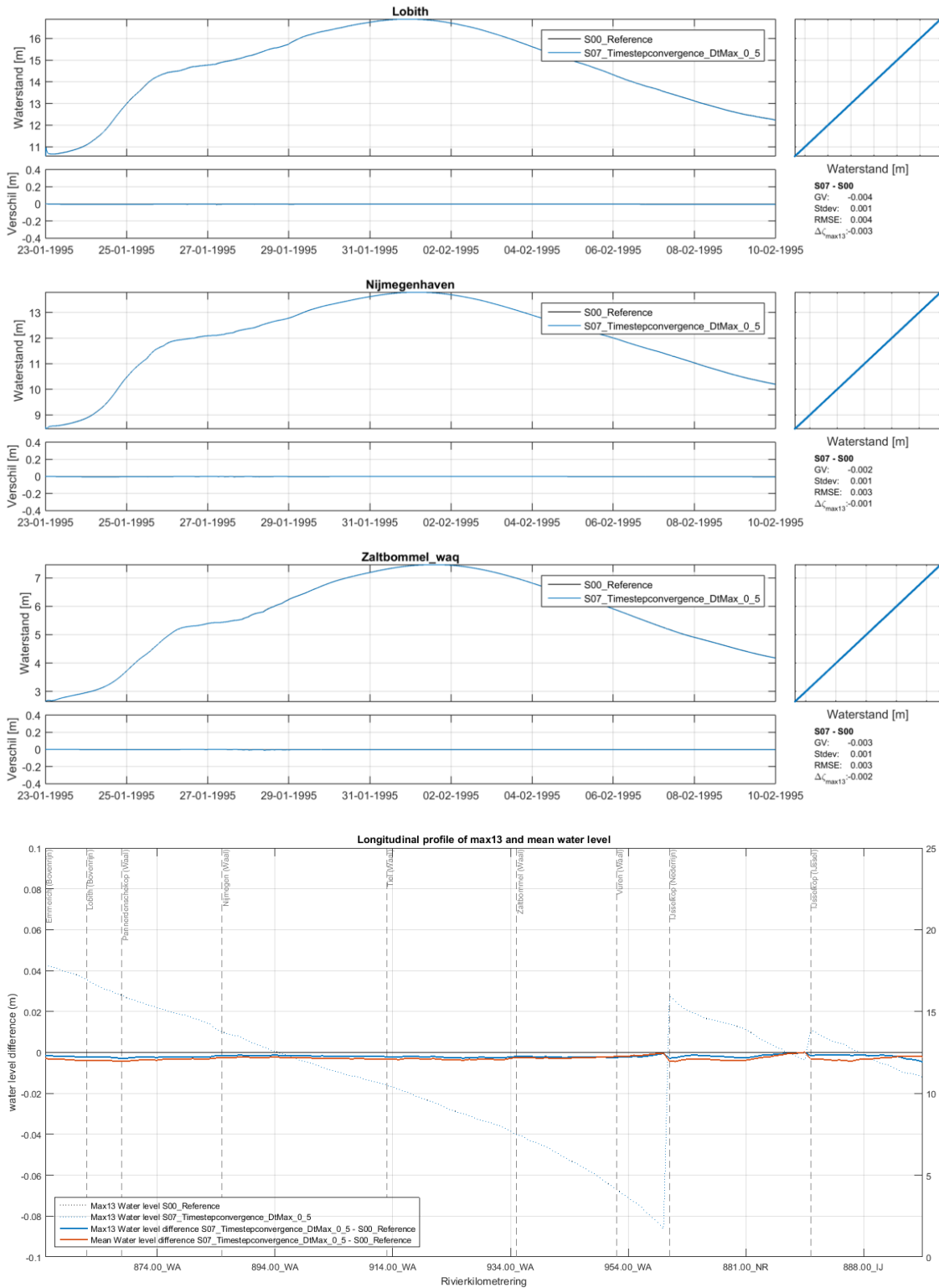
D.5.2 CFLMax=0.9

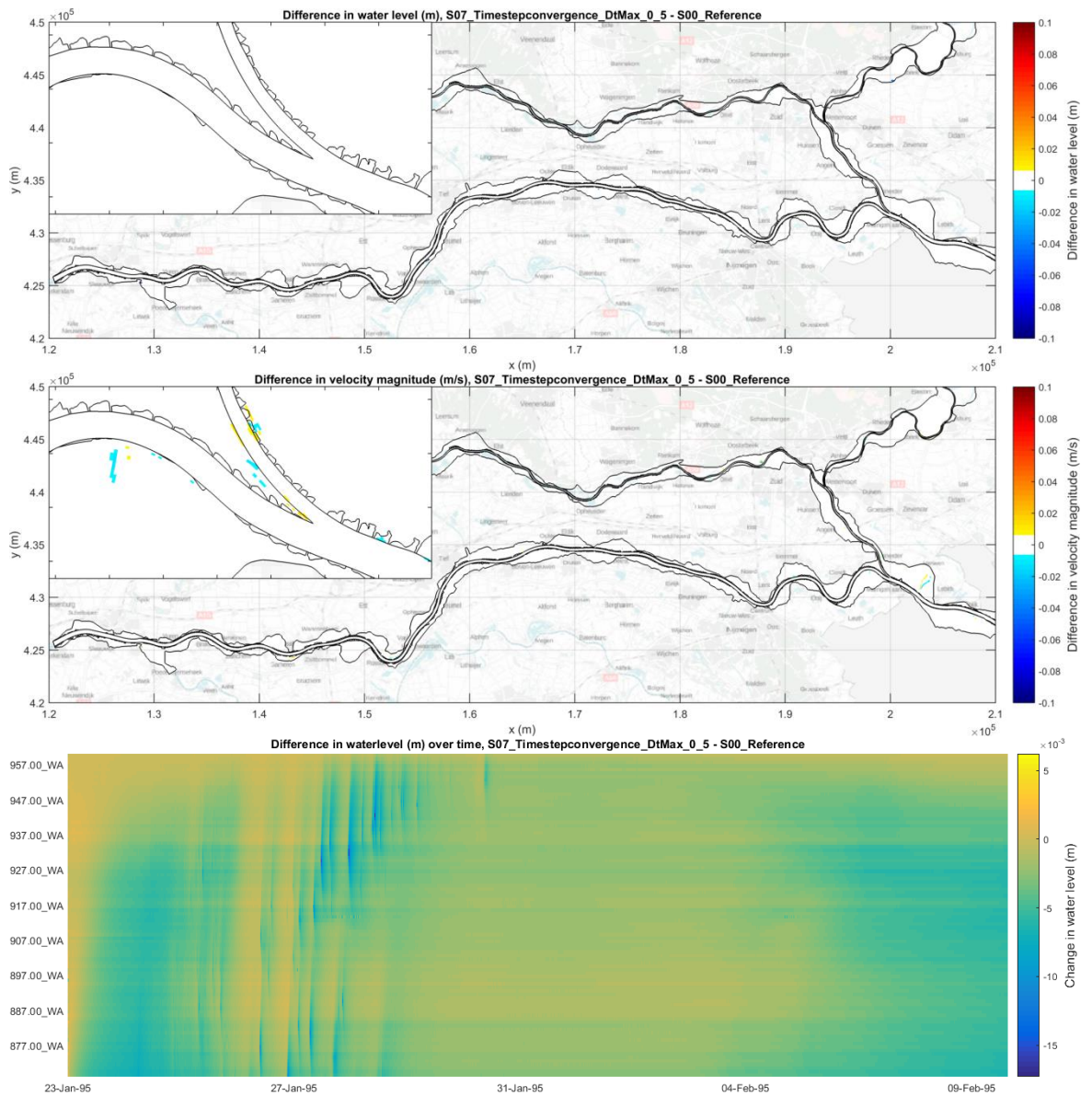




Statistiek			
Q-Waal	+0.3 m ³ /s (+0.0 %)	Emmerich_waq	+0.001 m (+0.0 %)
Q-Pankanaal	-0.4 m ³ /s (-0.0 %)	Lobith	+0.001 m (+0.0 %)
Q-Nederrijn	-0.0 m ³ /s (-0.0 %)	PannerdenscheKop	+0.001 m (+0.0 %)
Q-Yssel	-0.3 m ³ /s (-0.0 %)	Nijmegenhaven	+0.001 m (+0.0 %)
		TielWaal	+0.001 m (+0.0 %)
		Zaltbommel_waq	+0.001 m (+0.0 %)
Gemiddelde rekentijdstap	3.98402 s	Ijsselkop	+0.001 m (+0.0 %)
Runtime	32682.9 s	Drielboven	-0.000 m (-0.0 %)

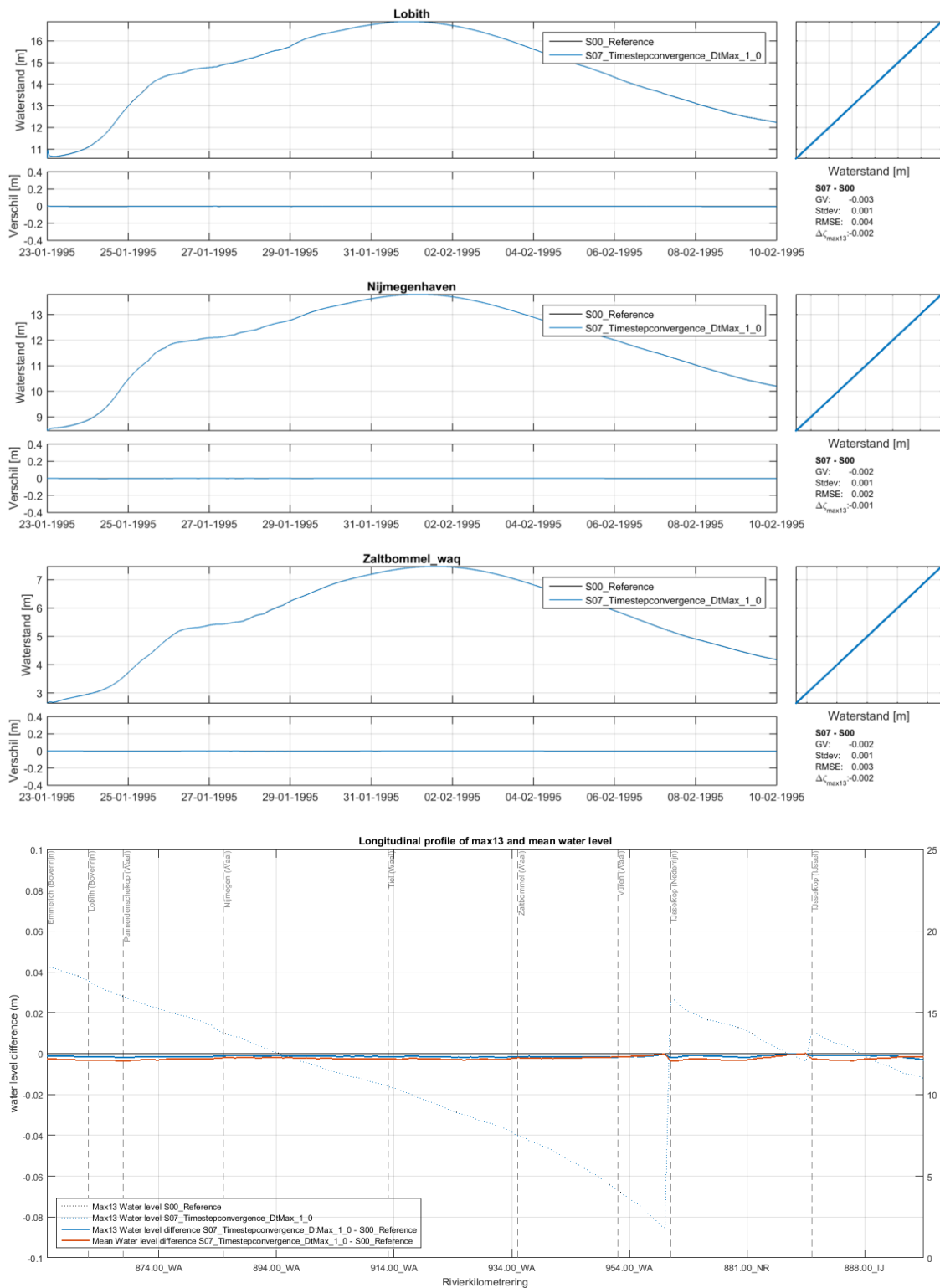
D.5.3 DtMax=0.5

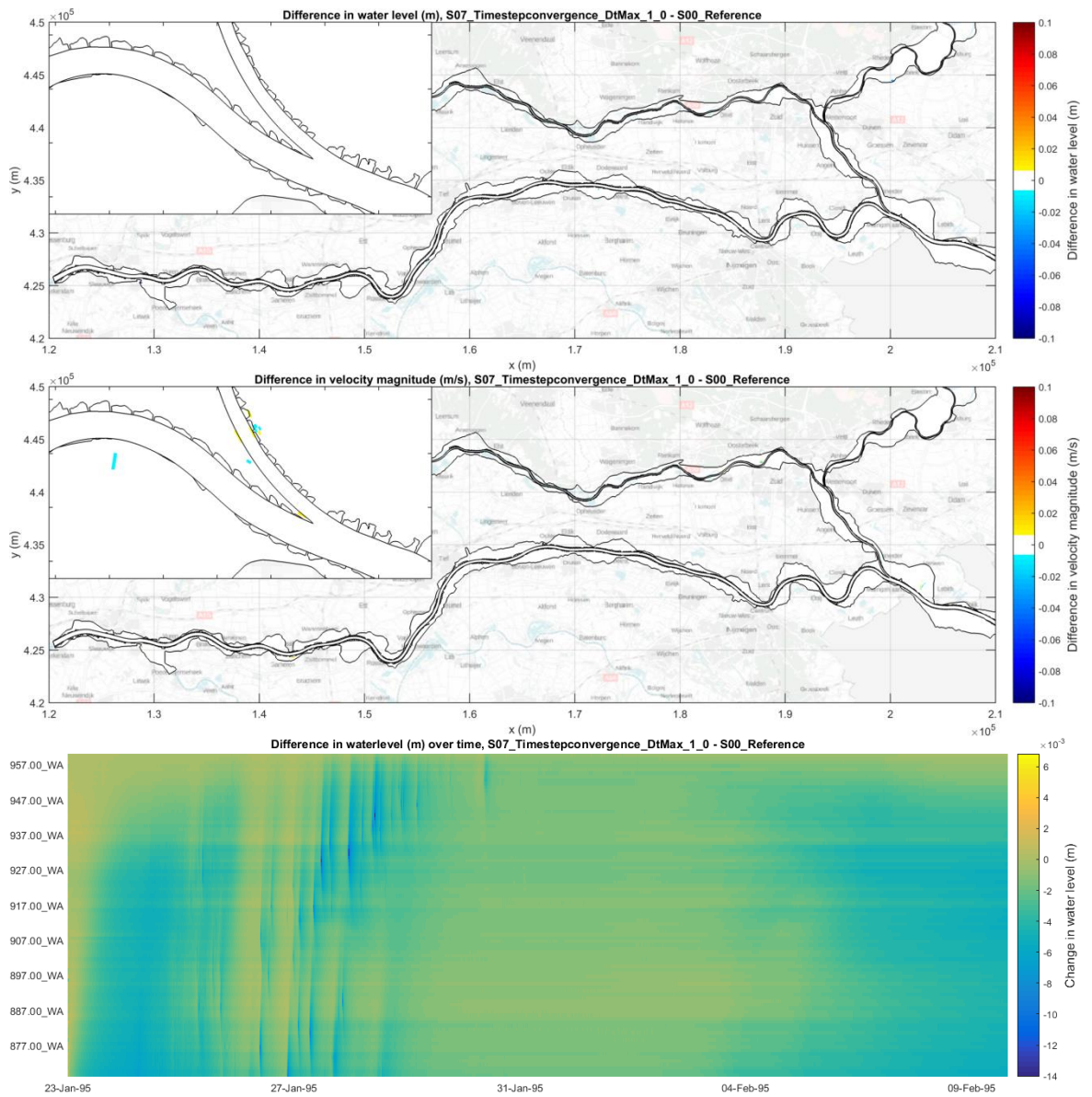




Statistiek			
Q-Waal	-1.0 m ³ /s (-0.0 %)	Emmerich_waq	-0.003 m (-0.0 %)
Q-Pankanaal	+1.1 m ³ /s (+0.0 %)	Lobith	-0.004 m (-0.1 %)
Q-Nederrijn	+0.0 m ³ /s (+0.0 %)	PannerdenscheKop	-0.004 m (-0.1 %)
Q-Yssel	+1.1 m ³ /s (+0.1 %)	Nijmegenhaven	-0.002 m (-0.0 %)
		TielWaal	-0.003 m (-0.1 %)
		Zaltbommel_waq	-0.003 m (-0.1 %)
Gemiddelde rekentijdstap	0.5	Ijsselkop	-0.004 m (-0.1 %)
Runtime	204663	Drielboven	+0.000 m (+0.0 %)

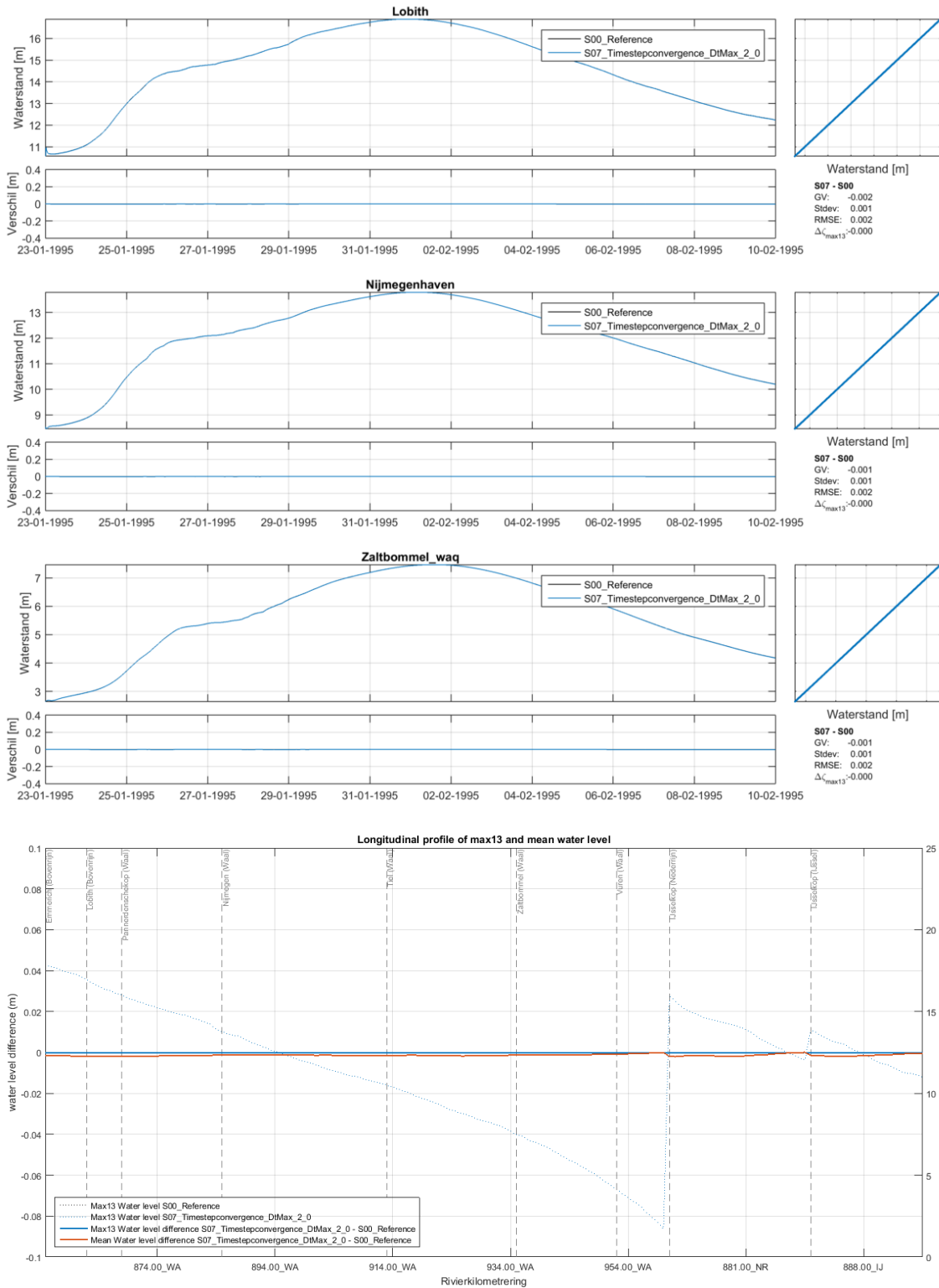
D.5.4 DtMax=1.0

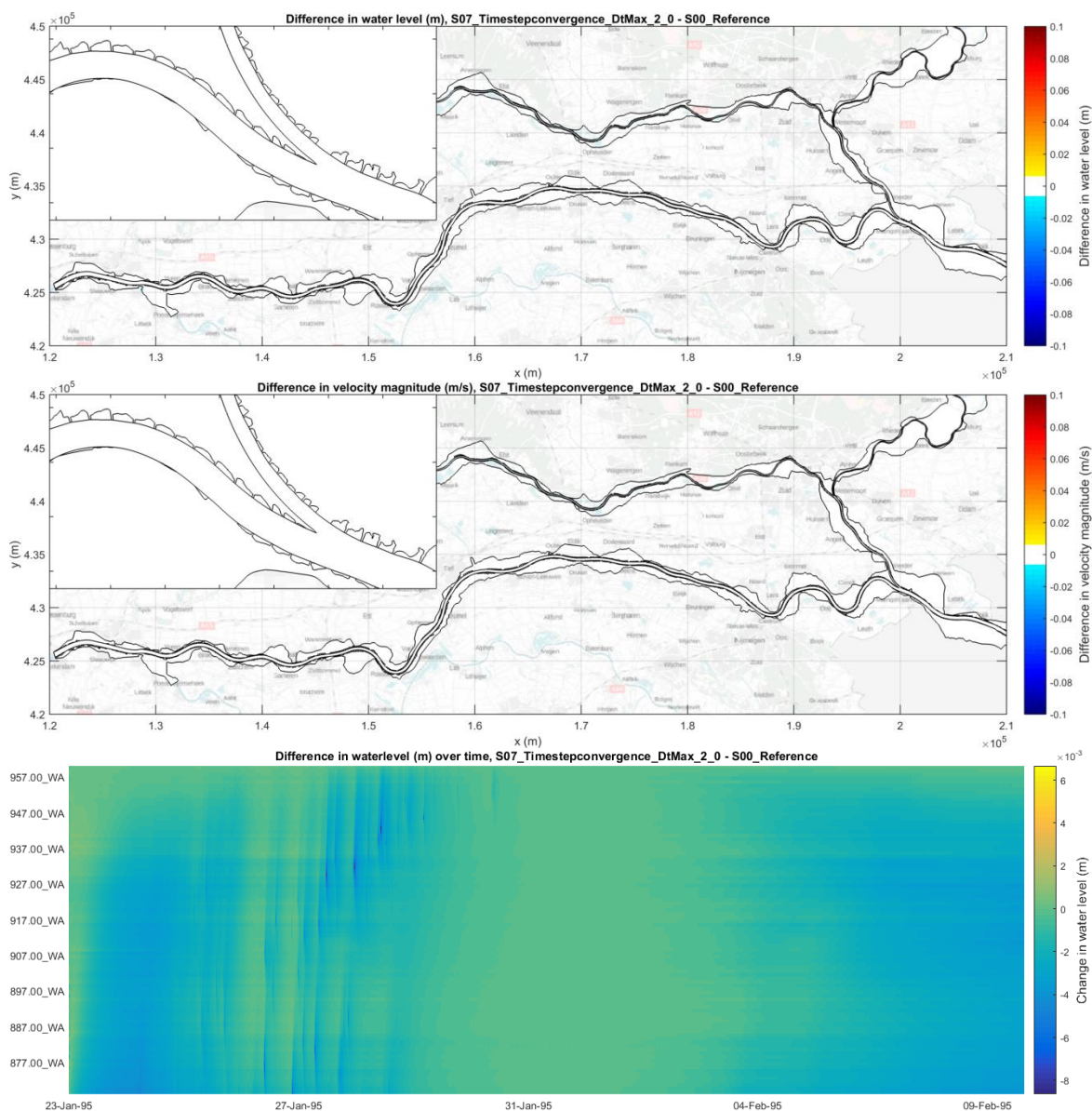




Statistiek			
Q-Waal	-0.8 m ³ /s (-0.0 %)	Emmerich_waq	-0.002 m (-0.0 %)
Q-Pankanaal	+0.8 m ³ /s (+0.0 %)	Lobith	-0.003 m (-0.1 %)
Q-Nederrijn	-0.0 m ³ /s (-0.0 %)	PannerdenscheKop	-0.003 m (-0.1 %)
Q-Yssel	+0.9 m ³ /s (+0.0 %)	Nijmegenhaven	-0.002 m (-0.0 %)
		TielWaal	-0.003 m (-0.1 %)
		Zaltbommel_waq	-0.002 m (-0.0 %)
Gemiddelde rekentijdstap	1	Ijsselkop	-0.003 m (-0.1 %)
Runtime	106143	Drielboven	+0.000 m (+0.0 %)

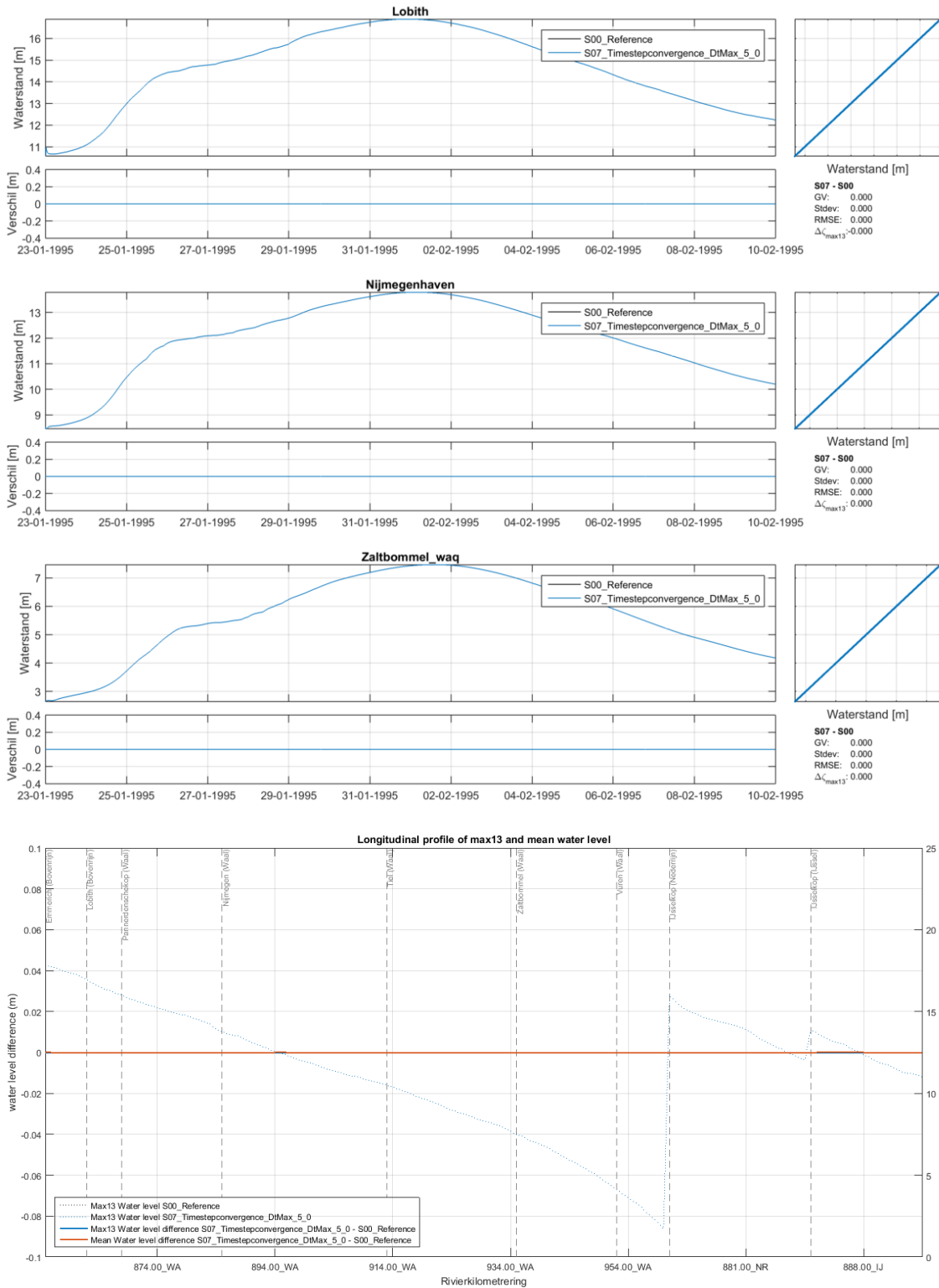
D.5.5 DtMax=2.0

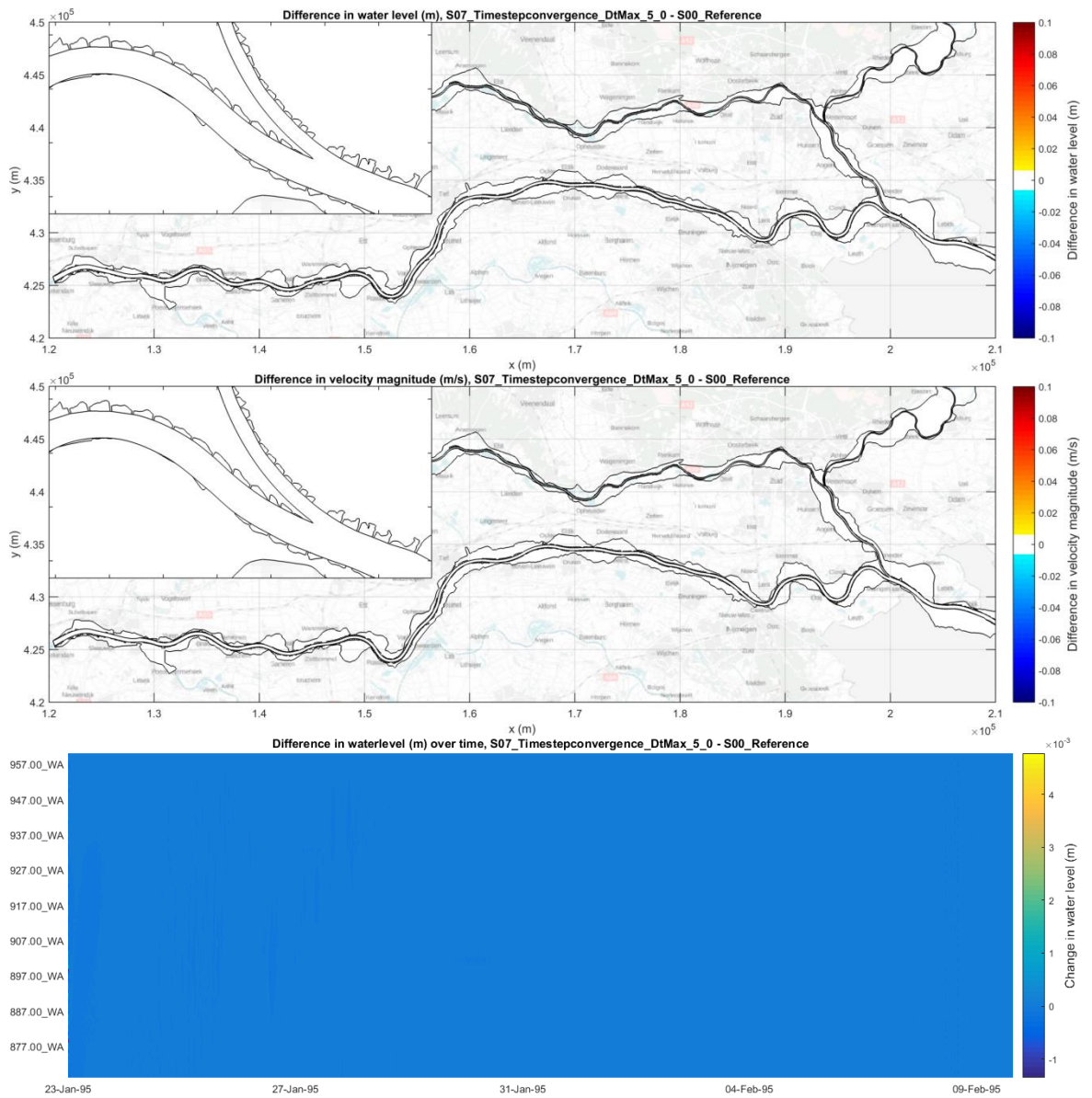




Statistiek			
Q-Waal	-0.4 m ³ /s (-0.0 %)	Emmerich_waq	-0.001 m (-0.0 %)
Q-Pankanaal	+0.4 m ³ /s (+0.0 %)	Lobith	-0.002 m (-0.0 %)
Q-Nederrijn	-0.1 m ³ /s (-0.0 %)	PannerdenscheKop	-0.002 m (-0.0 %)
Q-Yssel	+0.5 m ³ /s (+0.0 %)	Nijmegenhaven	-0.001 m (-0.0 %)
		TielWaal	-0.002 m (-0.0 %)
		Zaltbommel_waq	-0.001 m (-0.0 %)
Gemiddelde rekentijdstap	2	Ijsselkop	-0.002 m (-0.0 %)
Runtime	56505.5	Drielboven	+0.000 m (+0.0 %)

D.5.6 DtMax=5.0

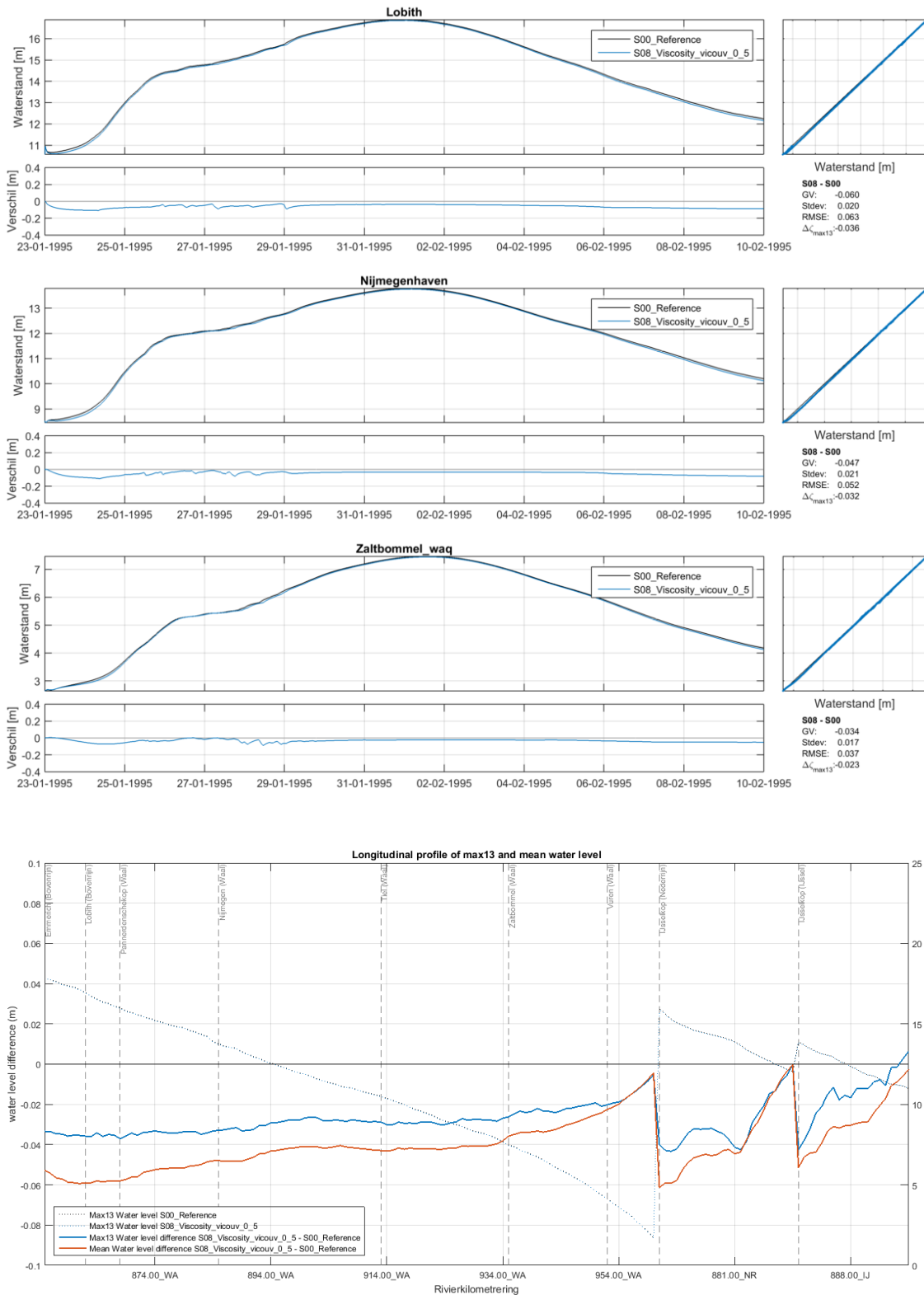


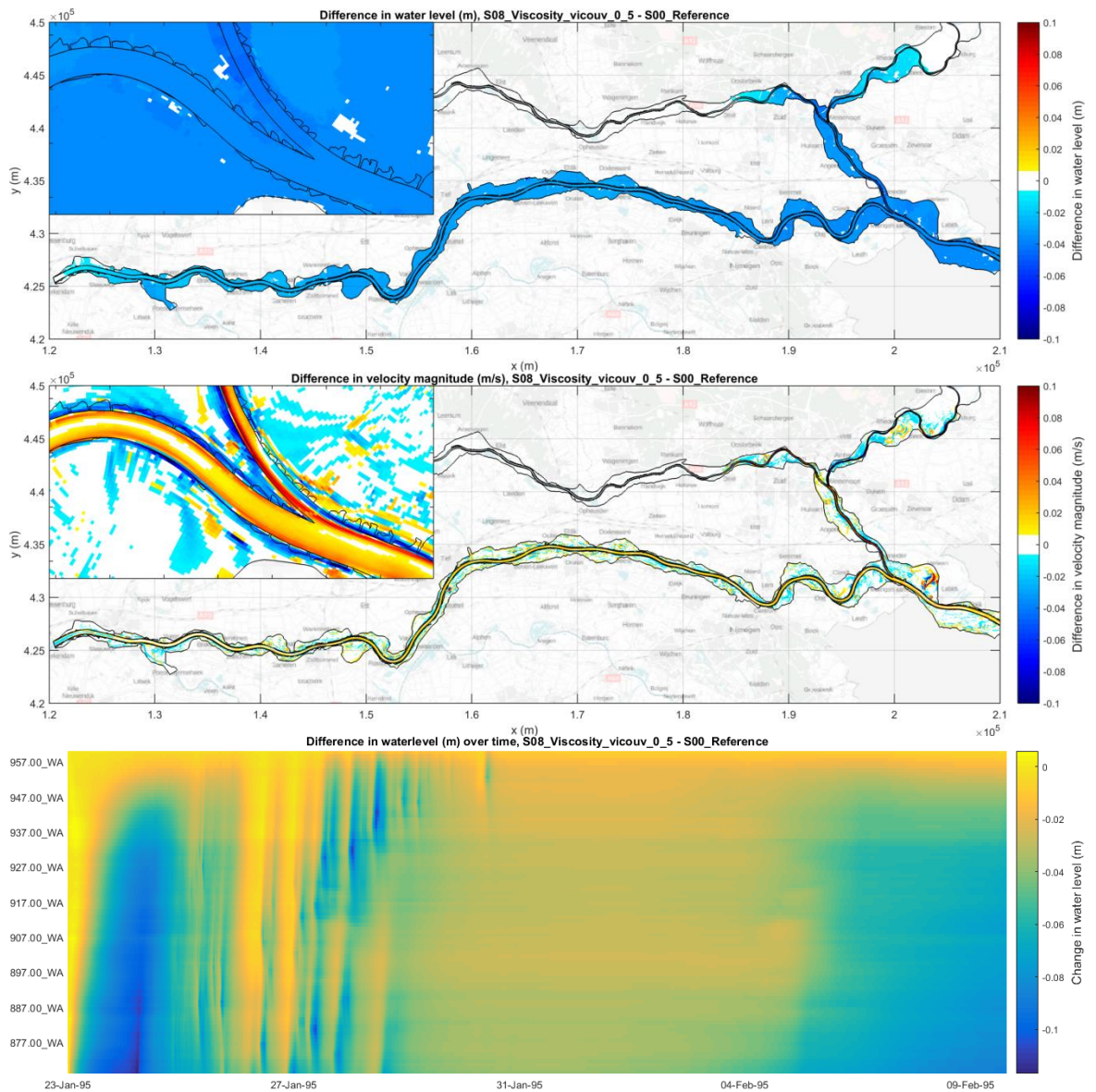


Statistiek			
Q-Waal	+0.0 m ³ /s (+0.0 %)	Emmerich_waq	+0.000 m (+0.0 %)
Q-Pankanaal	+0.0 m ³ /s (+0.0 %)	Lobith	+0.000 m (+0.0 %)
Q-Nederrijn	+0.0 m ³ /s (+0.0 %)	PannerdenscheKop	+0.000 m (+0.0 %)
Q-Yssel	-0.0 m ³ /s (-0.0 %)	Nijmegenhaven	+0.000 m (+0.0 %)
		TielWaal	+0.000 m (+0.0 %)
		Zaltbommel_waq	+0.000 m (+0.0 %)
Gemiddelde rekentijdstap	3.09324	Ijsselkop	+0.000 m (+0.0 %)
Runtime	38934.9	Drielboven	-0.000 m (-0.0 %)

D.6 Viscositeit

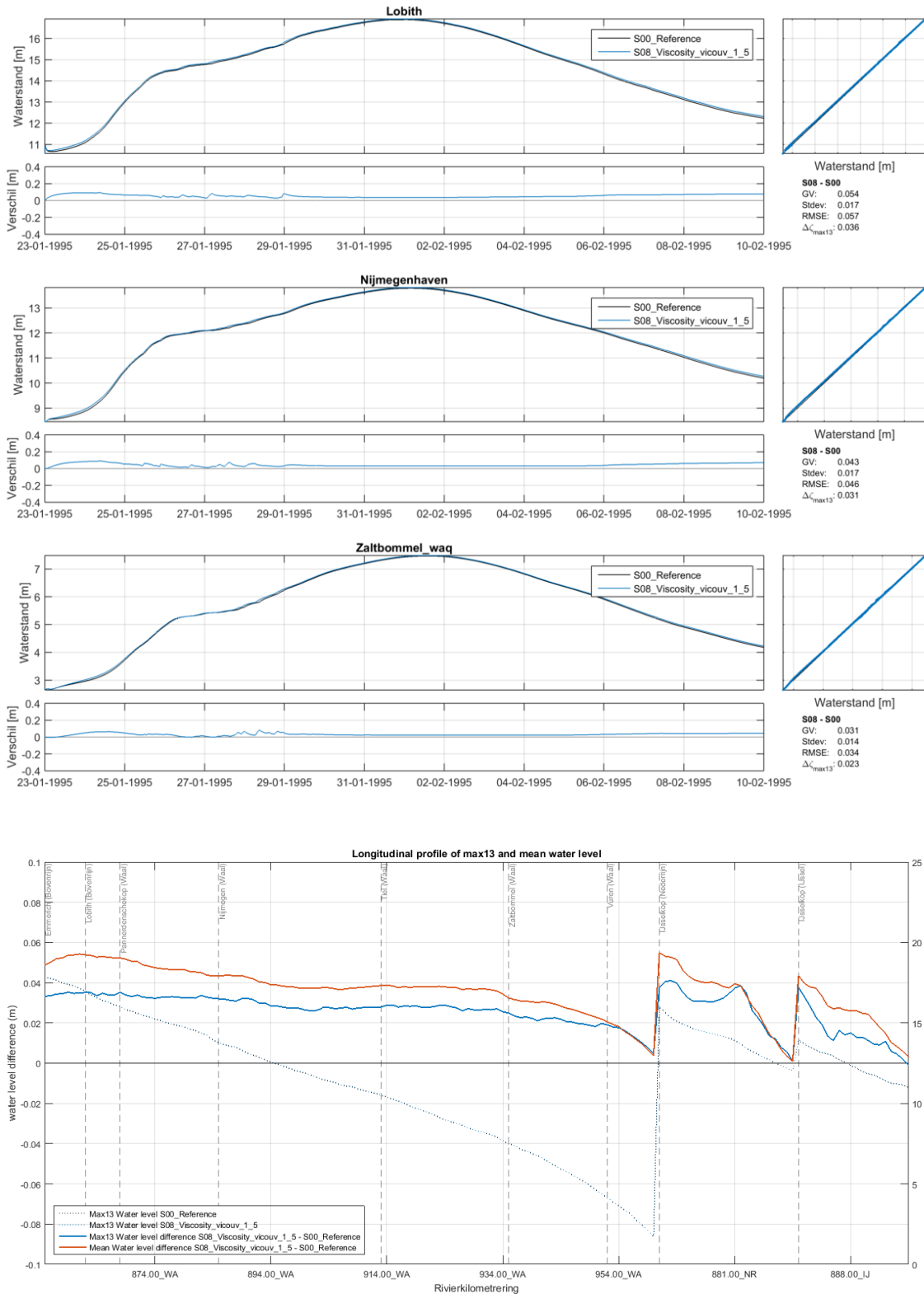
D.6.1 Vicouv=0.5

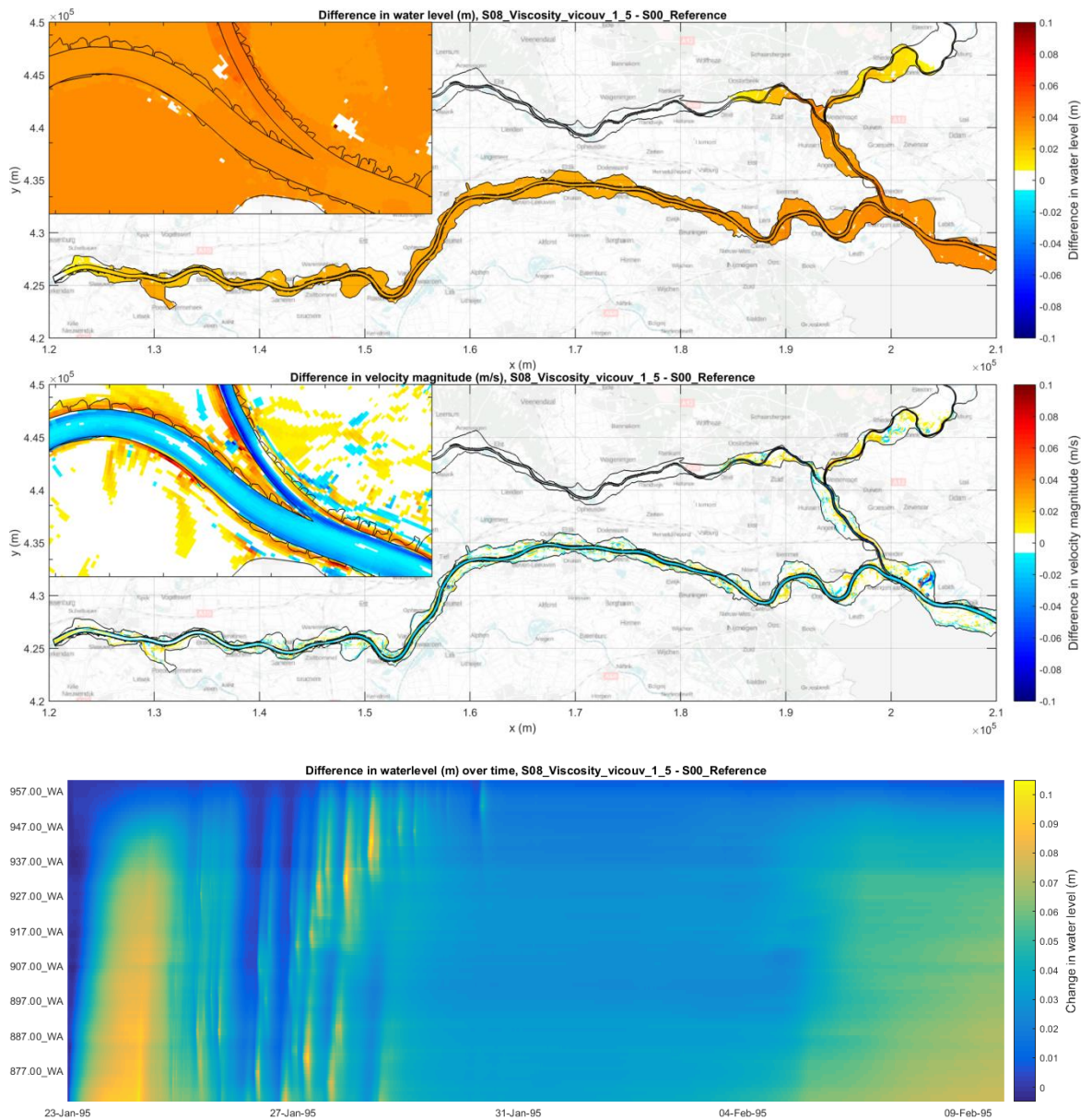




Statistiek			
Q-Waal	-17.9 m ³ /s (-0.2 %)	Emmerich_waq	-0.049 m (-0.8 %)
Q-Pankanaal	+18.6 m ³ /s (+0.4 %)	Lobith	-0.060 m (-1.0 %)
Q-Nederrijn	+1.0 m ³ /s (+0.0 %)	PannerdenscheKop	-0.057 m (-1.0 %)
Q-Yssel	+17.7 m ³ /s (+0.9 %)	Nijmegenhaven	-0.047 m (-0.9 %)
		TielWaal	-0.043 m (-0.8 %)
		Zaltbommel_waq	-0.034 m (-0.7 %)
Gemiddelde rekentijdstap	2.98629 s	Ijsselkop	-0.043 m (-0.9 %)
Runtime	40545.1 s	Drielboven	+0.000 m (+0.0 %)

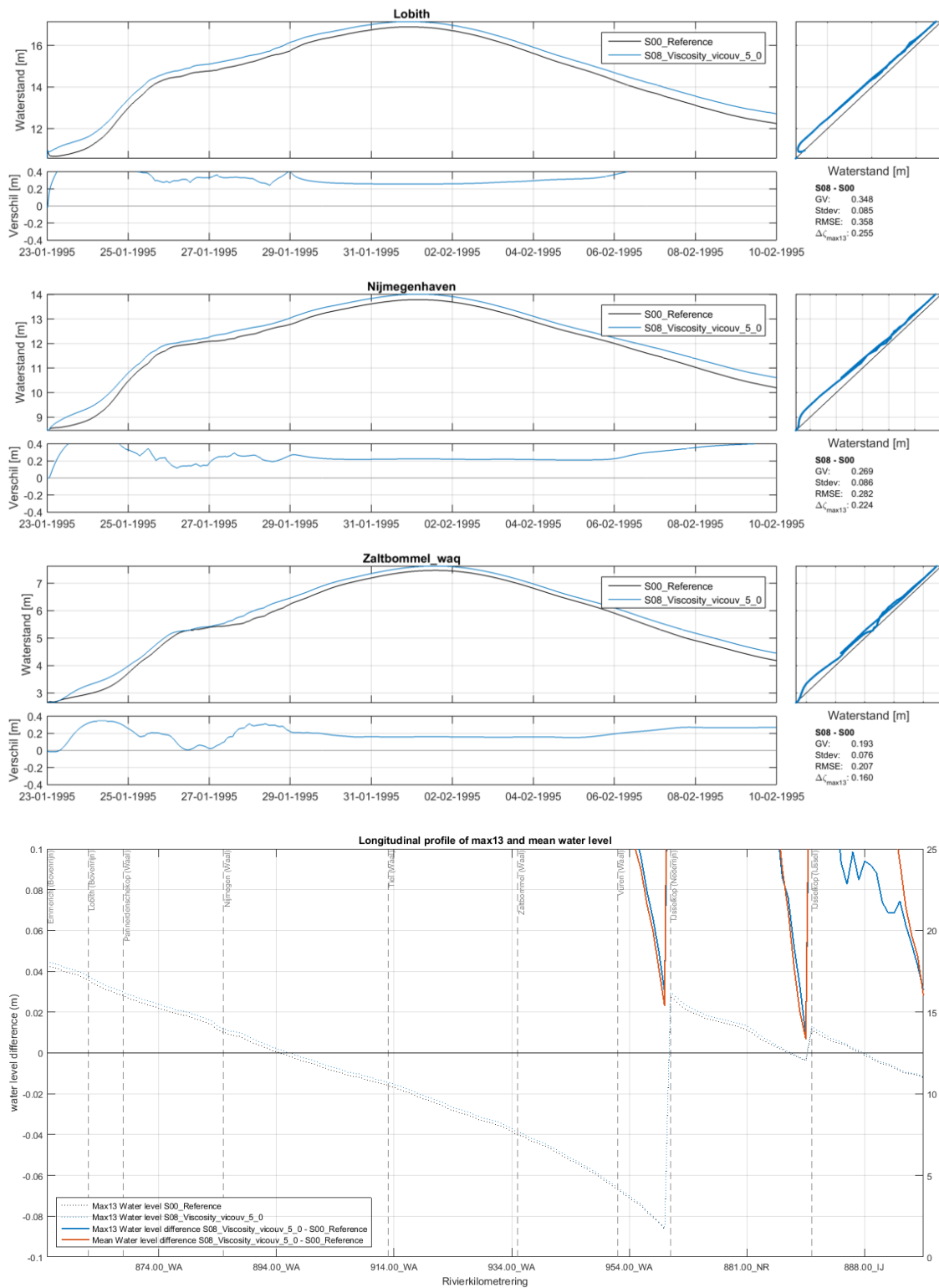
D.6.2 Vicouv=1.5

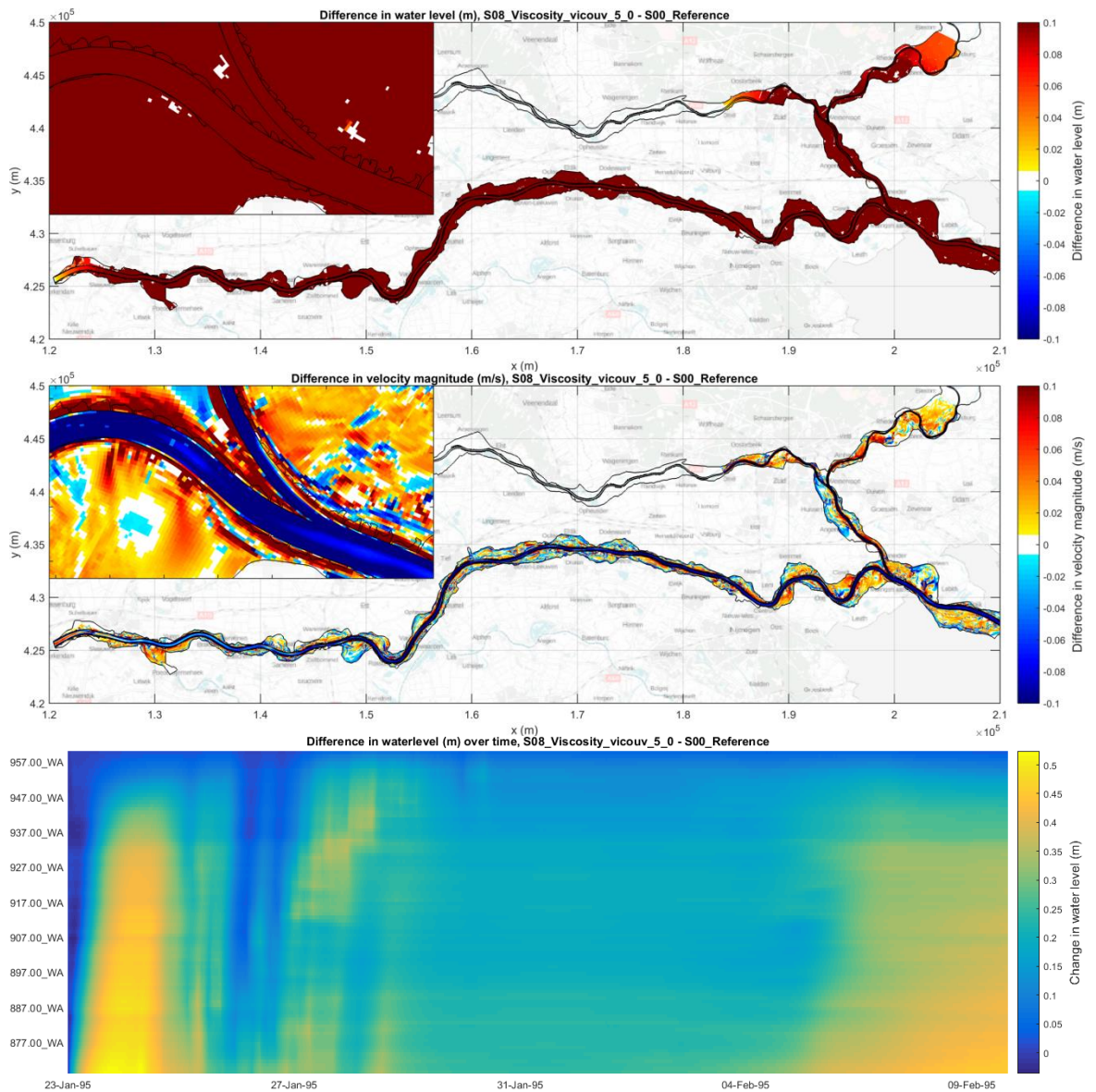




Statistiek			
Q-Waal	+14.3 m ³ /s (+0.2 %)	Emmerich_waq	+0.046 m (+0.7 %)
Q-Pankanaal	-14.9 m ³ /s (-0.3 %)	Lobith	+0.054 m (+0.9 %)
Q-Nederrijn	-1.4 m ³ /s (-0.1 %)	PannerdenscheKop	+0.052 m (+0.9 %)
Q-Yssel	-13.7 m ³ /s (-0.7 %)	Nijmegenhaven	+0.043 m (+0.8 %)
		TielWaal	+0.038 m (+0.7 %)
		Zaltbommel_waq	+0.031 m (+0.6 %)
Gemiddelde rekestijdstap	3.19984 s	Ijsselkop	+0.038 m (+0.8 %)
Runtime	38688 s	Drielboven	+0.001 m (+0.0 %)

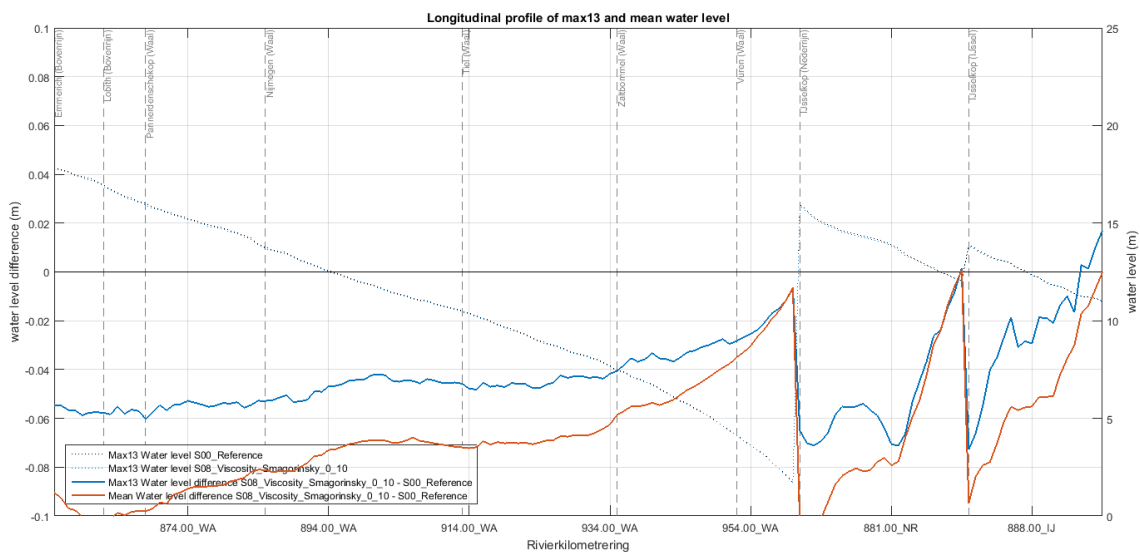
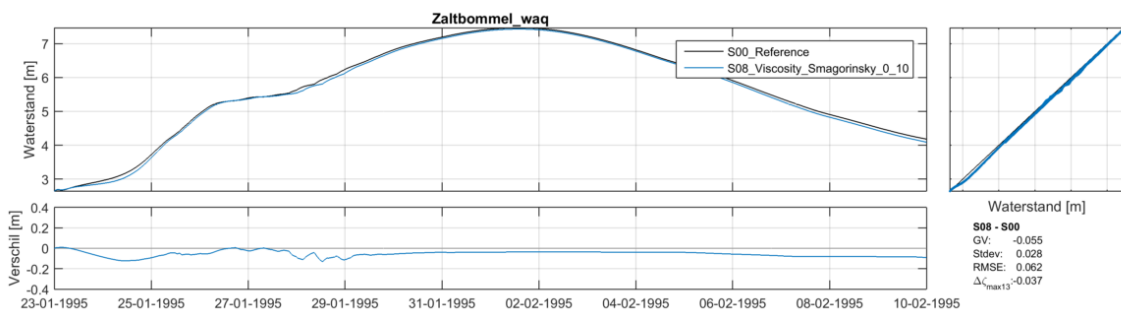
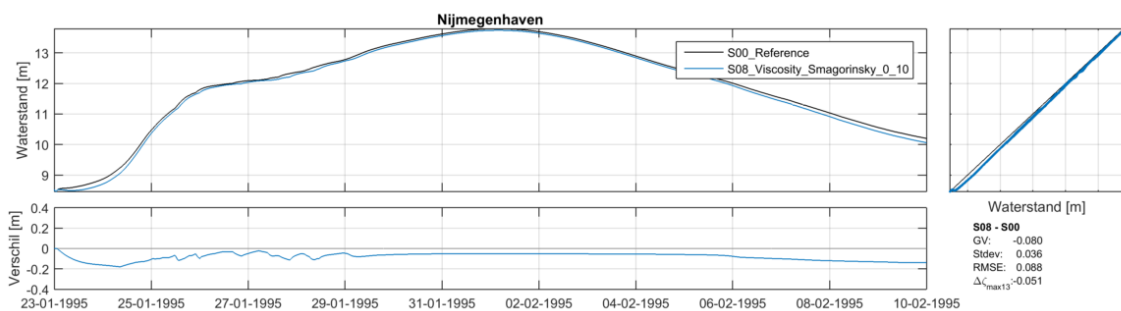
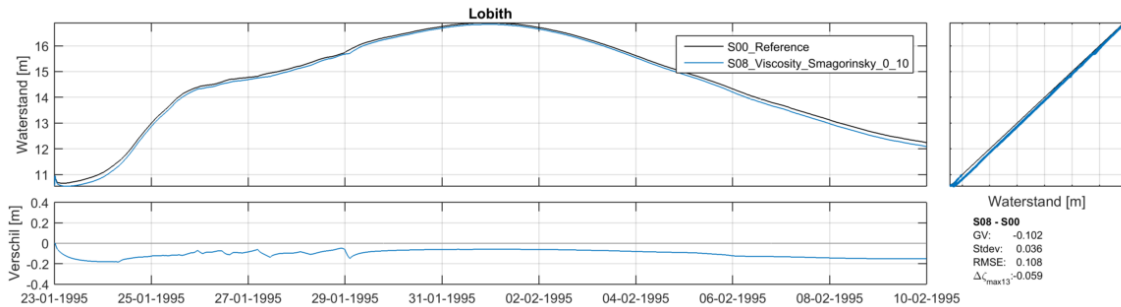
D.6.3 Vicouv=5.0

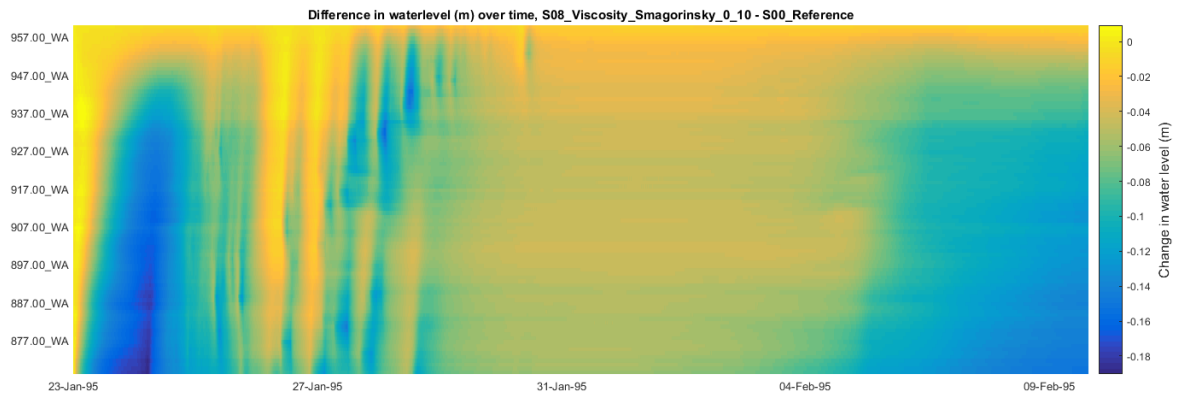
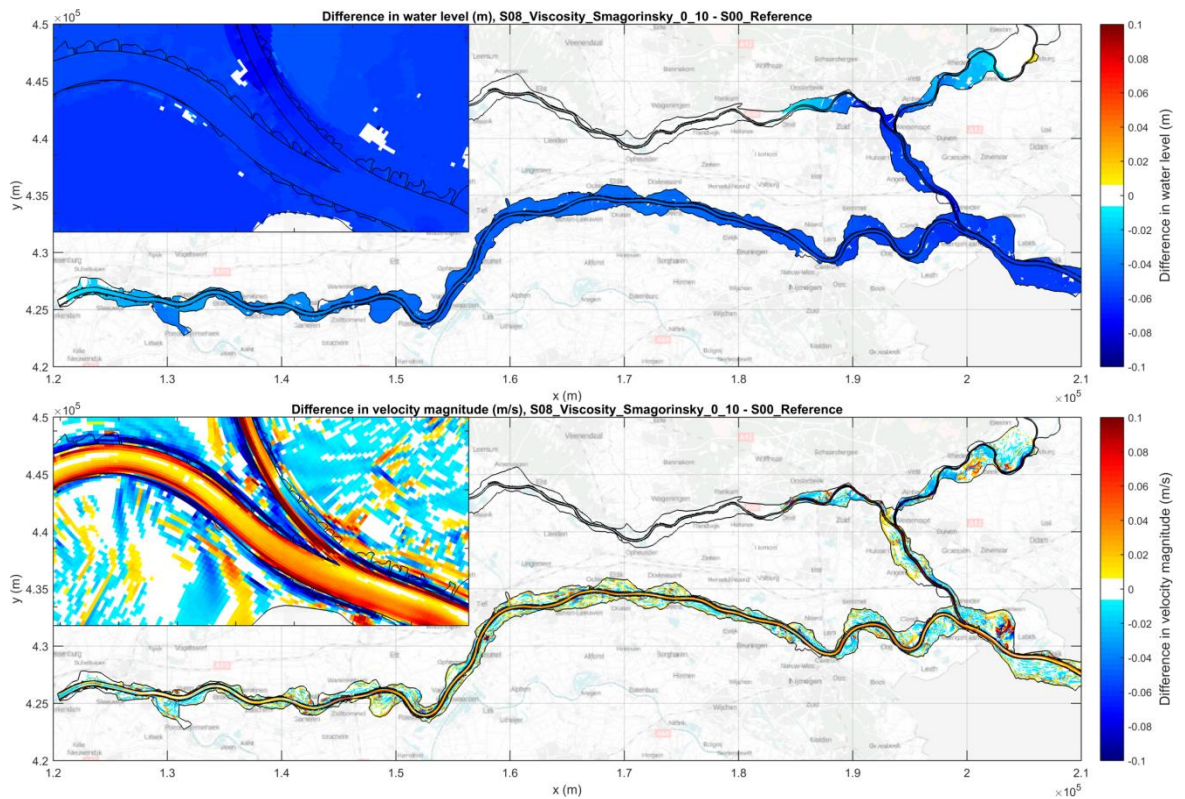




Statistiek			
Q-Waal	+63.2 m ³ /s (+0.8 %)	Emmerich_waq	+0.307 m (+4.5 %)
Q-Pankanaal	-67.2 m ³ /s (-1.5 %)	Lobith	+0.348 m (+5.3 %)
Q-Nederrijn	-8.5 m ³ /s (-0.3 %)	PannerdenscheKop	+0.326 m (+5.3 %)
Q-Yssel	-59.7 m ³ /s (-3.2 %)	Nijmegenhaven	+0.269 m (+4.8 %)
		TielWaal	+0.239 m (+4.4 %)
		Zaltbommel_waq	+0.193 m (+3.9 %)
Gemiddelde rekentijdstap	3.73302 s	Ijsselkop	+0.238 m (+4.6 %)
Runtime	33961.9 s	Drielboven	+0.005 m (+0.1 %)

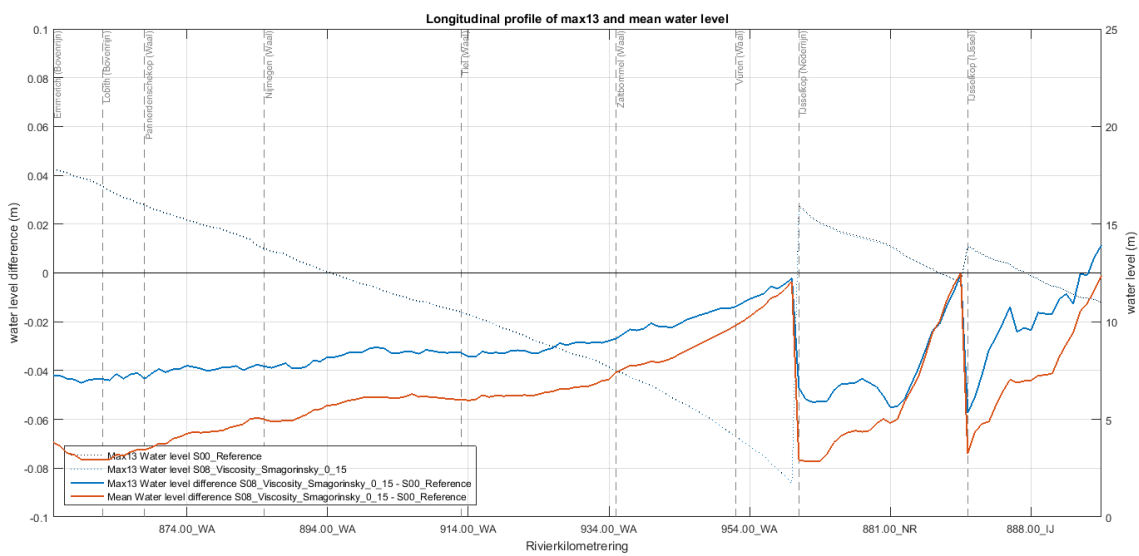
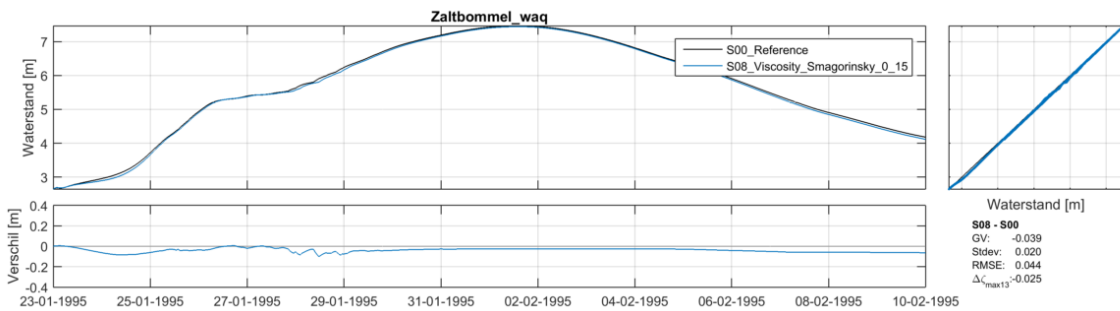
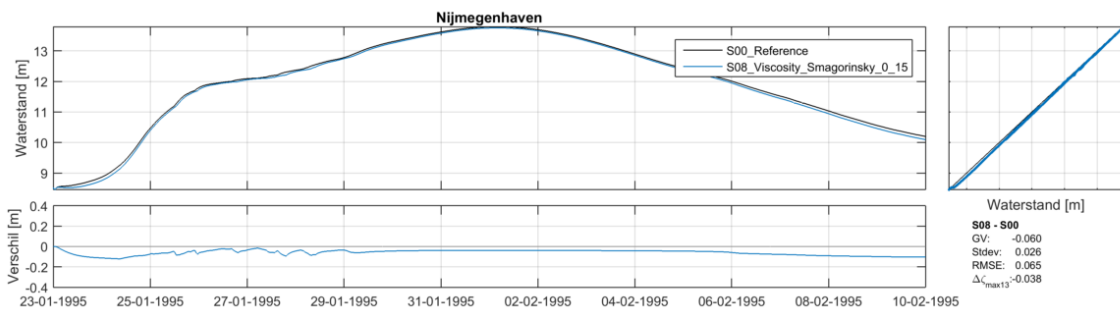
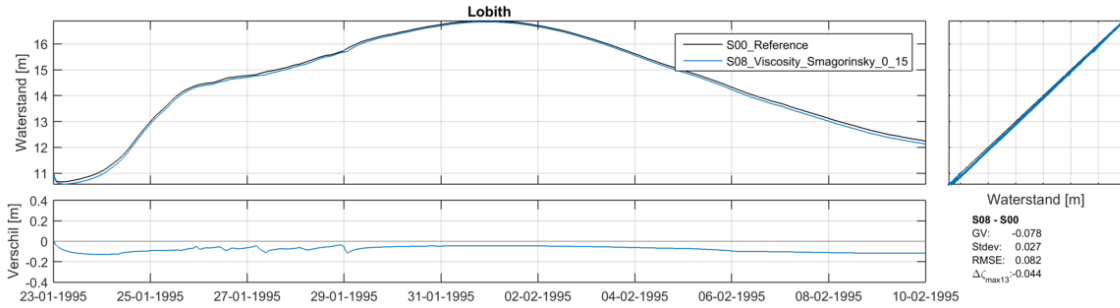
D.6.4 Vicouv=1E-5; Smagorinsky=0.10

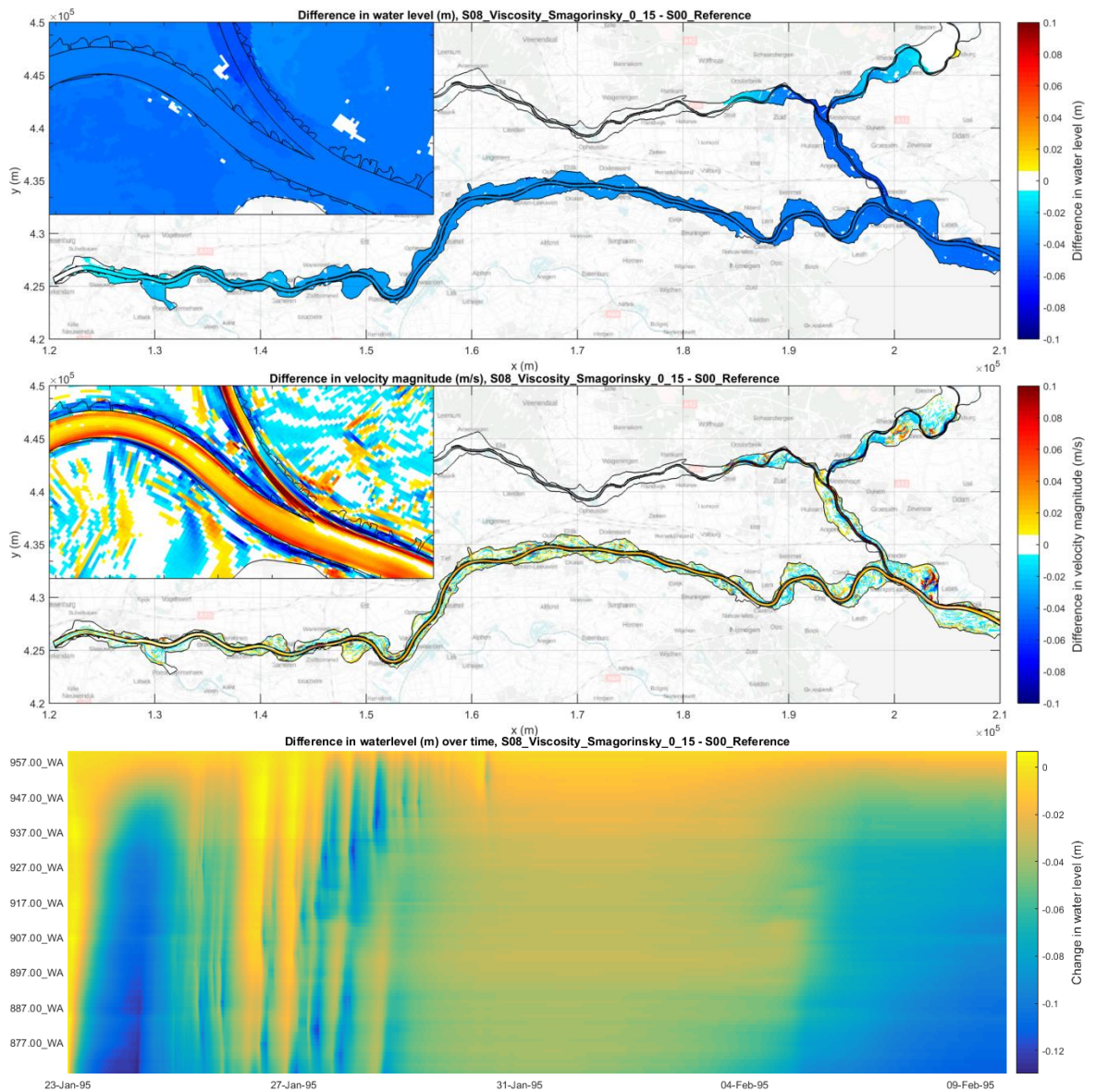




Statistiek			
Q-Waal	-30.2 m ³ /s (-0.4 %)	Emmerich_waq	-0.084 m (-1.3 %)
Q-Pankanaal	+31.3 m ³ /s (+0.7 %)	Lobith	-0.102 m (-1.6 %)
Q-Nederrijn	-0.4 m ³ /s (-0.0 %)	PannerdenscheKop	-0.096 m (-1.6 %)
Q-Yssel	+32.0 m ³ /s (+1.7 %)	Nijmegenhaven	-0.080 m (-1.5 %)
		TielWaal	-0.072 m (-1.4 %)
		Zaltbommel_waq	-0.055 m (-1.2 %)
Gemiddelde rekestijdstap	2.91649 s	Ijsselkop	-0.078 m (-1.6 %)
Runtime	41526 s	Drielboven	+0.002 m (+0.0 %)

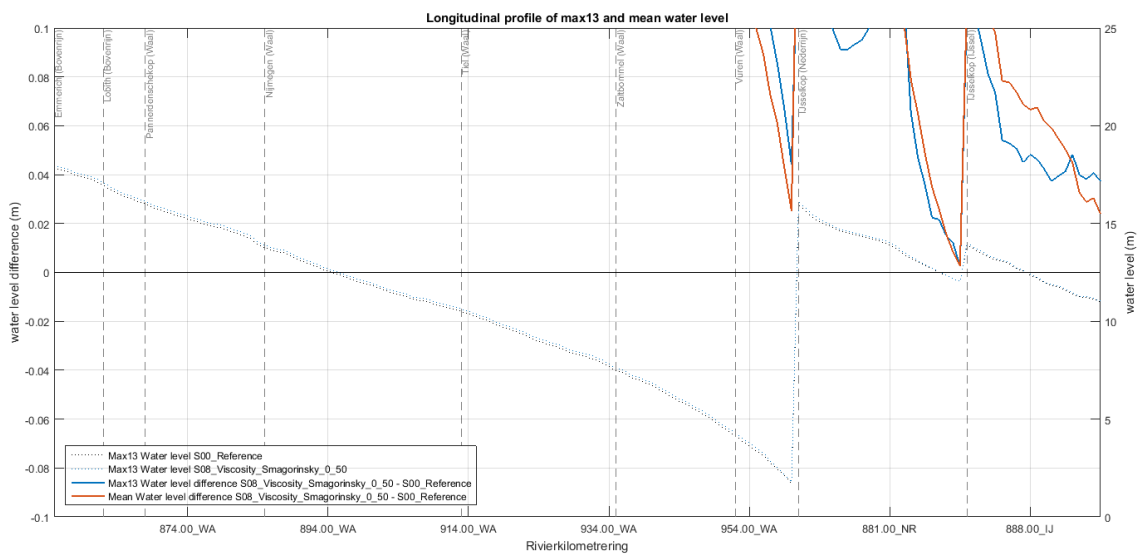
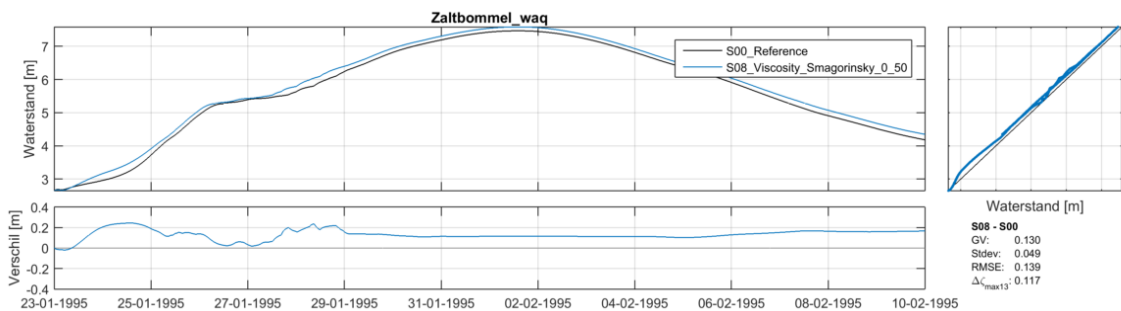
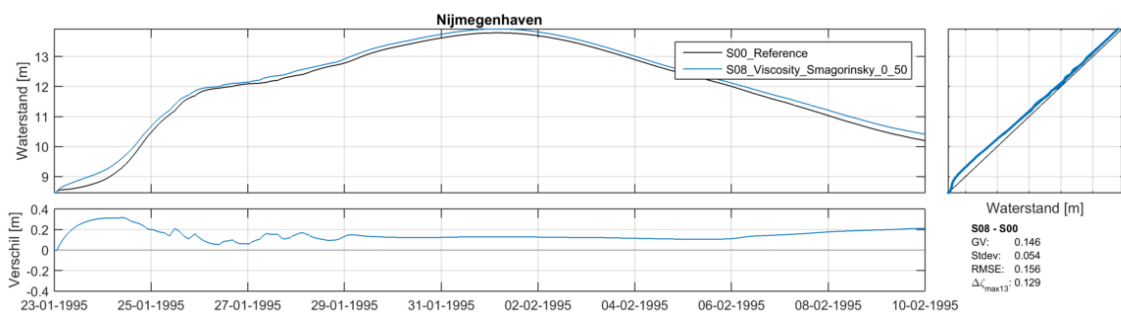
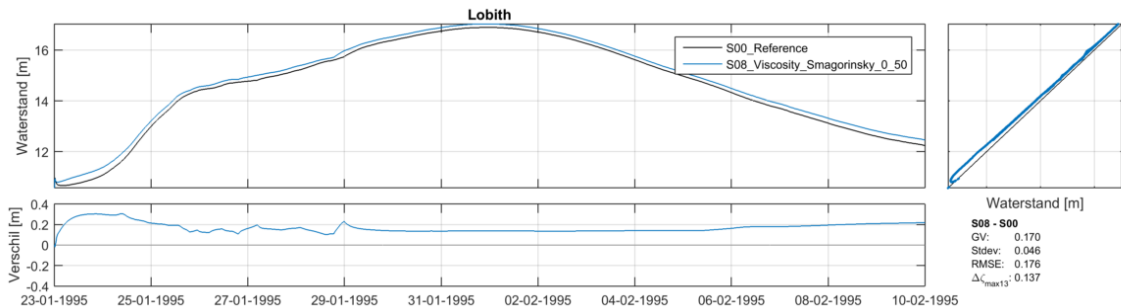
D.6.5 Vicouv=1E-5; Smagorinsky=0.15

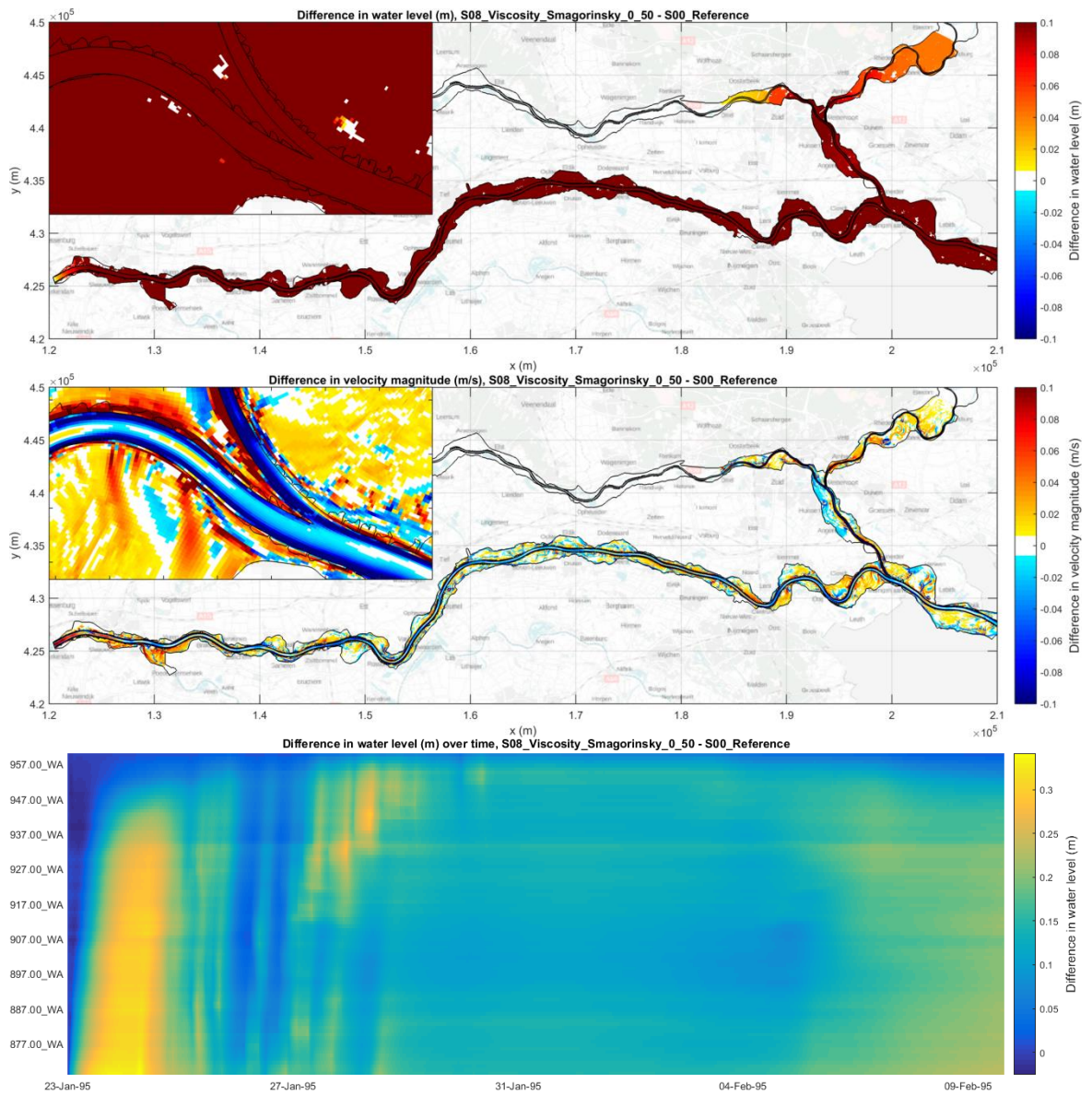




Statistiek			
Q-Waal	-20.4 m ³ /s (-0.3 %)	Emmerich_waq	-0.064 m (-1.0 %)
Q-Pankanaal	+21.1 m ³ /s (+0.5 %)	Lobith	-0.078 m (-1.2 %)
Q-Nederrijn	-2.1 m ³ /s (-0.1 %)	Pannerdenschekop	-0.071 m (-1.2 %)
Q-Yssel	+23.5 m ³ /s (+1.3 %)	Nijmegenhaven	-0.060 m (-1.1 %)
		TielWaal	-0.052 m (-1.0 %)
		Zaltbommel_waq	-0.039 m (-0.8 %)
Gemiddelde rekentijdstap	2.93034 s	Ijsselkop	-0.062 m (-1.3 %)
Runtime	42977.9 s	Drielboven	+0.001 m (+0.0 %)

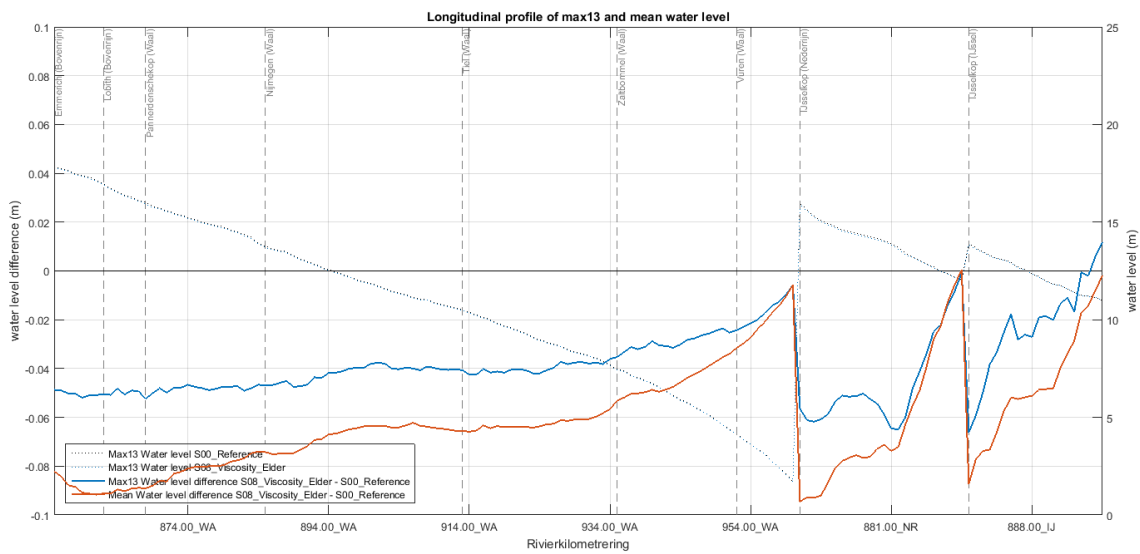
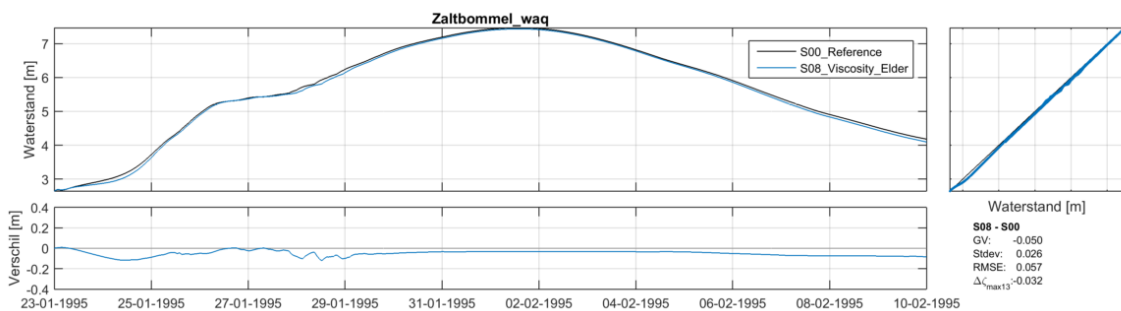
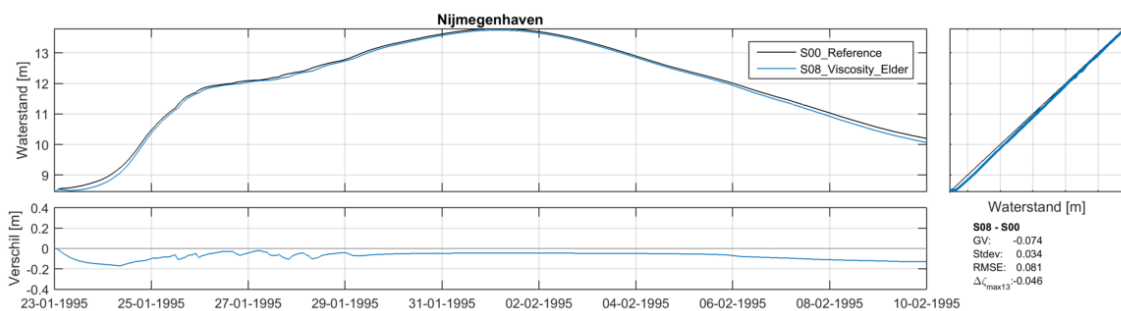
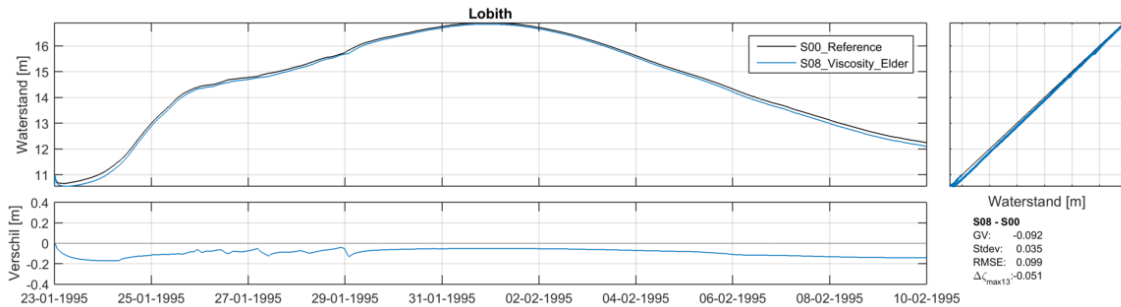
D.6.6 Vicouv=1E-5; Smagorinsky=0.50

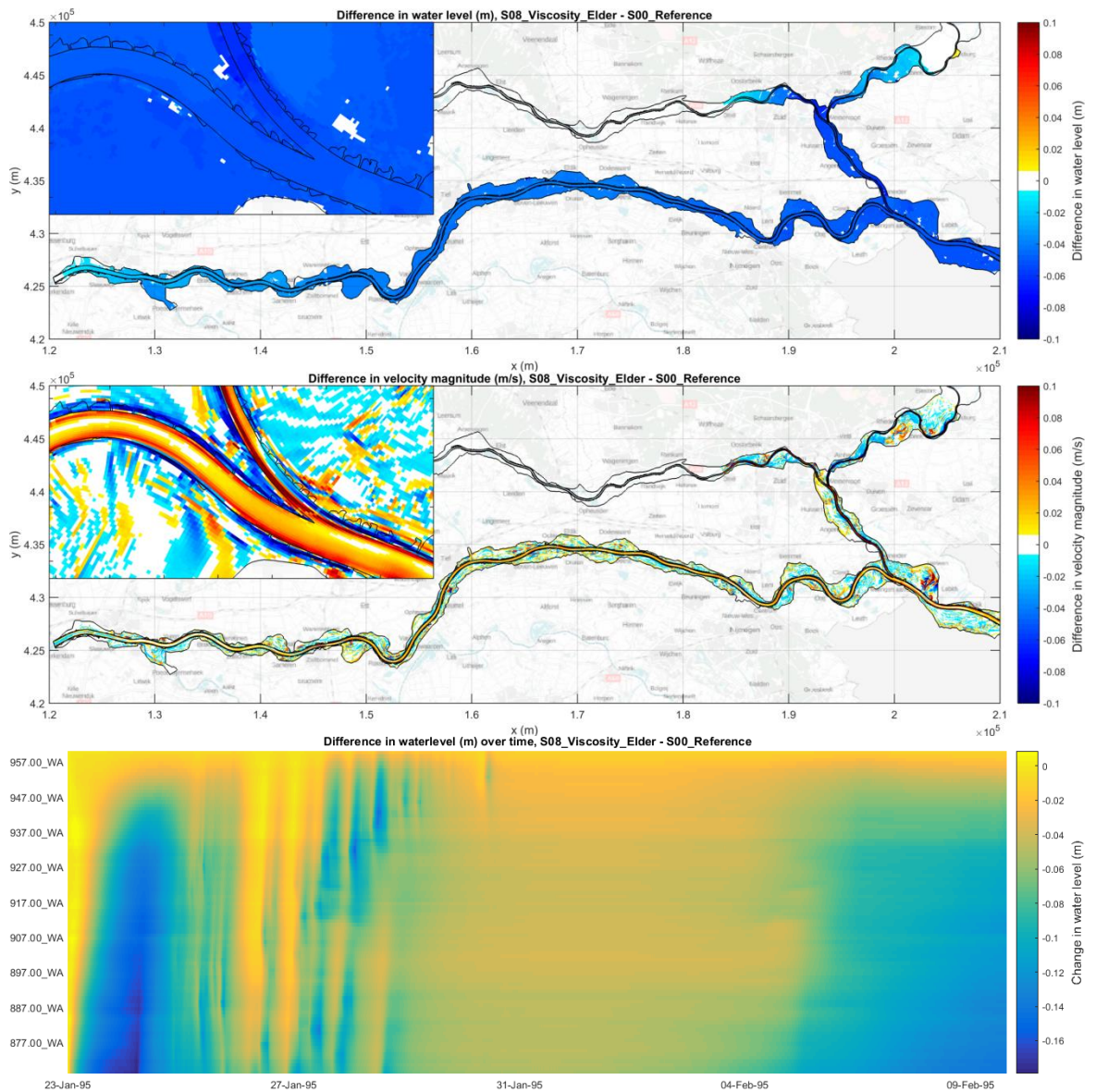




Statistiek			
Q-Waal	+48.2 m ³ /s (+0.6 %)	Emmerich_waq	+0.144 m (+2.2 %)
Q-Pankanaal	-50.2 m ³ /s (-1.1 %)	Lobith	+0.170 m (+2.6 %)
Q-Nederrijn	-17.6 m ³ /s (-0.7 %)	PannerdenscheKop	+0.180 m (+3.0 %)
Q-Yssel	-33.0 m ³ /s (-1.8 %)	Nijmegenhaven	+0.146 m (+2.7 %)
		TielWaal	+0.141 m (+2.7 %)
		Zaltbommel_waq	+0.130 m (+2.6 %)
Gemiddelde rekestijdstap	3.3360 s	Ijsselkop	+0.106 m (+2.1 %)
Runtime	37915.7 s	Drielboven	+0.002 m (+0.0 %)

D.6.7 Vicouv=1E-5; Smagorinsky=0.10; Elder=1

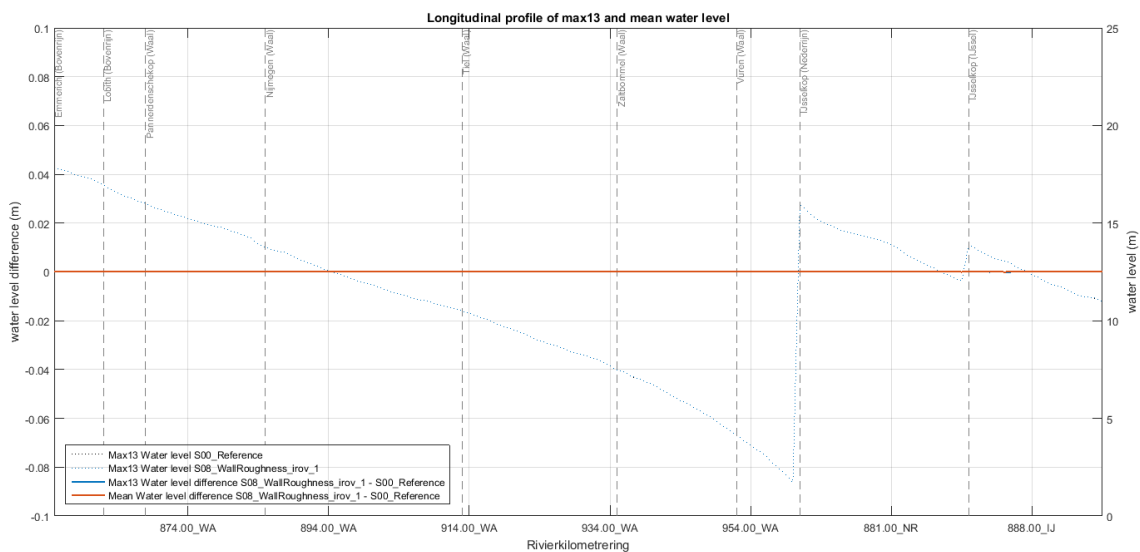
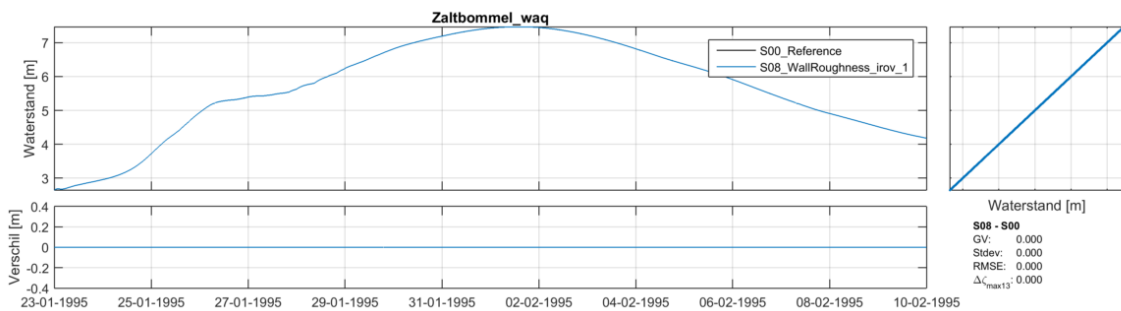
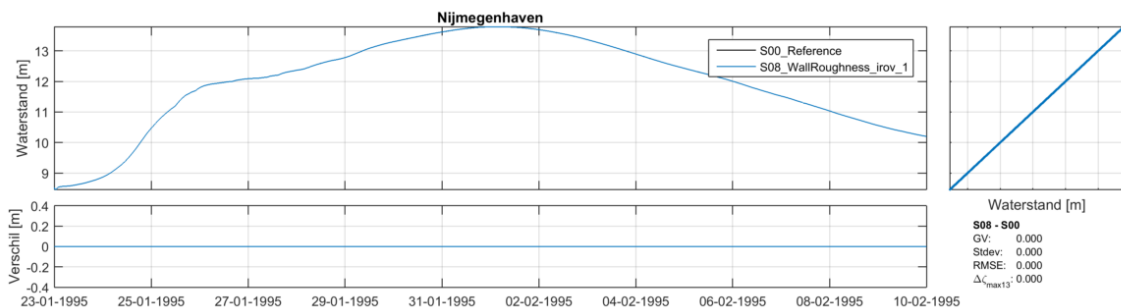
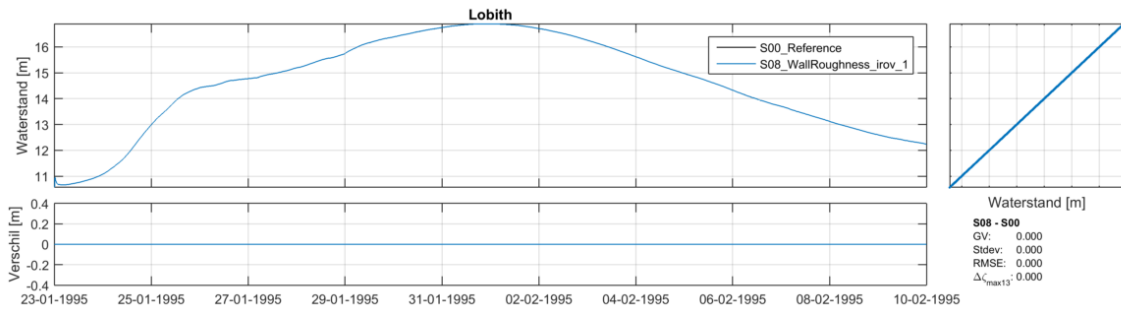


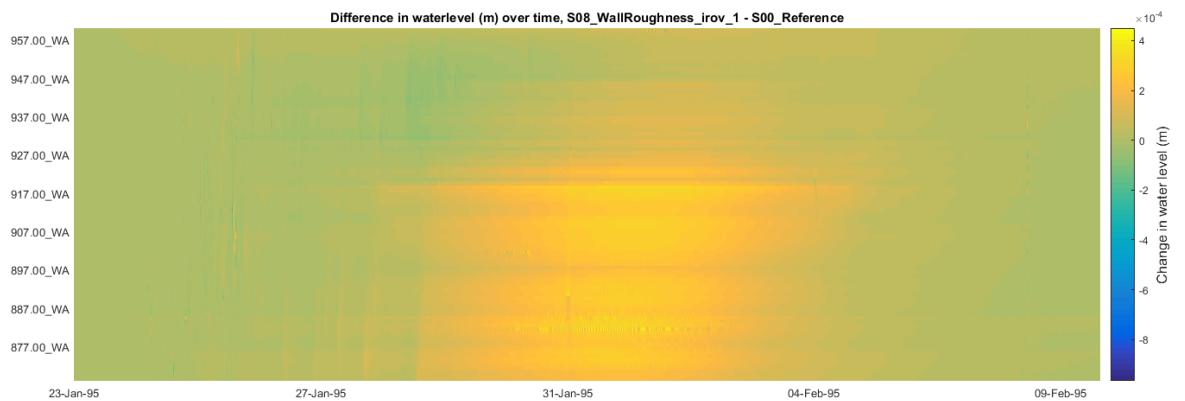
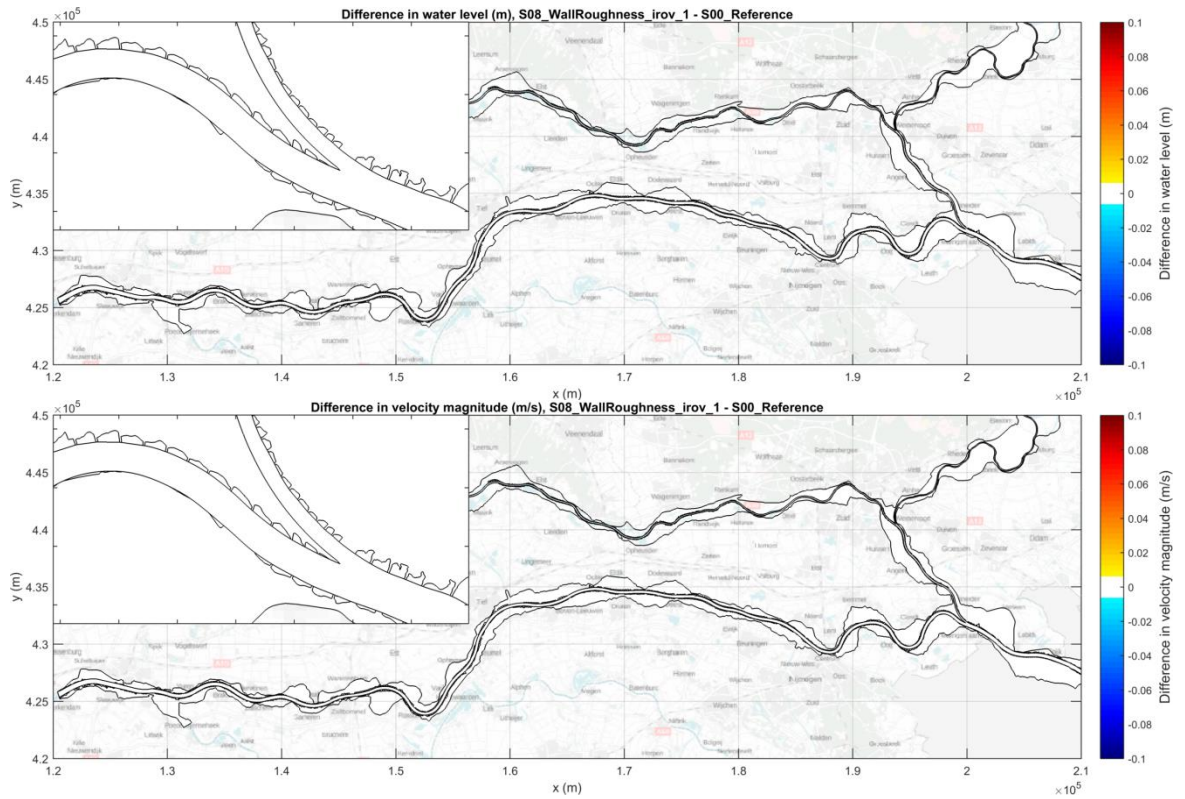


Statistiek			
Q-Waal	-26.8 m ³ /s (-0.4 %)	Emmerich_waq	-0.076 m (-1.2 %)
Q-Pankanaal	+27.8 m ³ /s (+0.6 %)	Lobith	-0.092 m (-1.5 %)
Q-Nederrijn	-0.7 m ³ /s (-0.0 %)	Pannerdenschekop	-0.087 m (-1.5 %)
Q-Yssel	+28.8 m ³ /s (+1.5 %)	Nijmegenhaven	-0.074 m (-1.4 %)
		TielWaal	-0.066 m (-1.3 %)
		Zaltbommel_waq	-0.050 m (-1.0 %)
Gemiddelde rekentijdstap	2.92998 s	Ijsselkop	-0.073 m (-1.5 %)
Runtime	41880.1 s	Drielboven	+0.002 m (+0.0 %)

D.7 Wall roughness

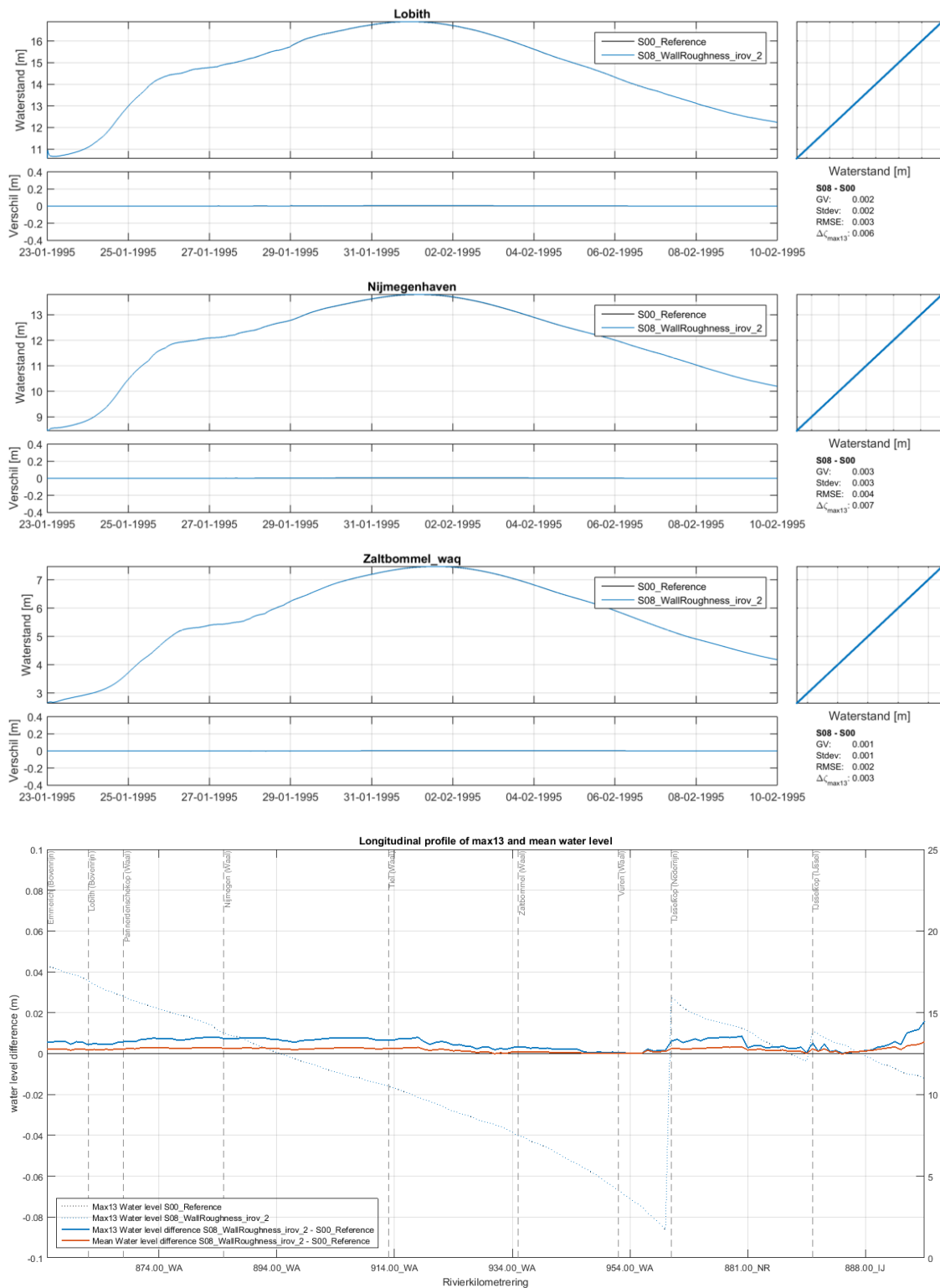
D.7.1 Irov=1; Wall_ks=0.3

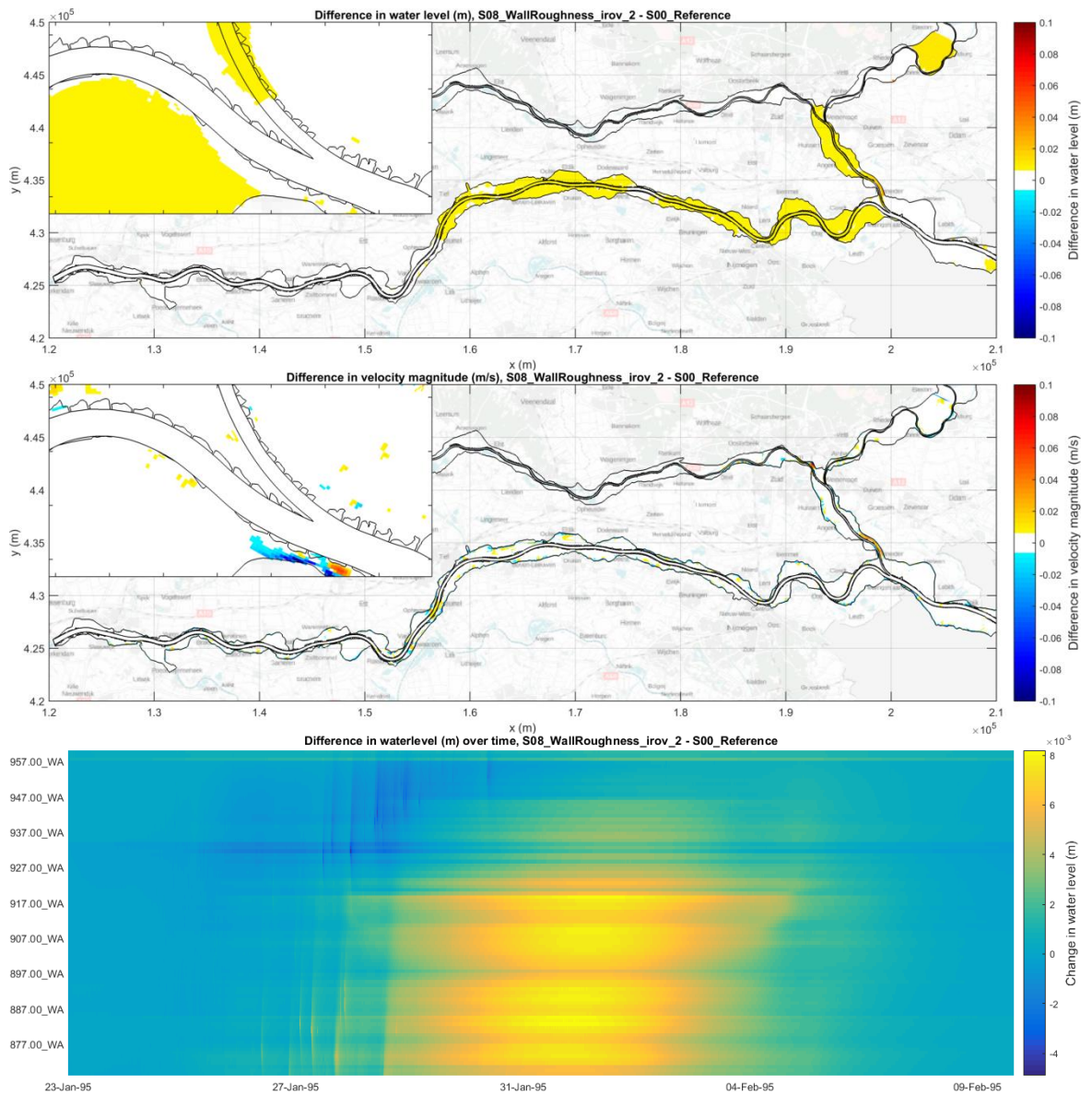




Statistiek			
Q-Waal	+0.0 m ³ /s (+0.0 %)	Emmerich_waq	+0.000 m (+0.0 %)
Q-Pankanaal	+0.0 m ³ /s (+0.0 %)	Lobith	+0.000 m (+0.0 %)
Q-Nederrijn	+0.0 m ³ /s (+0.0 %)	PannerdenscheKop	+0.000 m (+0.0 %)
Q-Yssel	-0.0 m ³ /s (-0.0 %)	Nijmegenhaven	+0.000 m (+0.0 %)
		TielWaal	+0.000 m (+0.0 %)
		Zaltbommel_waq	+0.000 m (+0.0 %)
Gemiddelde rekentijdstap	3.09334 s	Ijsselkop	+0.000 m (+0.0 %)
Runtime	39031.3 s	Drielboven	+0.000 m (+0.0 %)

D.7.2 Irov=2

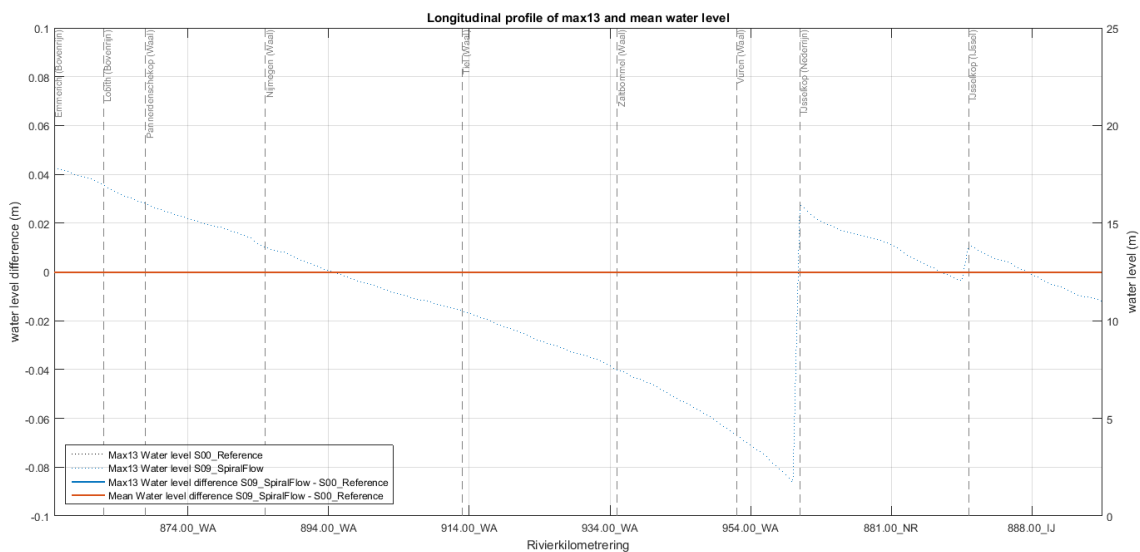
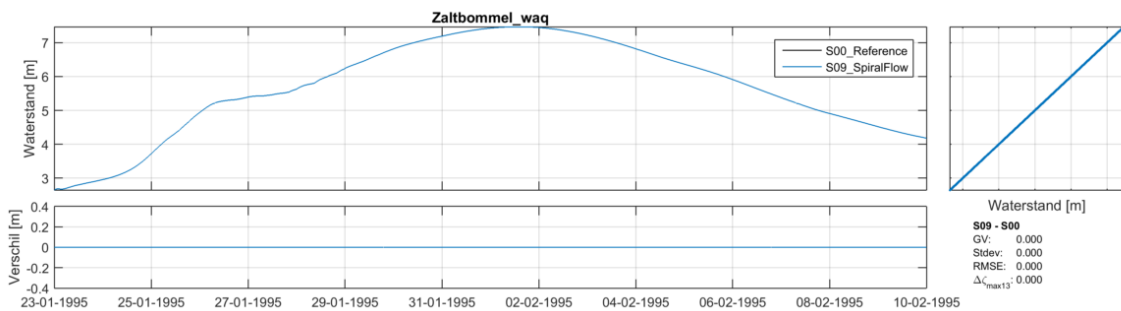
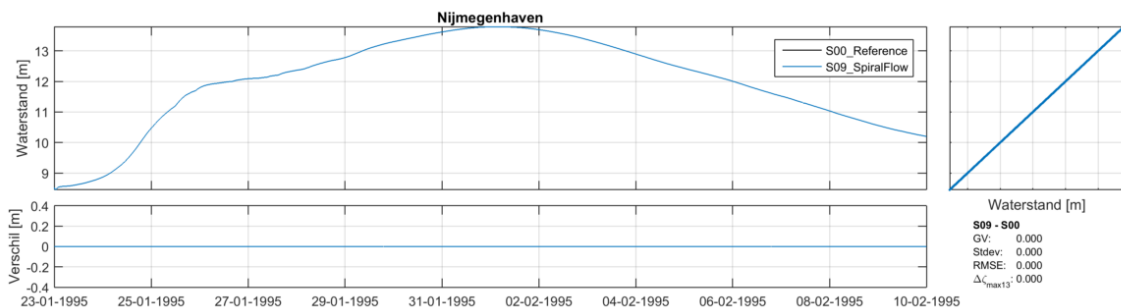
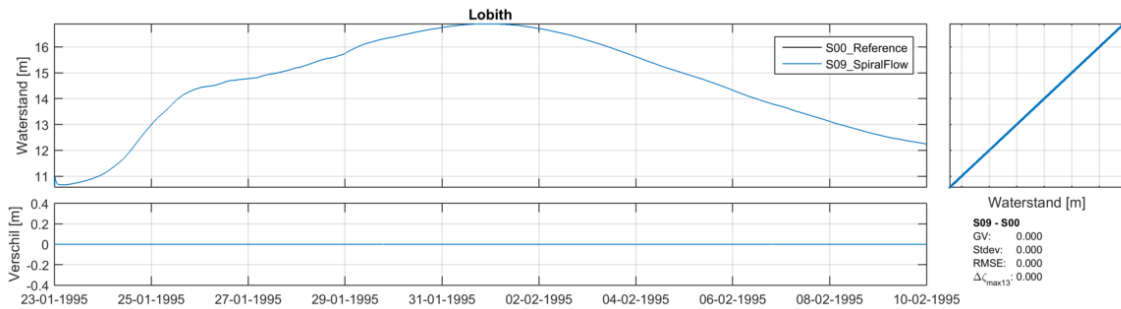


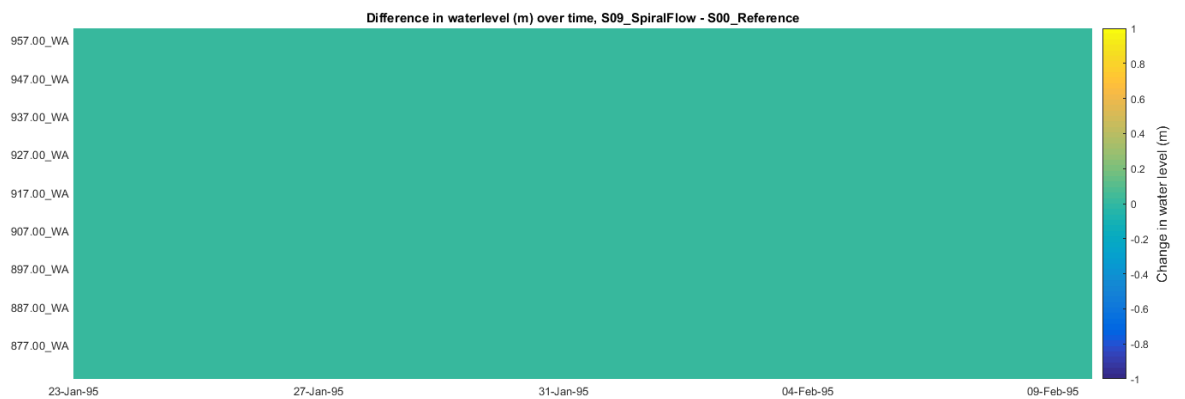
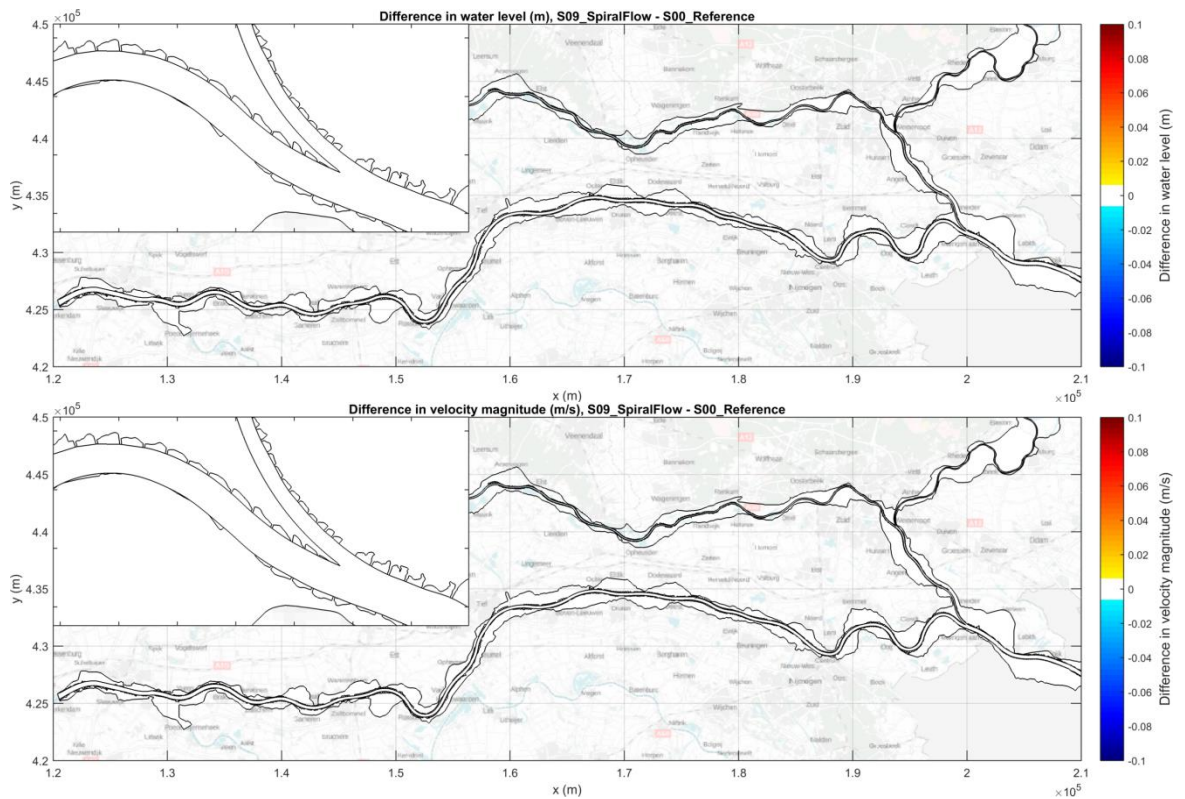


Statistiek			
Q-Waal	+0.9 m ³ /s (+0.0 %)	Emmerich_waq	+0.002 m (+0.0 %)
Q-Pankanaal	+0.1 m ³ /s (+0.0 %)	Lobith	+0.002 m (+0.0 %)
Q-Nederrijn	+0.4 m ³ /s (+0.0 %)	PannerdenscheKop	+0.002 m (+0.0 %)
Q-Yssel	-0.3 m ³ /s (-0.0 %)	Nijmegenhaven	+0.003 m (+0.0 %)
		TielWaal	+0.003 m (+0.0 %)
		Zaltbommel_waq	+0.001 m (+0.0 %)
Gemiddelde rekentijdstap	3.08398 s	Ijsselkop	+0.003 m (+0.1 %)
Runtime	39433.6 s	Drielboven	+0.000 m (+0.0 %)

D.8 Spiraalstroming

D.8.1 SecondaryFlow=1; BetaSpiral=0.0

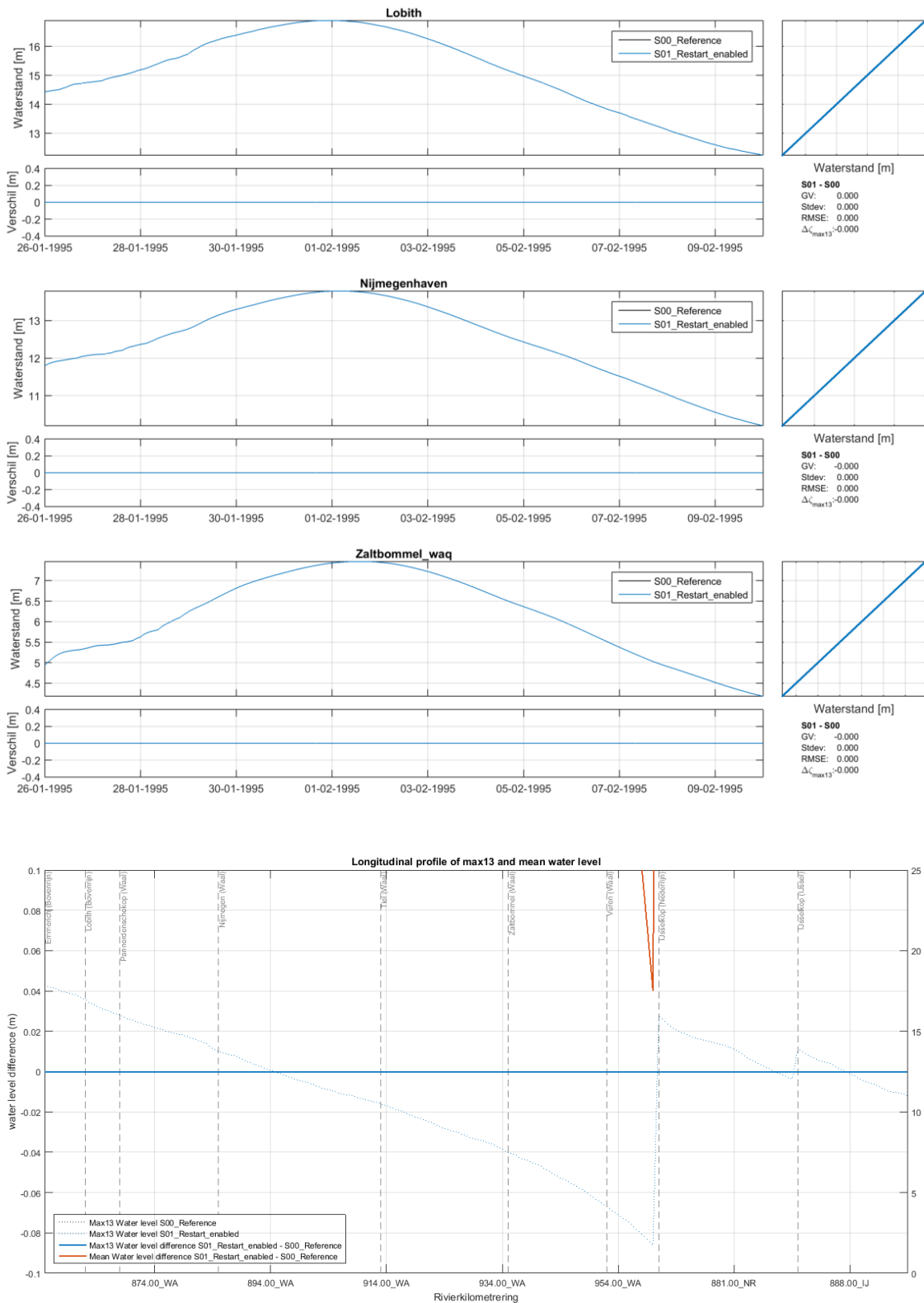




Statistiek			
Q-Waal	+0.0 m ³ /s (+0.0 %)	Emmerich_waq	+0.000 m (+0.0 %)
Q-Pankanaal	+0.0 m ³ /s (+0.0 %)	Lobith	+0.000 m (+0.0 %)
Q-Nederrijn	+0.0 m ³ /s (+0.0 %)	PannerdenscheKop	+0.000 m (+0.0 %)
Q-Yssel	+0.0 m ³ /s (+0.0 %)	Nijmegenhaven	+0.000 m (+0.0 %)
		TielWaal	+0.000 m (+0.0 %)
		Zaltbommel_waq	+0.000 m (+0.0 %)
Gemiddelde rekestijdstap	3.09379 s	Ijsselkop	+0.000 m (+0.0 %)
Runtime	47978.9 s	Drielboven	+0.000 m (+0.0 %)

D.9 Testen van processen

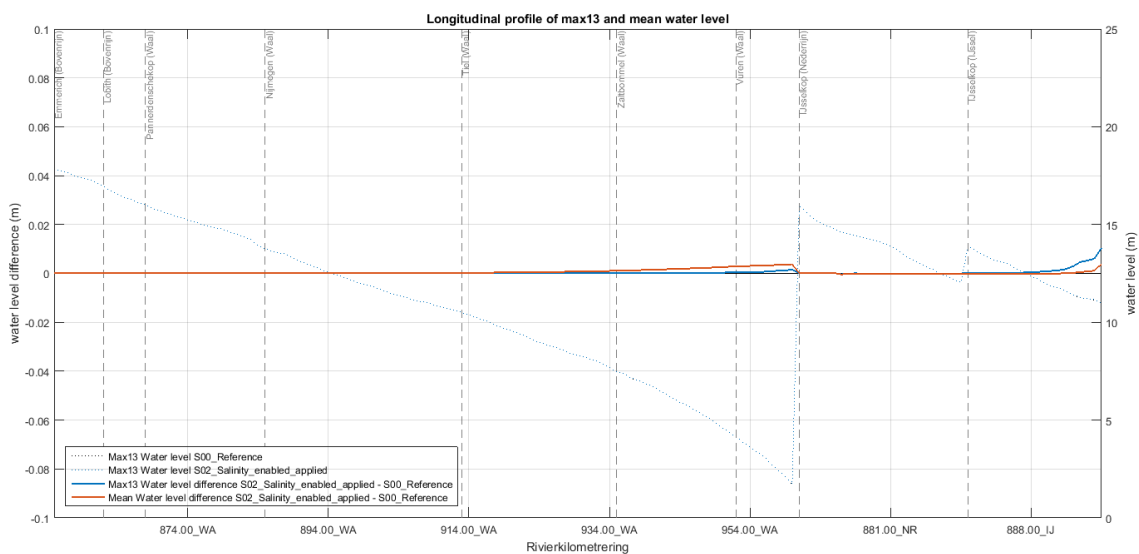
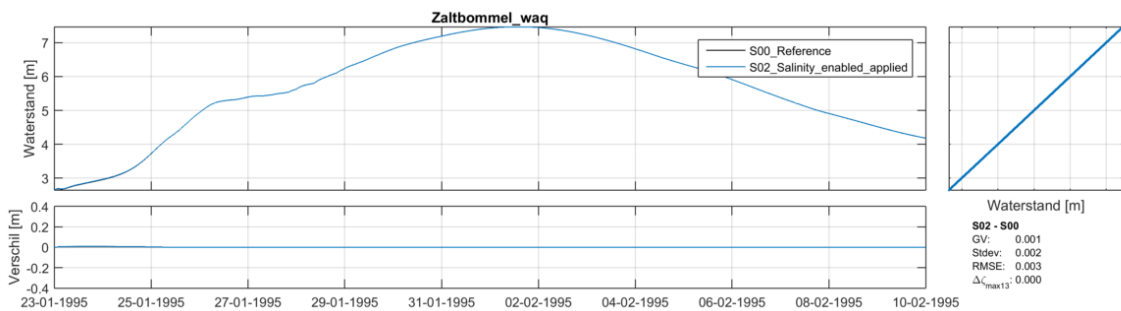
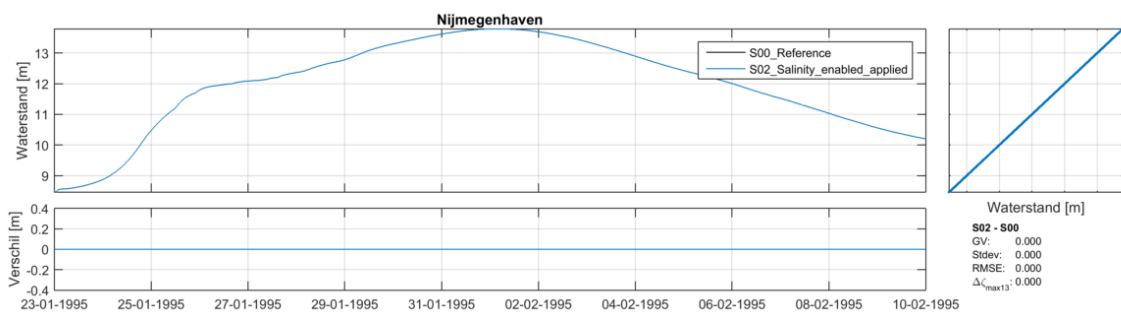
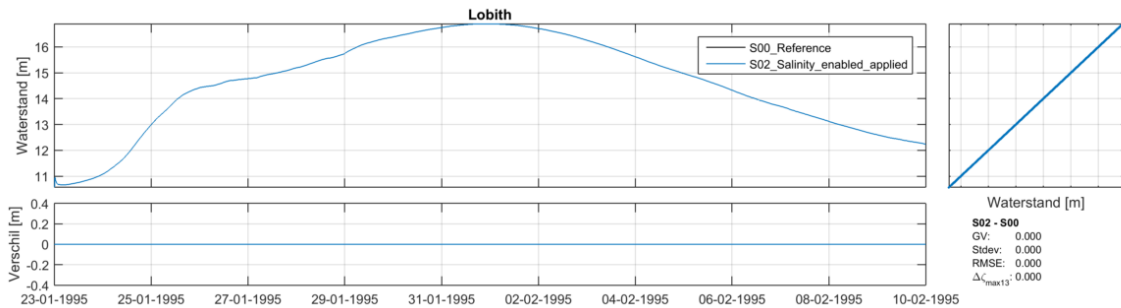
D.9.1 Restart

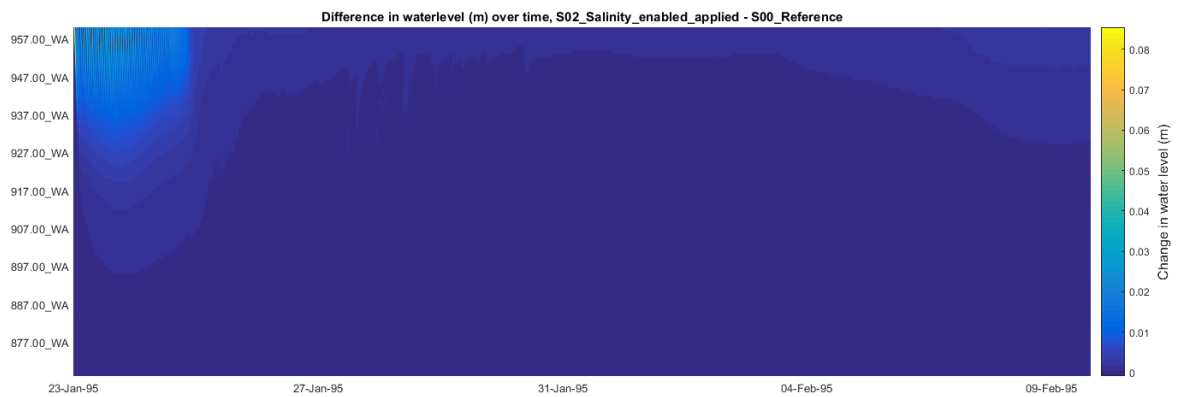
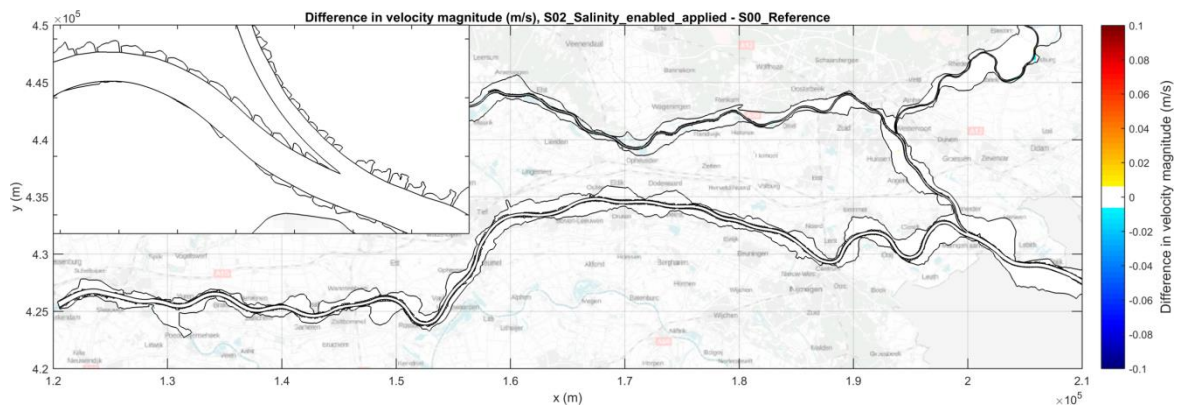
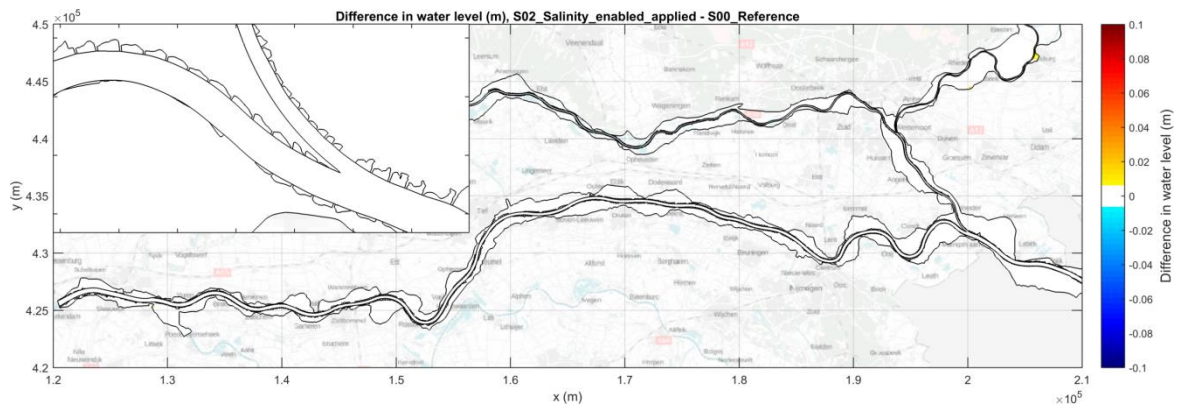


Door de veranderde tijdsduur van de simulatie zijn overige figuren niet beschikbaar in de automatische postprocessing

Statistiek			
Gemiddelde rekestap	2.95208 s		
Runtime	35531.3 s		

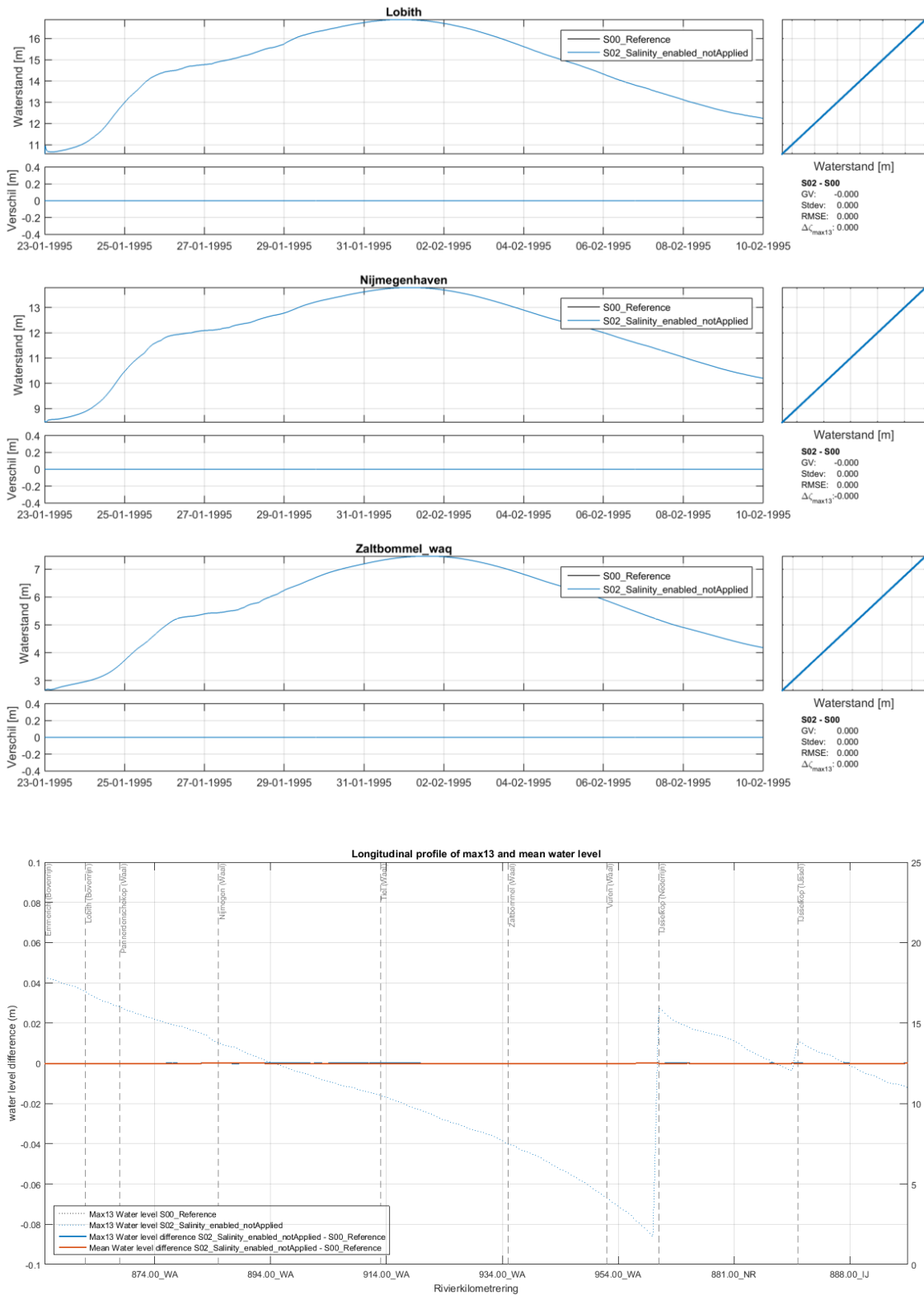
D.9.2 Zoutindringing overdreven

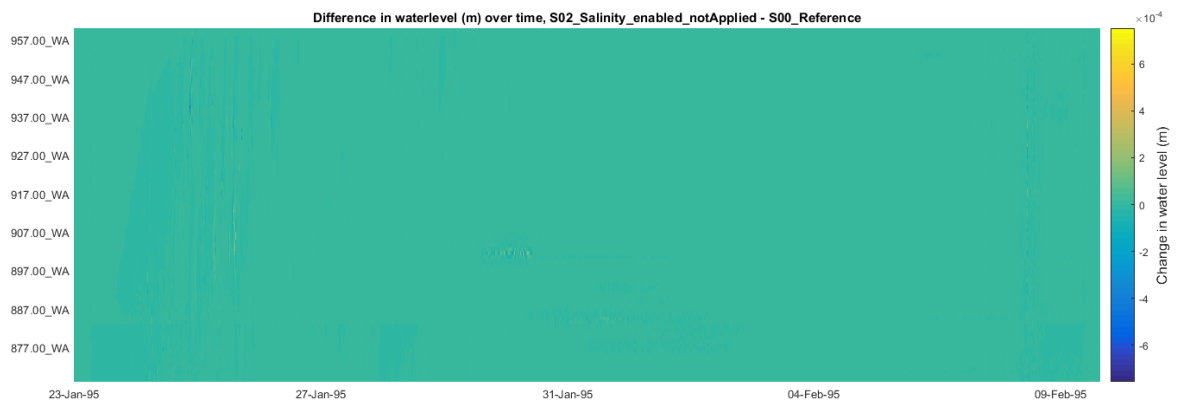
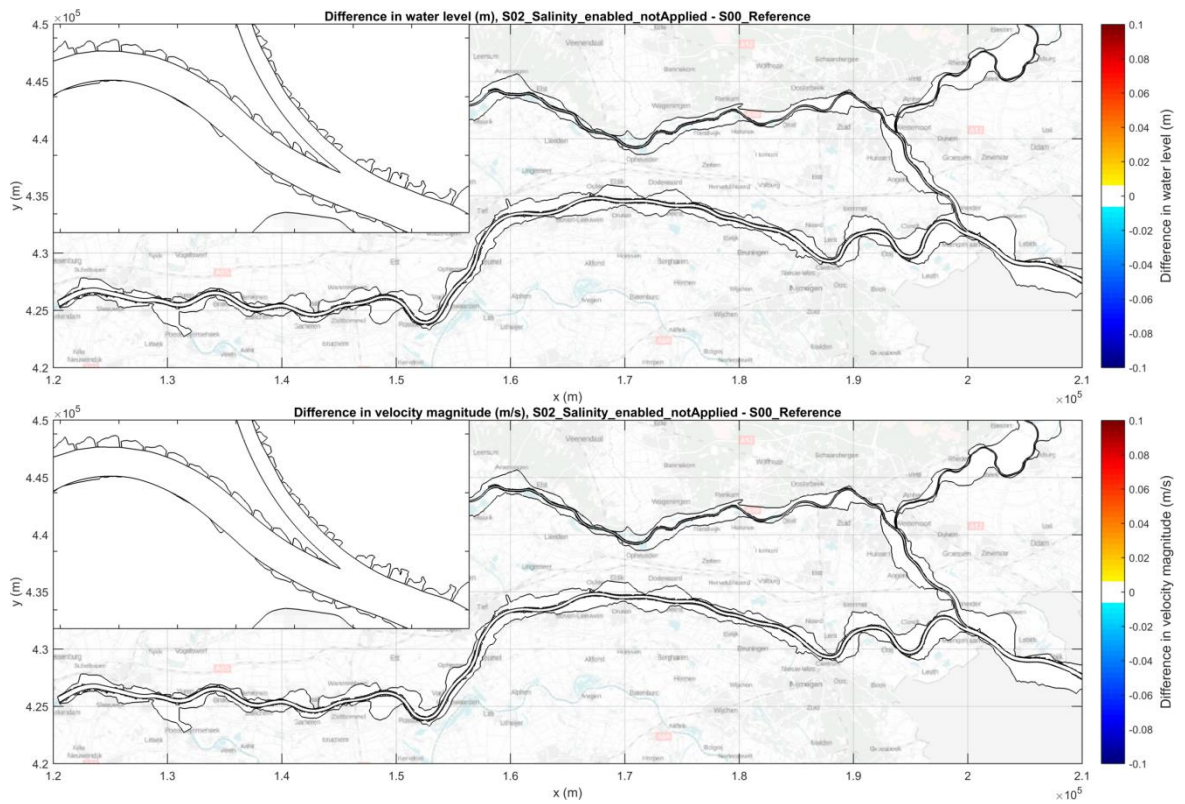




Statistiek			
Q-Waal	+0.1 m ³ /s (+0.0 %)	Emmerich_waq	+0.000 m (+0.0 %)
Q-Pankanaal	-0.1 m ³ /s (-0.0 %)	Lobith	+0.000 m (+0.0 %)
Q-Nederrijn	-0.1 m ³ /s (-0.0 %)	PannerdenscheKop	+0.000 m (+0.0 %)
Q-Yssel	-0.0 m ³ /s (-0.0 %)	Nijmegenhaven	+0.000 m (+0.0 %)
		TielWaal	+0.000 m (+0.0 %)
		Zaltbommel_waq	+0.001 m (+0.0 %)
Gemiddelde rekentijdstap	3.09408	IJsselkop	-0.000 m (-0.0 %)
Runtime	46,218.5	Drielboven	-0.000 m (-0.0 %)

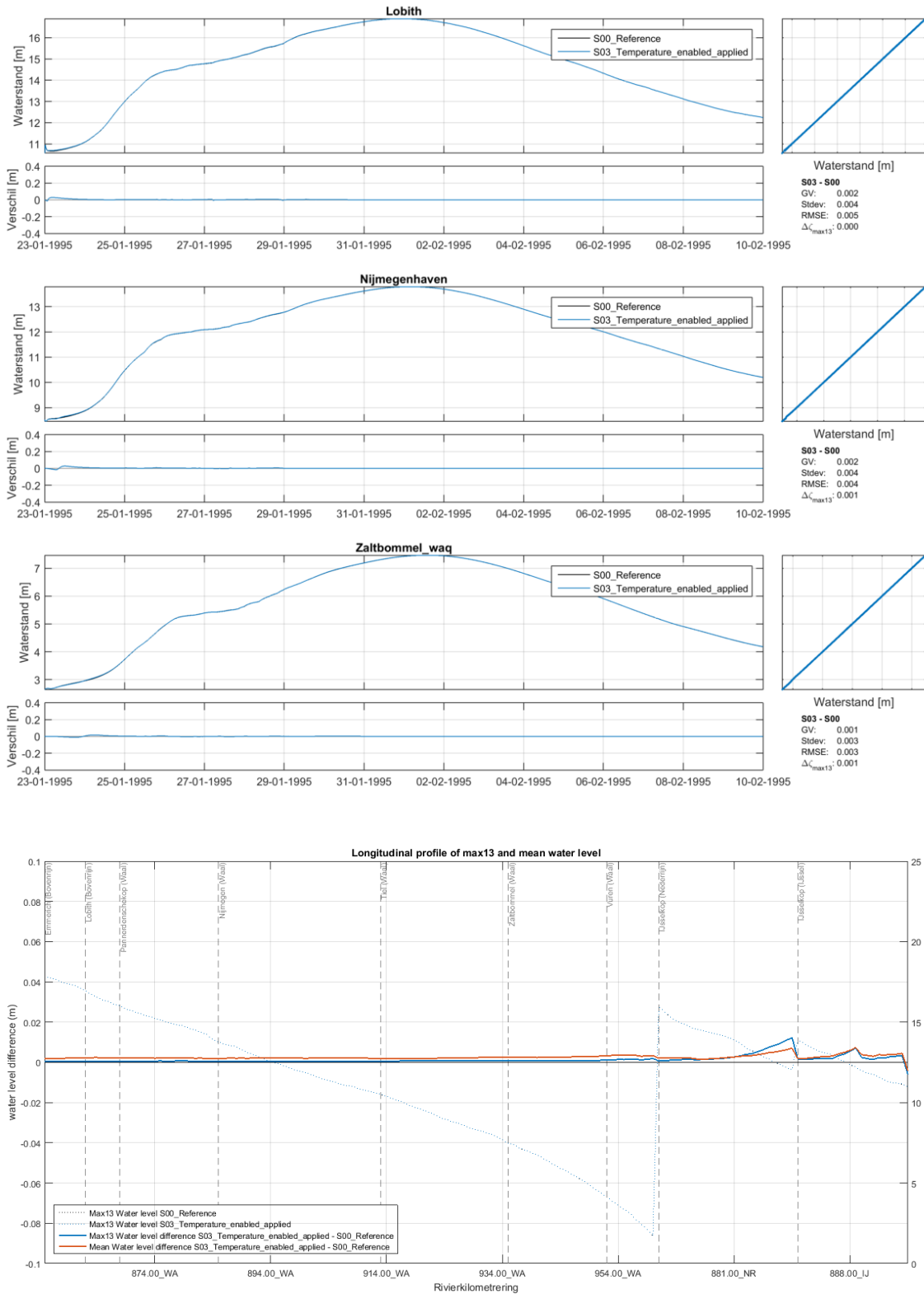
D.9.3 Zoutindringing beperkt

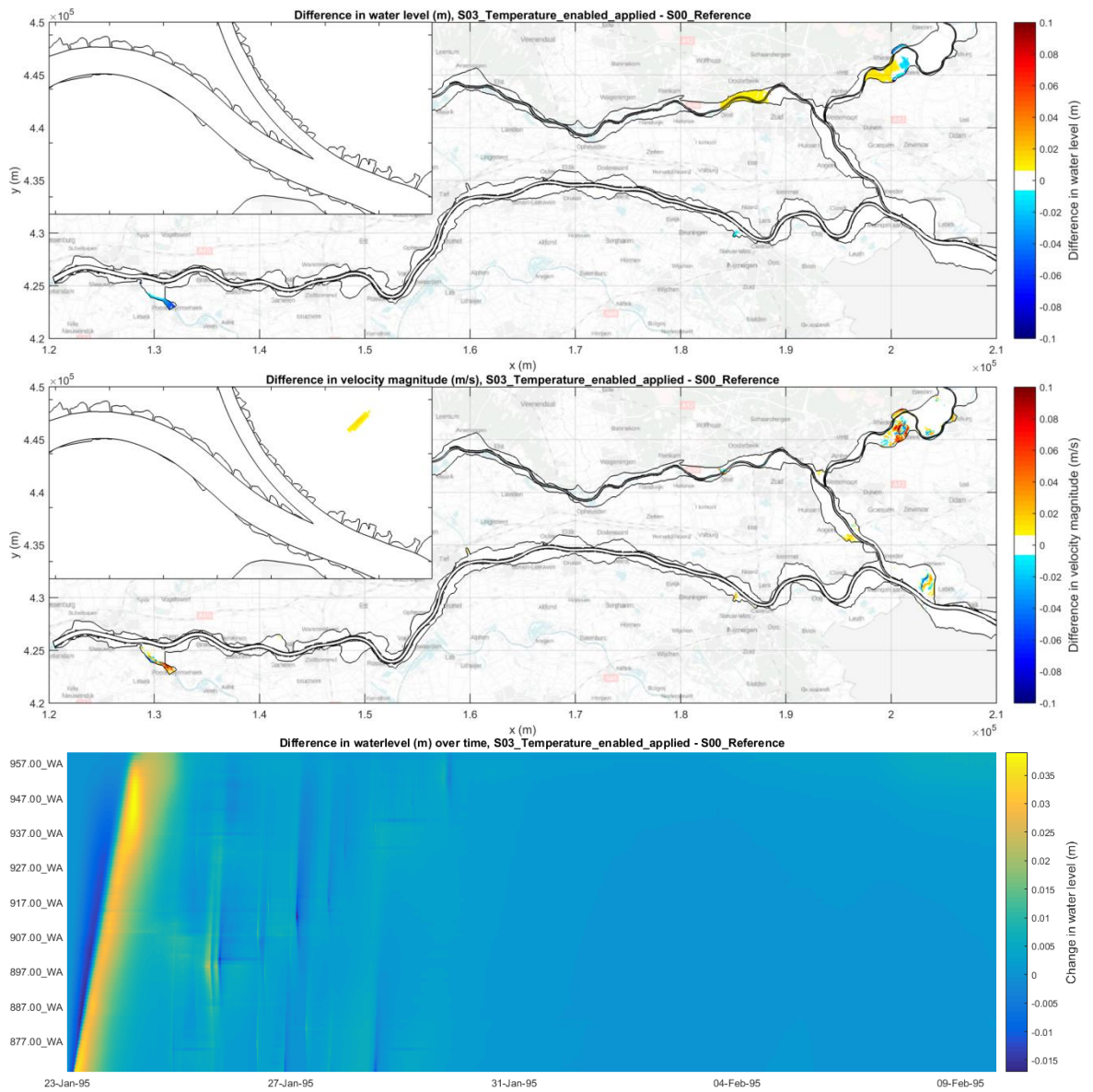




Statistiek			
Q-Waal	+0.0 m ³ /s (+0.0 %)	Emmerich_waq	-0.000 m (-0.0 %)
Q-Pankanaal	-0.0 m ³ /s (-0.0 %)	Lobith	-0.000 m (-0.0 %)
Q-Nederrijn	-0.0 m ³ /s (-0.0 %)	PannerdenscheKop	-0.000 m (-0.0 %)
Q-Yssel	+0.0 m ³ /s (+0.0 %)	Nijmegenhaven	-0.000 m (-0.0 %)
		TielWaal	+0.000 m (+0.0 %)
		Zaltbommel_waq	+0.000 m (+0.0 %)
Gemiddelde rekentijdstap	3.09376 s	Ijsselkop	-0.000 m (-0.0 %)
Runtime	47,254.9 s	Drielboven	-0.000 m (-0.0 %)

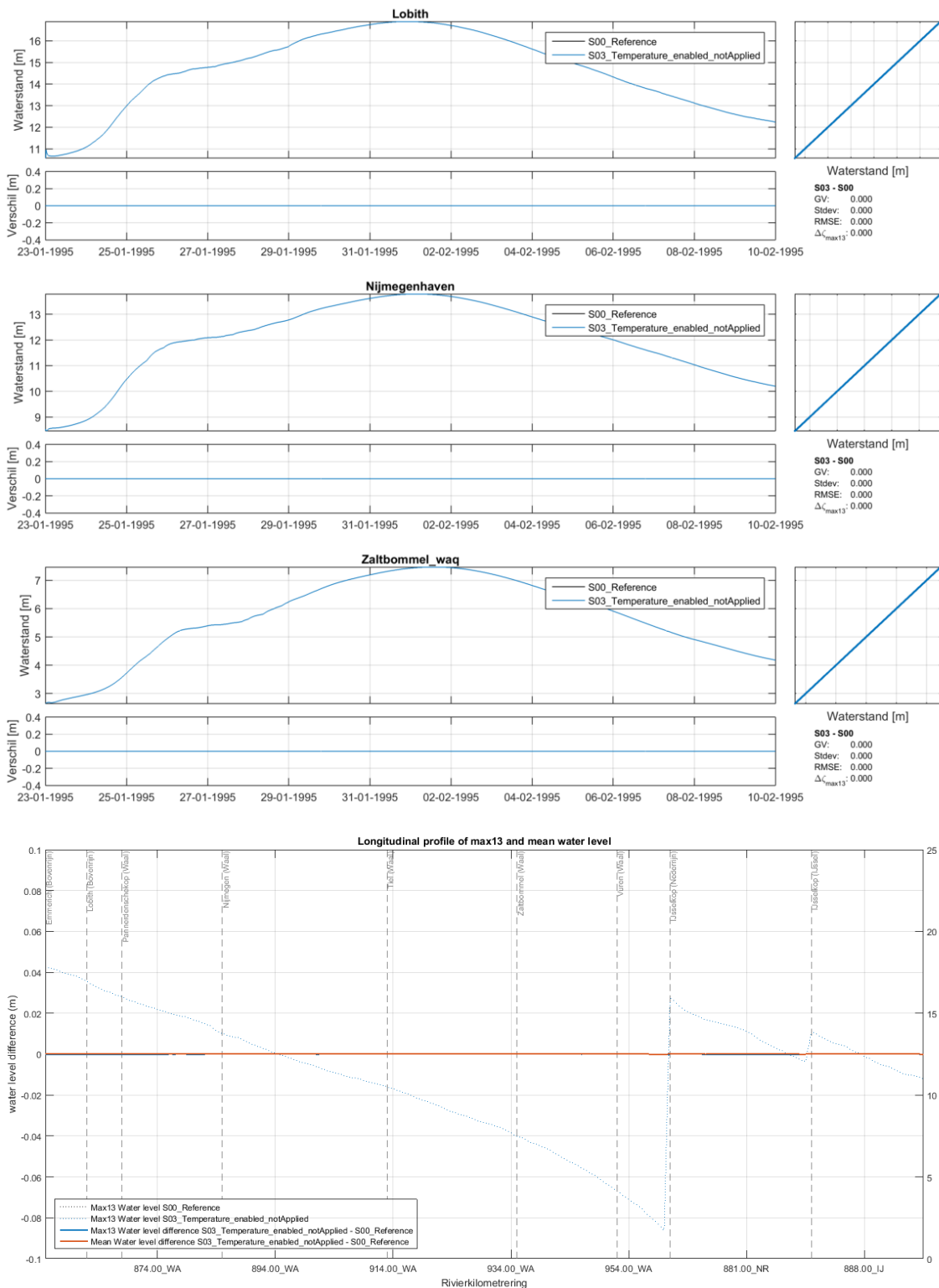
D.9.4 Toevoegen temperatuur overdreven

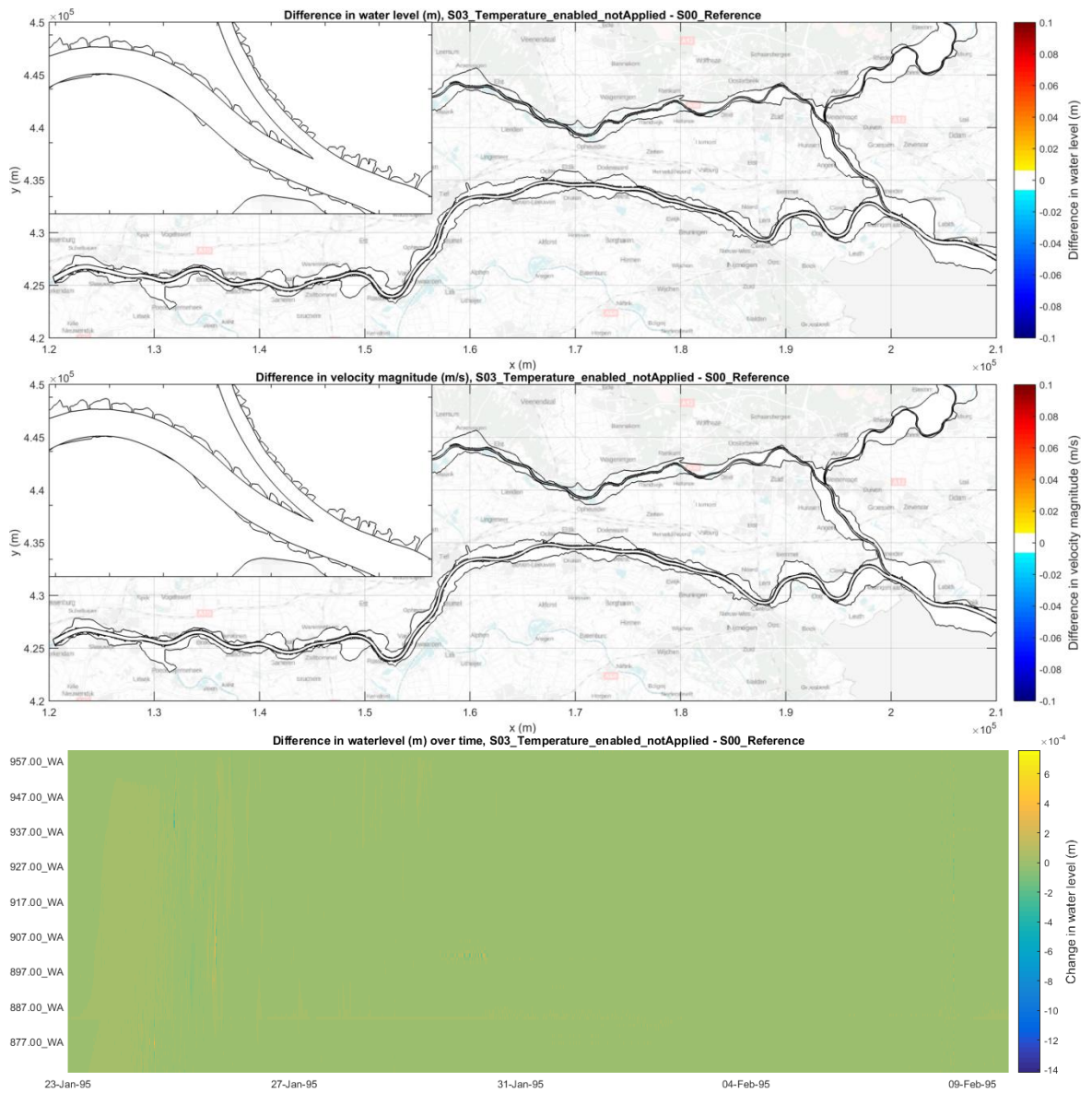




Statistiek			
Q-Waal	+0.9 m ³ /s (+0.0 %)	Emmerich_waq	+0.002 m (+0.0 %)
Q-Pankanaal	-0.9 m ³ /s (-0.0 %)	Lobith	+0.002 m (+0.0 %)
Q-Nederrijn	-0.5 m ³ /s (-0.0 %)	PannerdenscheKop	+0.002 m (+0.0 %)
Q-Yssel	-0.4 m ³ /s (-0.0 %)	Nijmegenhaven	+0.002 m (+0.0 %)
		TielWaal	-0.011 m (-0.2 %)
		Zaltbommel_waq	+0.001 m (+0.0 %)
Gemiddelde rekestijdstap	3.09352	Ijsselkop	+0.001 m (+0.0 %)
Runtime	45,864.9	Drielboven	+0.008 m (+0.2 %)

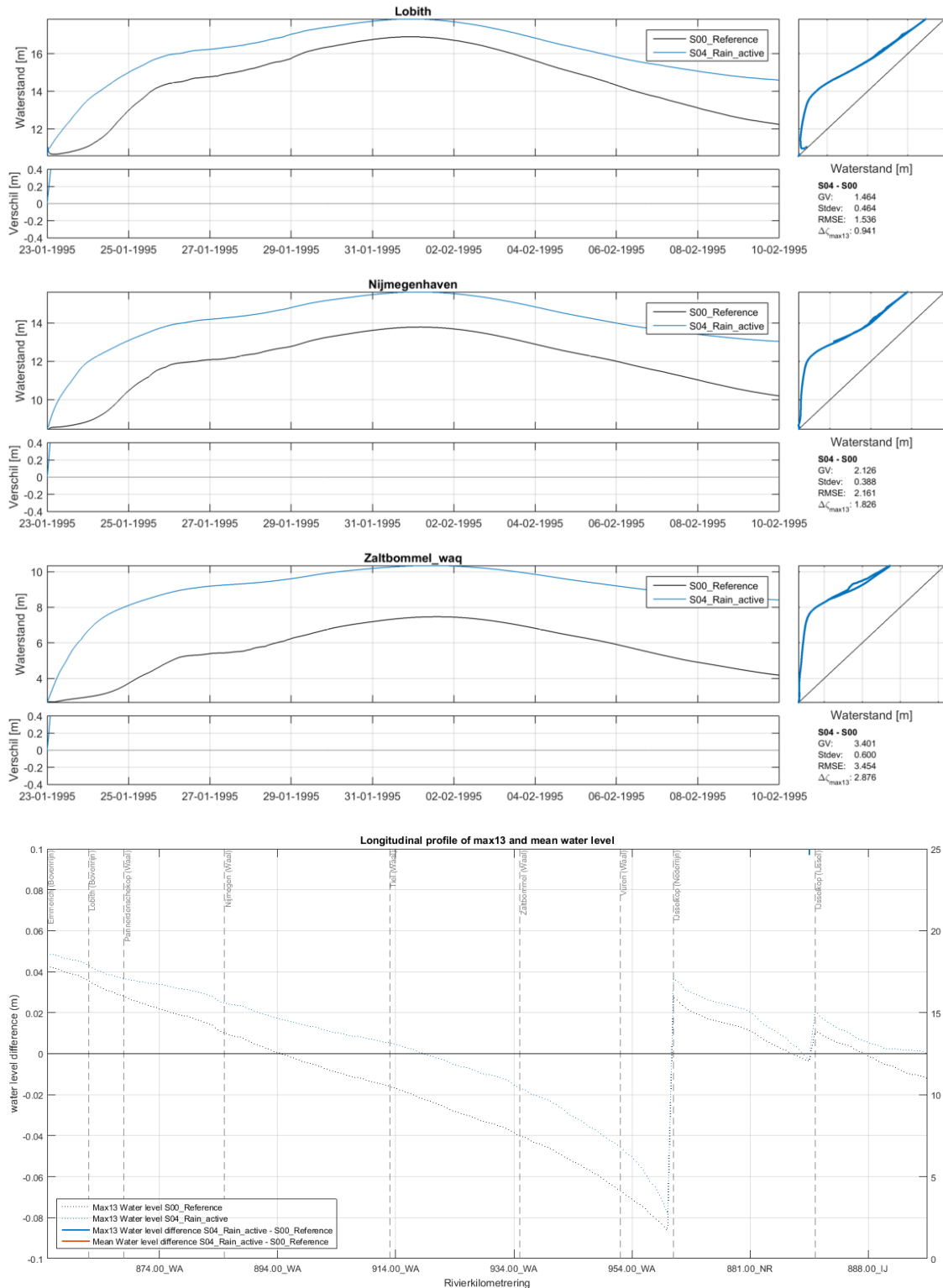
D.9.5 Toevoegen temperatuur beperkt

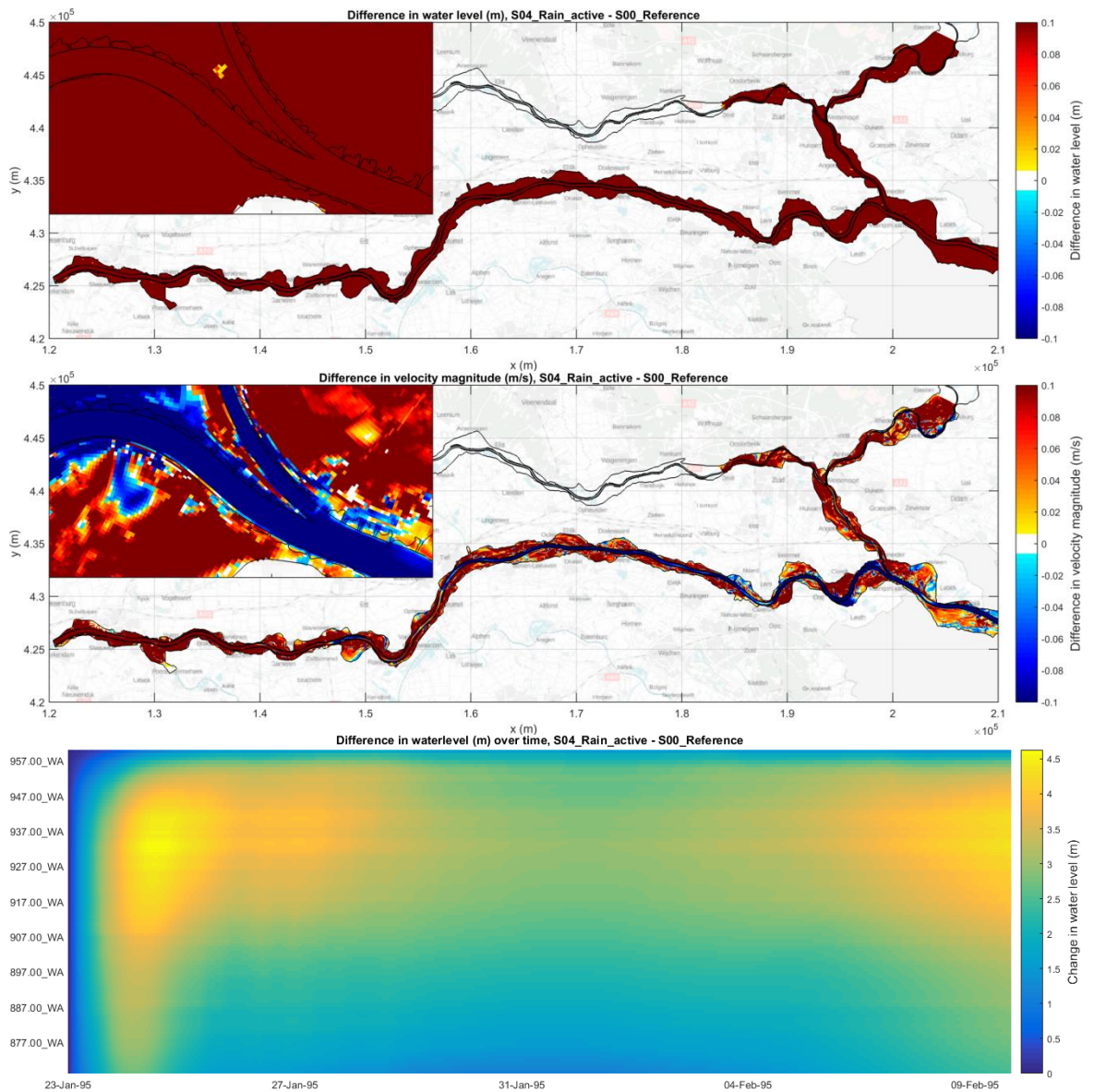




Statistiek			
Q-Waal	+0.0 m ³ /s (+0.0 %)	Emmerich_waq	+0.000 m (+0.0 %)
Q-Pankanaal	-0.0 m ³ /s (-0.0 %)	Lobith	+0.000 m (+0.0 %)
Q-Nederrijn	+0.0 m ³ /s (+0.0 %)	PannerdenscheKop	+0.000 m (+0.0 %)
Q-Yssel	-0.0 m ³ /s (-0.0 %)	Nijmegenhaven	+0.000 m (+0.0 %)
		TielWaal	+0.000 m (+0.0 %)
		Zaltbommel_waq	+0.000 m (+0.0 %)
Gemiddelde rekentijdstap	3.09379 s	Ijsselkop	+0.000 m (+0.0 %)
Runtime	45898.2 s	Drielboven	-0.000 m (-0.0 %)

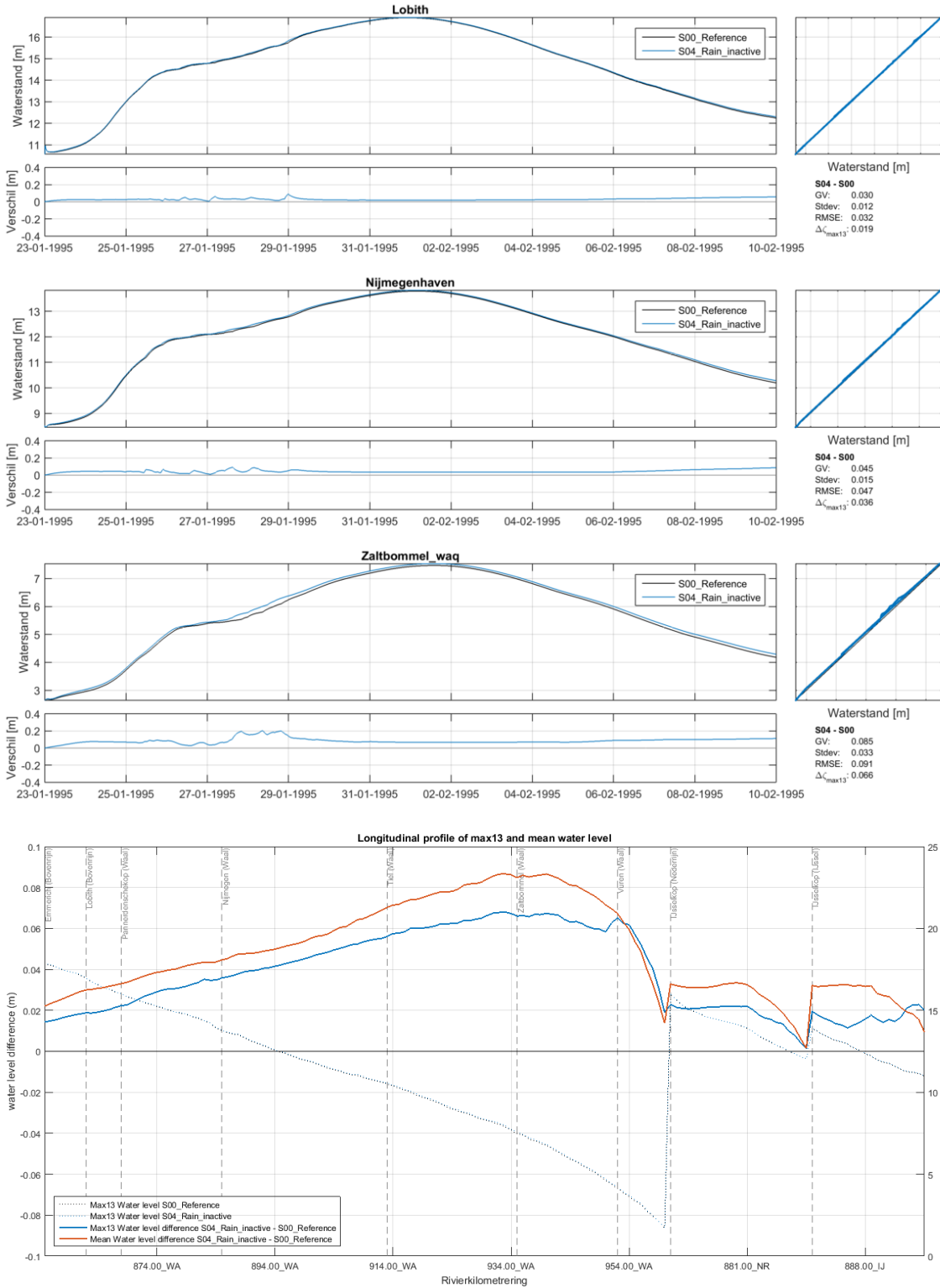
D.9.6 Toevoegen regen overdreven

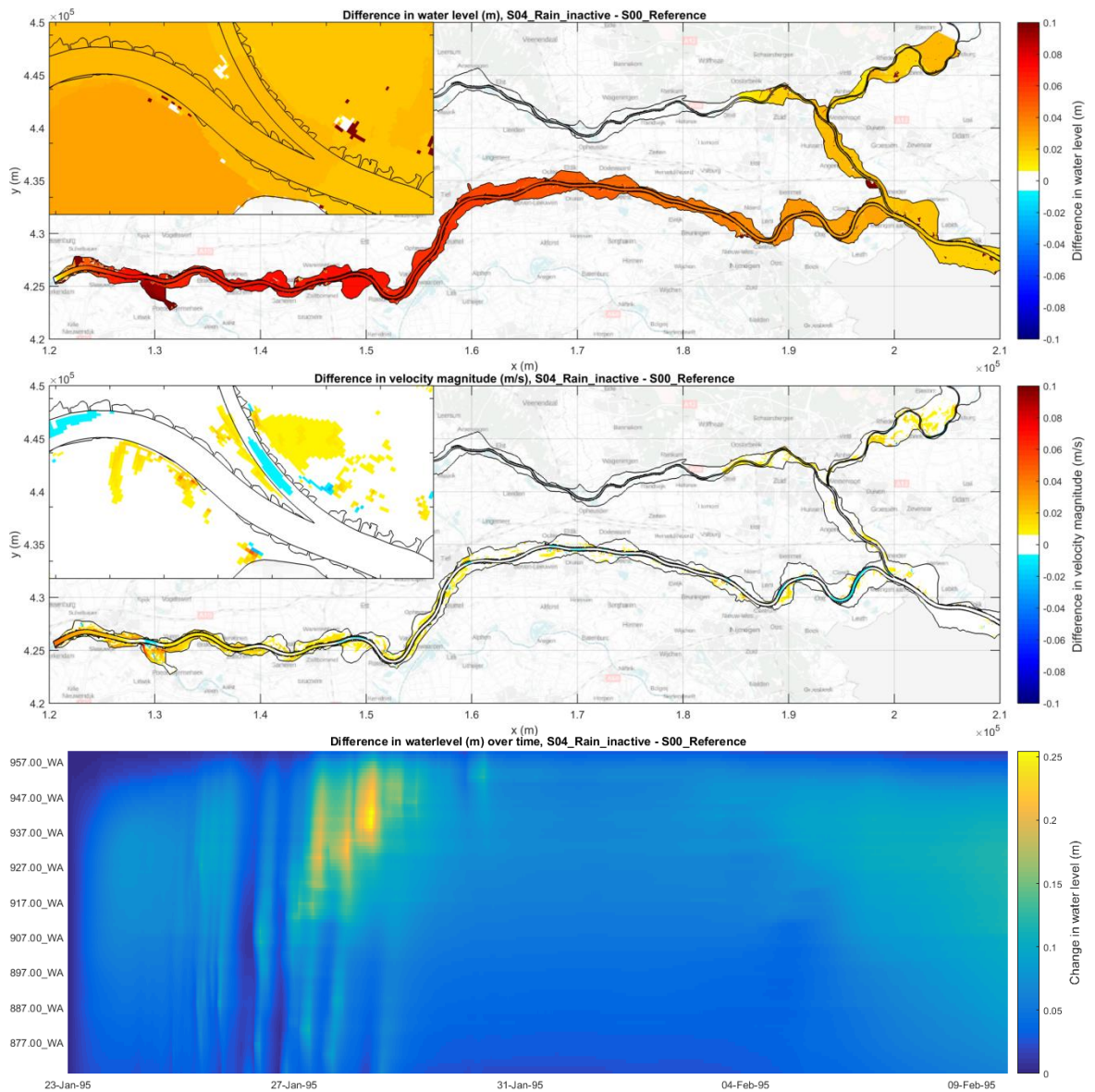




Statistiek			
Q-Waal	+698.7 m ³ /s (+8.8 %)	Emmerich_waq	+1.082 m (+14.9 %)
Q-Pankanaal	+1054.0 m ³ /s (+18.2 %)	Lobith	+1.464 m (+20.2 %)
Q-Nederrijn	+1107.6 m ³ /s (+29.8 %)	PannerdenscheKop	+1.566 m (+22.6 %)
Q-Yssel	+661.3 m ³ /s (+23.6 %)	Nijmegenhaven	+2.126 m (+29.8 %)
		TielWaal	+3.041 m (+38.9 %)
		Zaltbommel_waq	+3.401 m (+44.2 %)
Gemiddelde rekestijdstap	2.33332 s	Ijsselkop	+1.553 m (+25.4 %)
Runtime	87918.1 s	Drielboven	+0.046 m (+1.0 %)

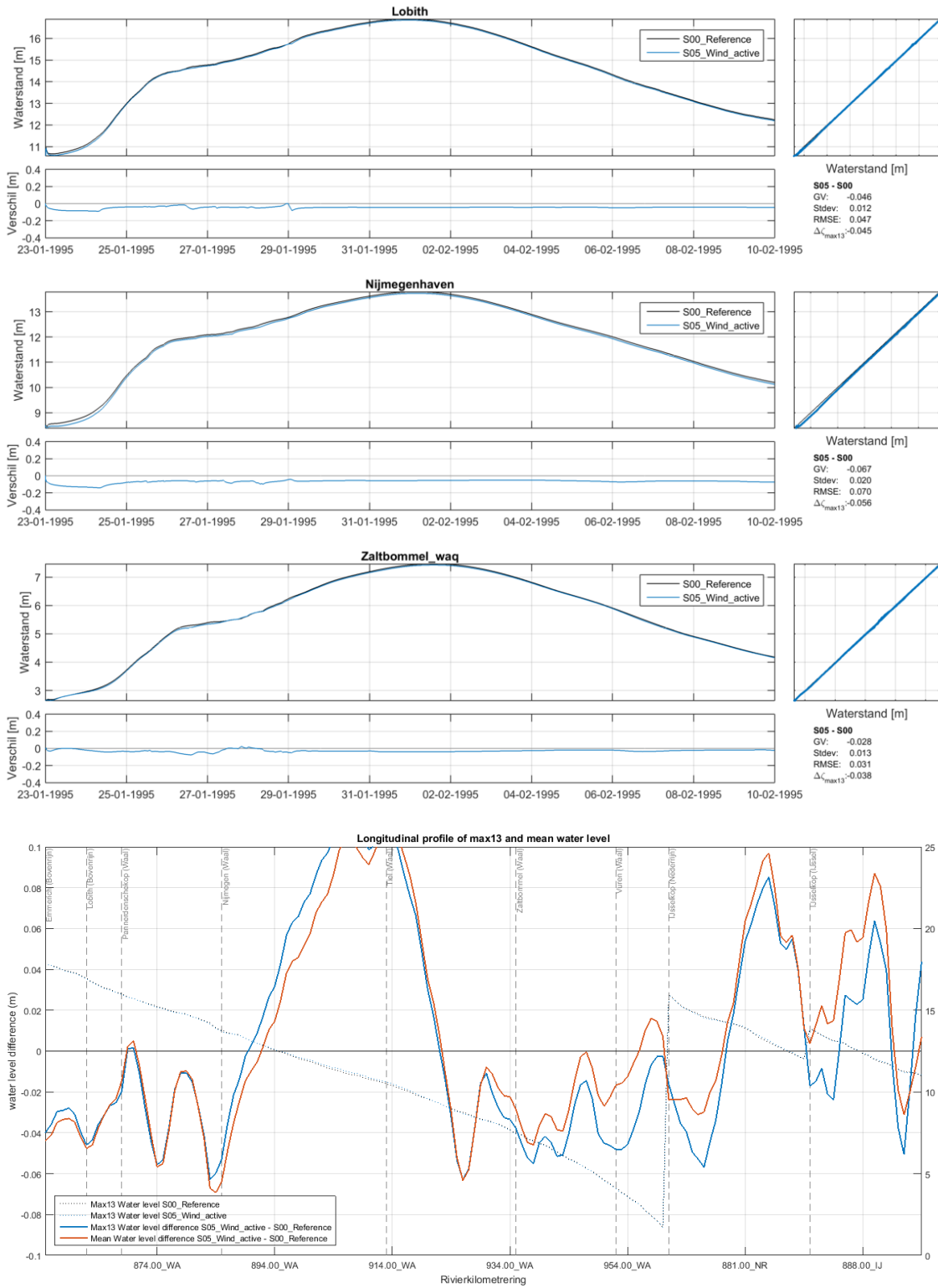
D.9.7 Toevoegen regen minimaal

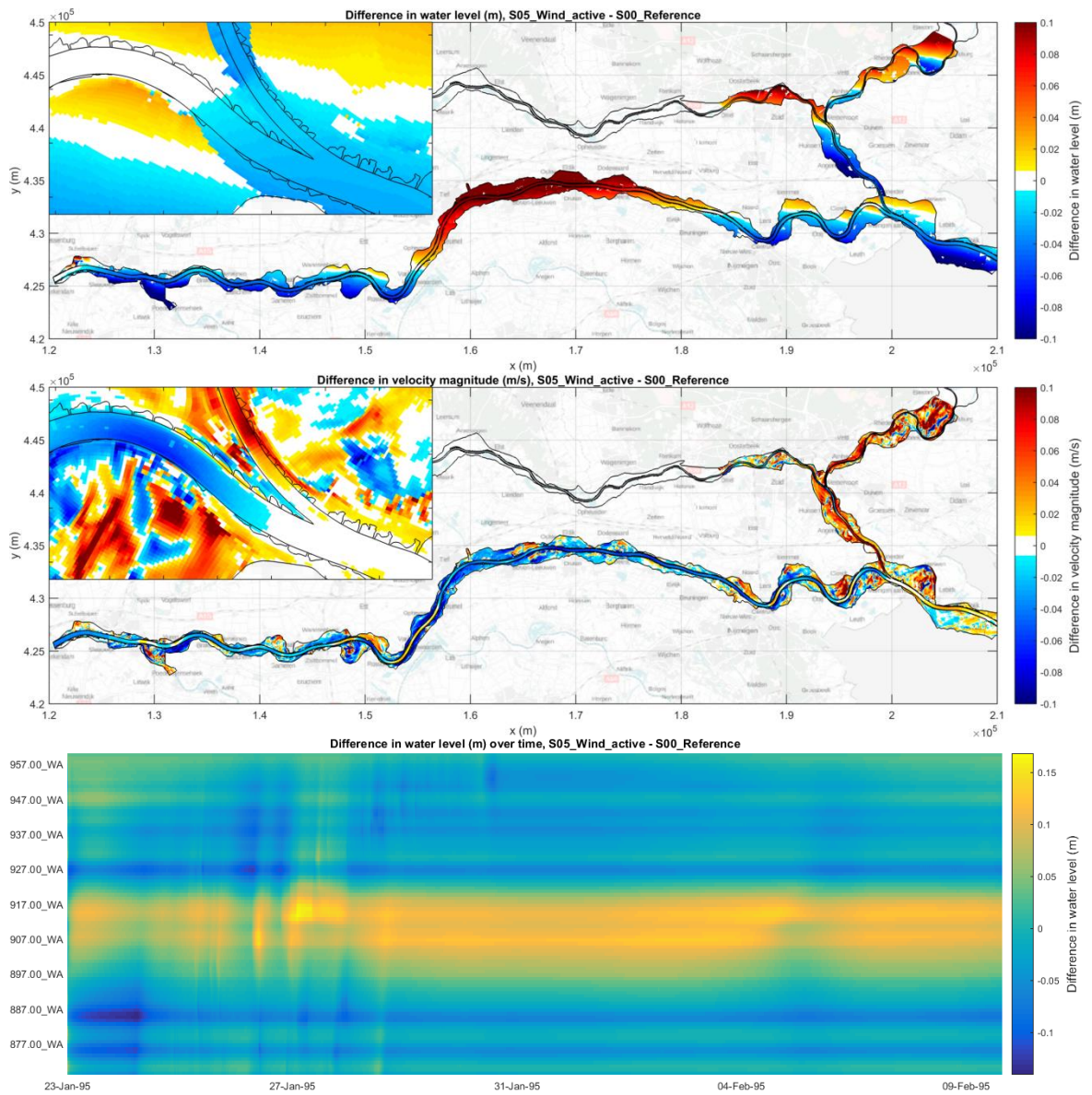




Statistiek			
Q-Waal	+16.1 m ³ /s (+0.2 %)	Emmerich_waq	+0.020 m (+0.3 %)
Q-Pankanaal	+17.5 m ³ /s (+0.4 %)	Lobith	+0.030 m (+0.5 %)
Q-Nederrijn	+21.4 m ³ /s (+0.8 %)	PannerdenscheKop	+0.033 m (+0.6 %)
Q-Yssel	+9.4 m ³ /s (+0.5 %)	Nijmegenhaven	+0.045 m (+0.8 %)
		TielWaal	+0.070 m (+1.3 %)
		Zaltbommel_waq	+0.085 m (+1.7 %)
Gemiddelde rekentijdstap	3.02169 s	Ijsselkop	+0.033 m (+0.7 %)
Runtime	68688.5 s	Drielboven	+0.000 m (+0.0 %)

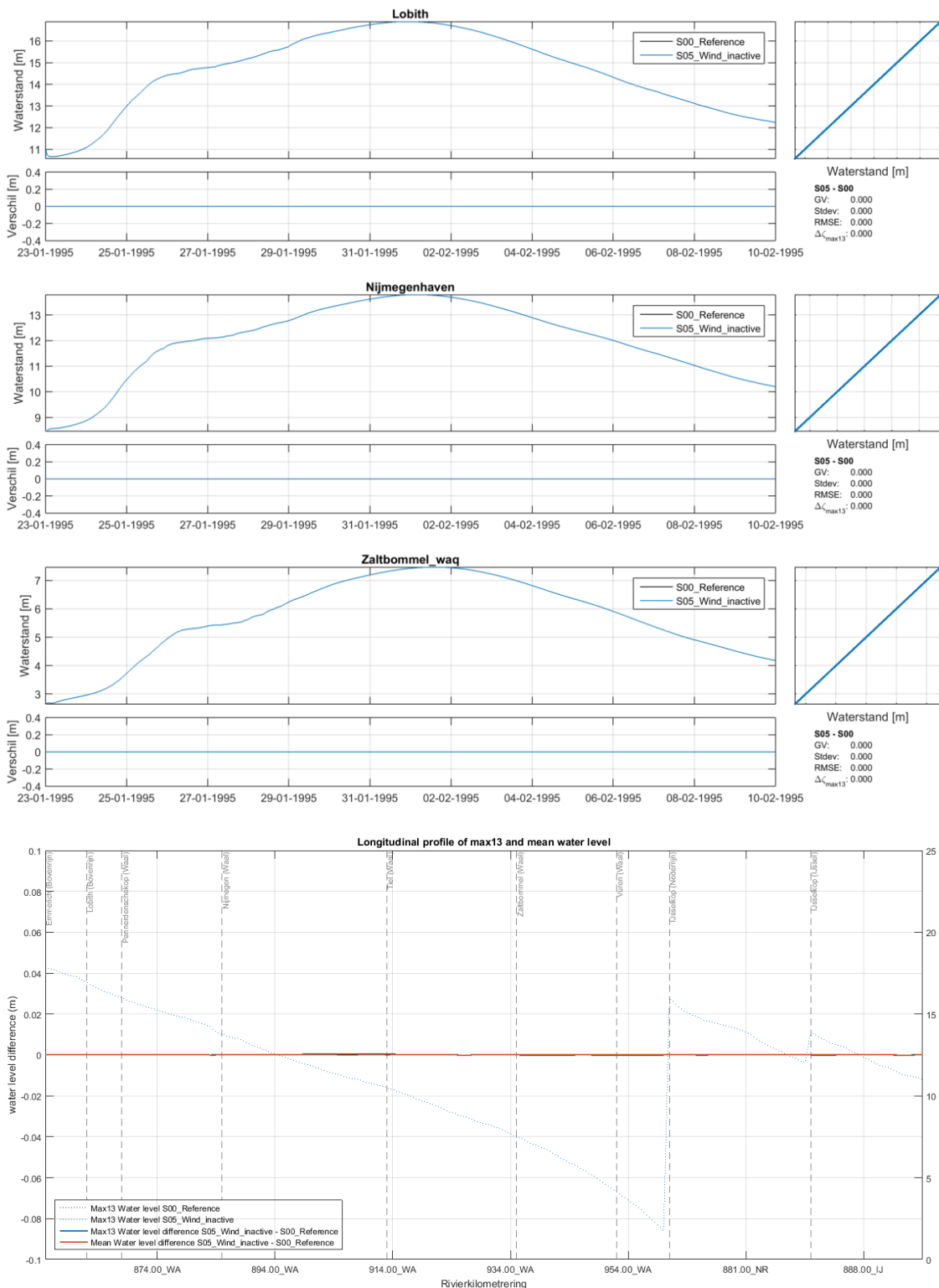
D.9.8 Toevoegen wind overdreven

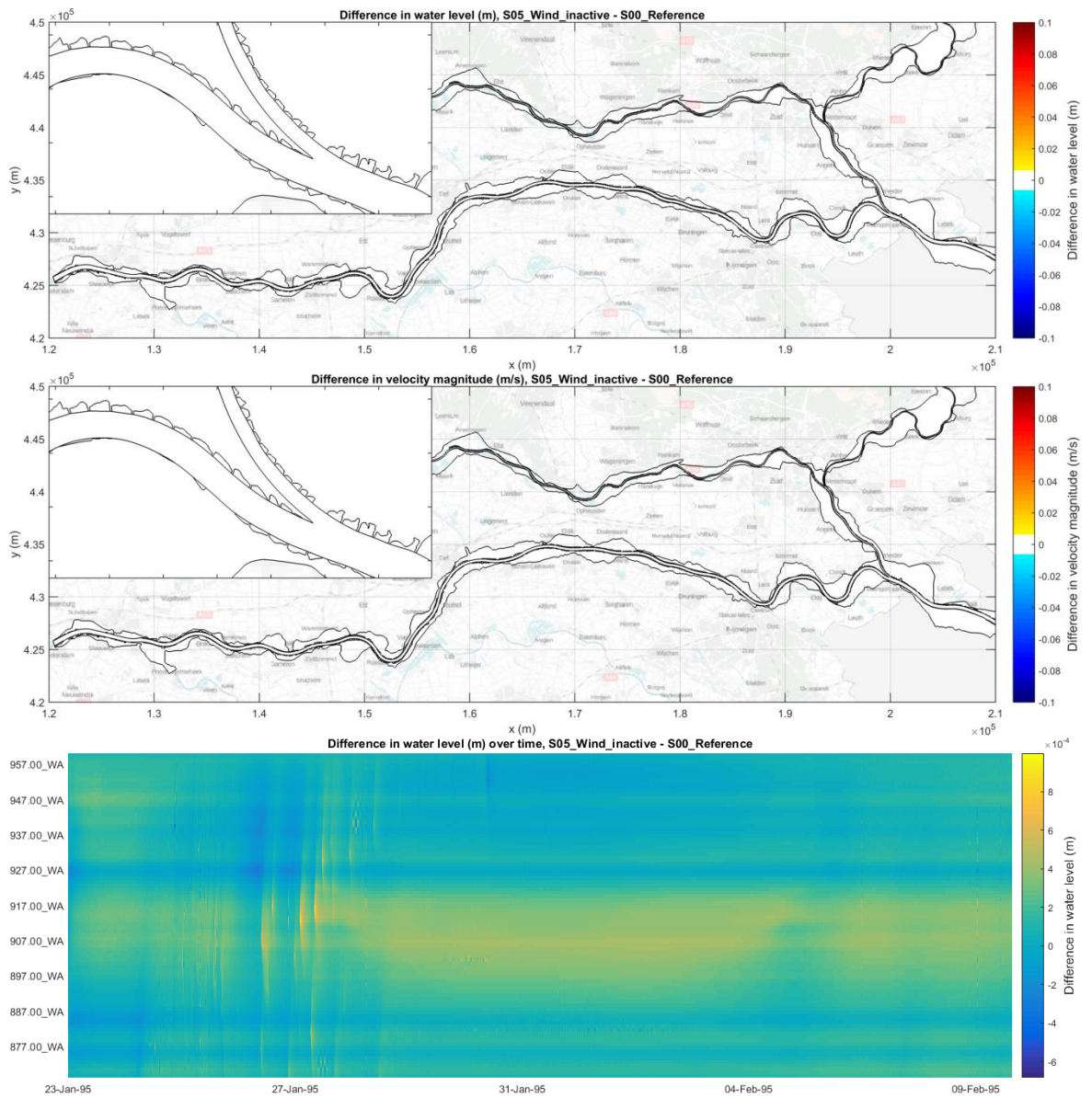




Statistiek			
Q-Waal	-98.5 m ³ /s (-1.4 %)	Emmerich_waq	-0.034 m (-0.5 %)
Q-Pankanaal	+94.3 m ³ /s (+2.1 %)	Lobith	-0.046 m (-0.7 %)
Q-Nederrijn	+24.7 m ³ /s (+0.9 %)	PannerdenscheKop	-0.025 m (-0.4 %)
Q-Yssel	+70.2 m ³ /s (+3.6 %)	Nijmegenhaven	-0.067 m (-1.3 %)
		TielWaal	+0.139 m (+2.6 %)
		Zaltbommel_waq	-0.028 m (-0.6 %)
Gemiddelde rekestijdstap	2.69724	Ijsselkop	+0.017 m (+0.3 %)
Runtime	54096.3	Drielboven	+0.007 m (+0.2 %)

D.9.9 Toevoegen wind minimaal

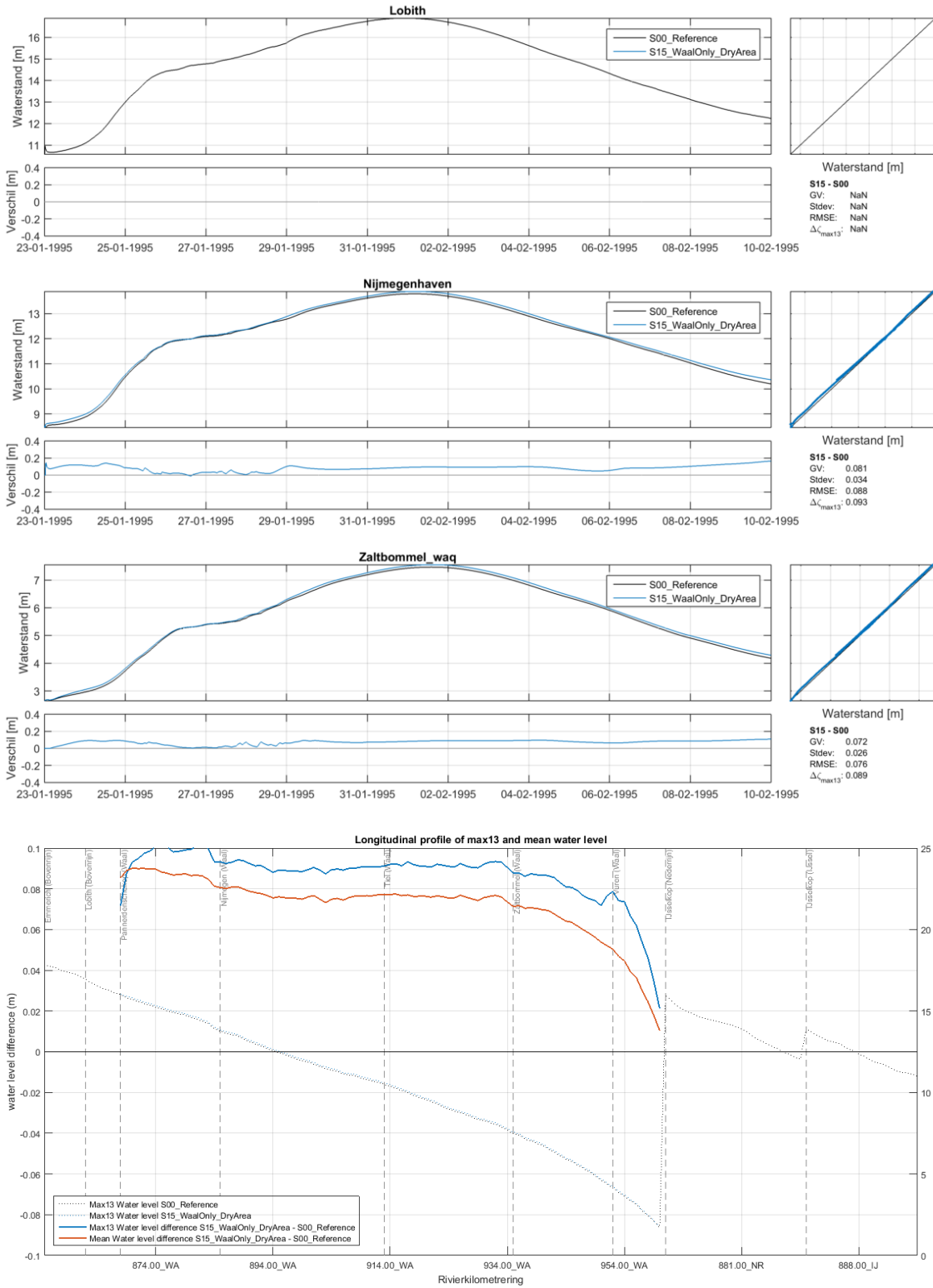


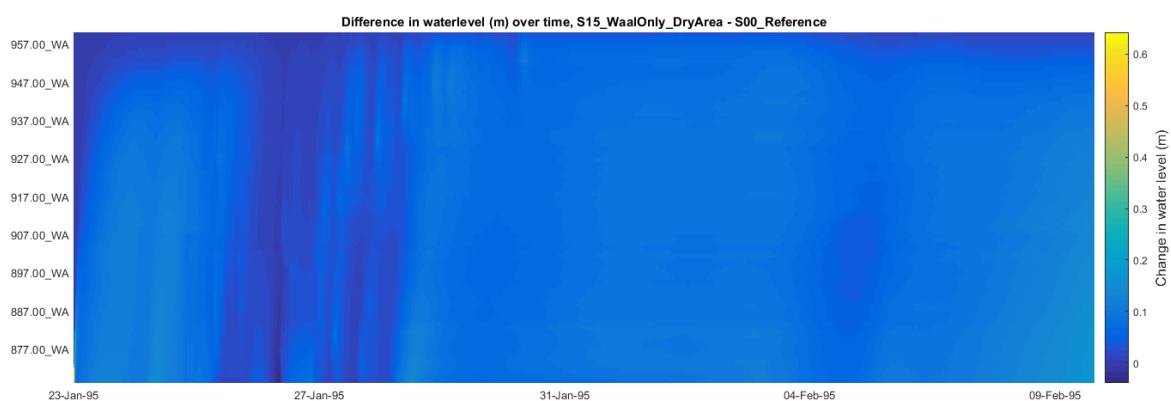


Statistiek			
Q-Waal	-0.3 m ³ /s (-0.0 %)	Emmerich_waq	+0.000 m (+0.0 %)
Q-Pankanaal	+0.3 m ³ /s (+0.0 %)	Lobith	+0.000 m (+0.0 %)
Q-Nederrijn	+0.0 m ³ /s (+0.0 %)	PannerdenscheKop	+0.000 m (+0.0 %)
Q-Yssel	+0.3 m ³ /s (+0.0 %)	Nijmegenhaven	+0.000 m (+0.0 %)
		TielWaal	+0.000 m (+0.0 %)
		Zaltbommel_waq	+0.000 m (+0.0 %)
Gemiddelde rekentijdstap	3.08992	Ijsselkop	+0.000 m (+0.0 %)
Runtime	39833.2	Drielboven	+0.000 m (+0.0 %)

D.10 Deelgebieden

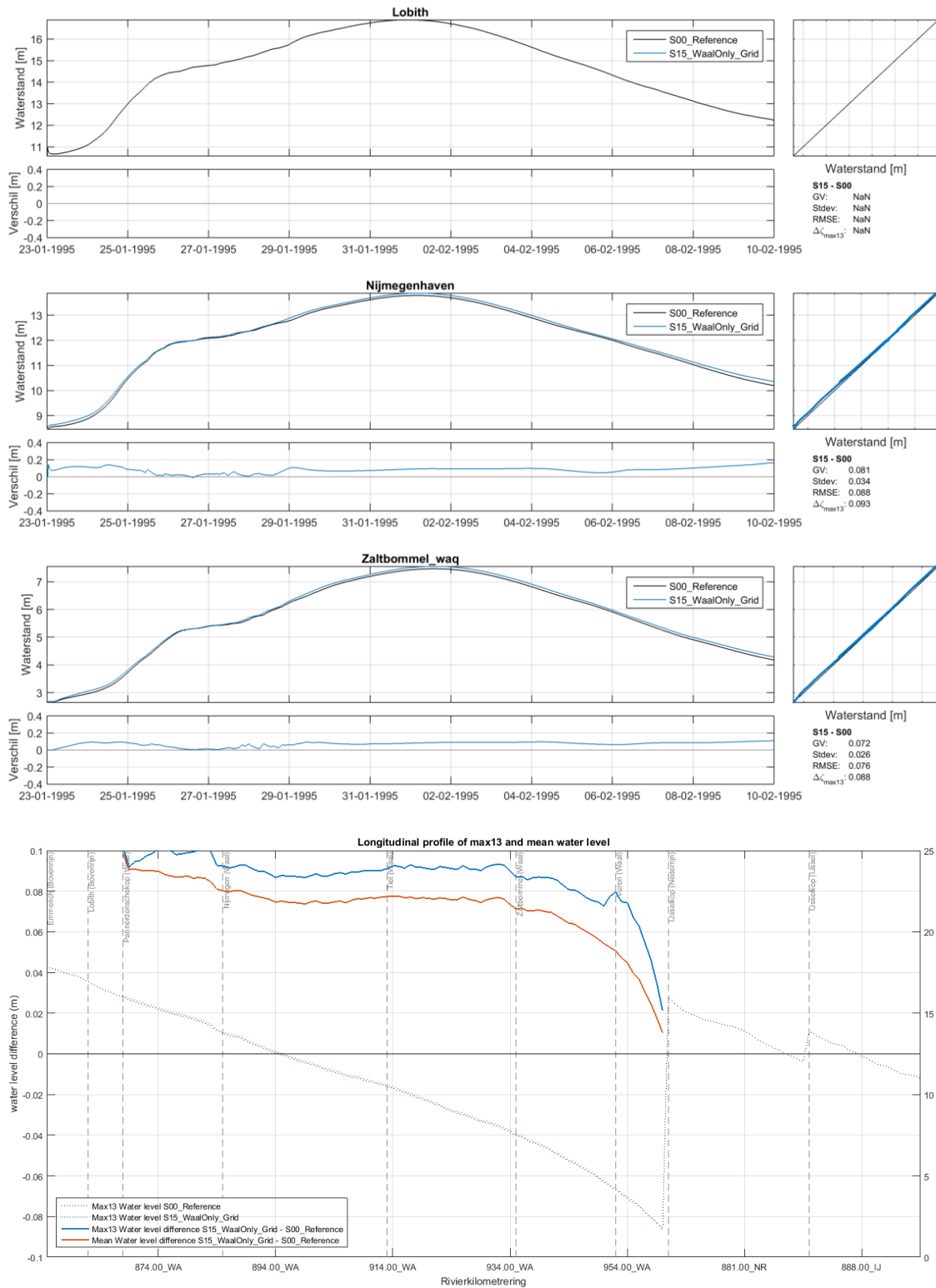
D.10.1 Enkel Waal, bijgesneden rekenroosterbegrenzing

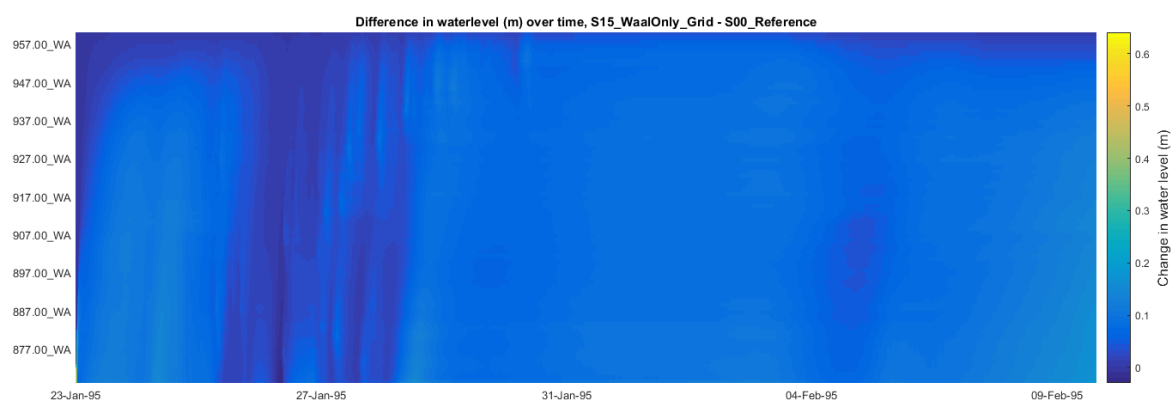




Statistiek			
Q-Waal	+98.0 m ³ /s (+1.3 %)	Emmerich_waq	NaN m (NaN %)
Q-Pankanaal	-2779.2 m ³ /s (-Inf %)	Lobith	NaN m (NaN %)
Q-Nederrijn	-1572.1 m ³ /s (-Inf %)	PannerdenscheKop	NaN m (NaN %)
Q-Yssel	-1197.9 m ³ /s (-Inf %)	Nijmegenhaven	+0.081 m (+1.5 %)
		TielWaal	+0.077 m (+1.5 %)
		Zaltbommel_waq	+0.072 m (+1.5 %)
Gemiddelde rekentijdstap	7.71739 s	Ijsselkop	NaN m (NaN %)
Runtime	12107.3 s	Drielboven	NaN m (NaN %)

D.10.2 Enkel Waal, bijgesneden rooster

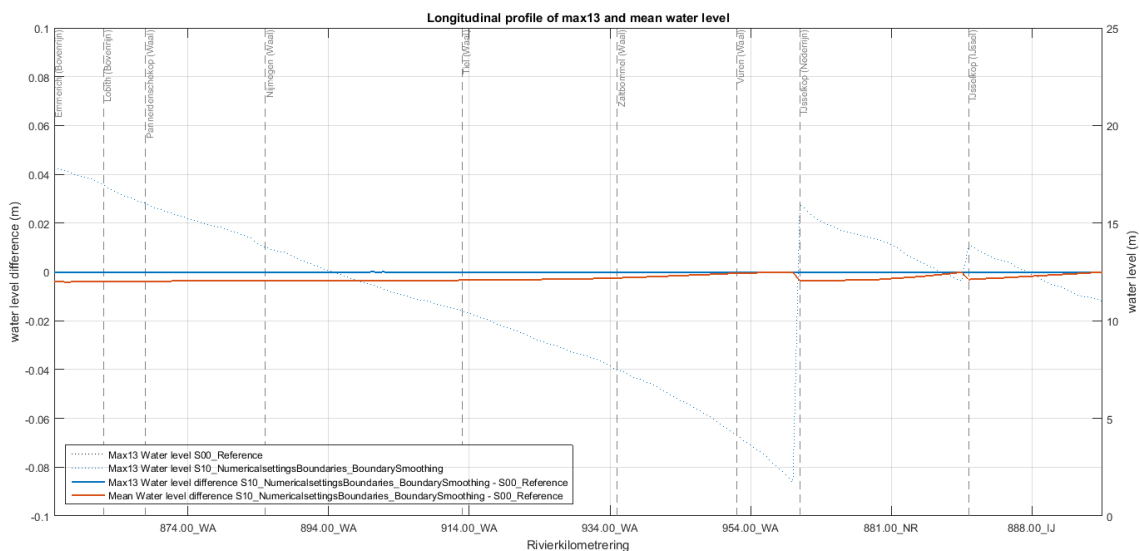
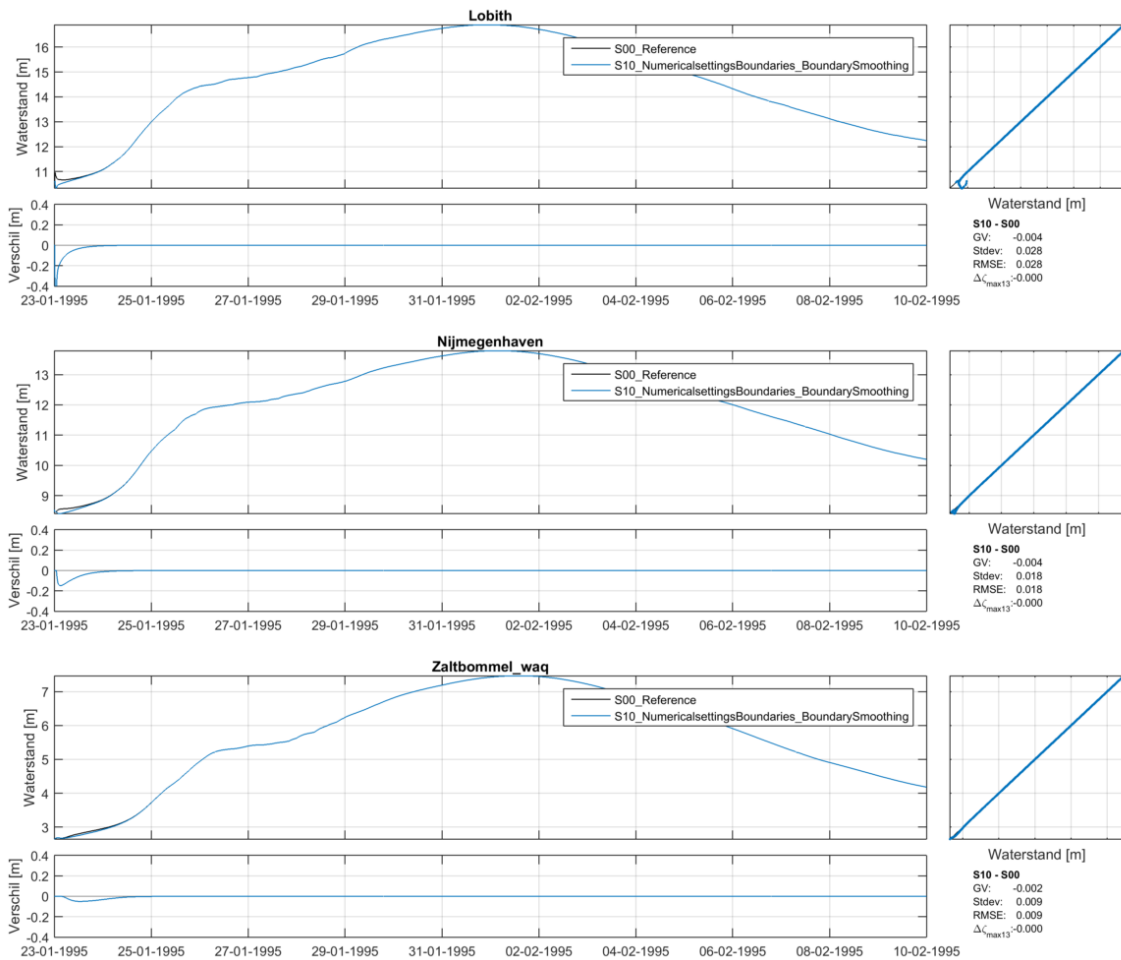


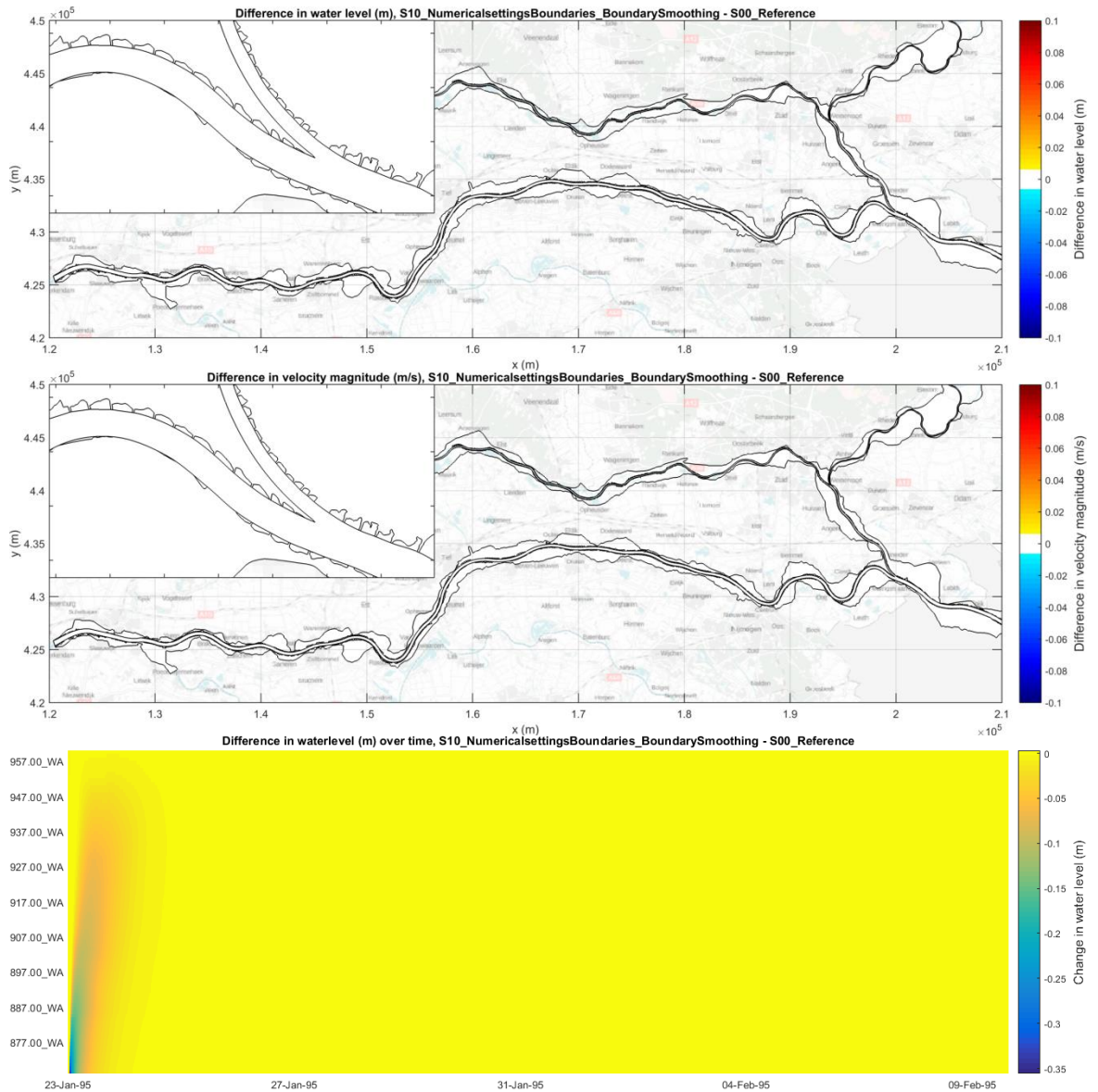


Statistiek			
Q-Waal	+97.9 m ³ /s (+1.3 %)	Emmerich_waq	NaN m (NaN %)
Q-Pankanaal	-2779.2 m ³ /s (-Inf %)	Lobith	NaN m (NaN %)
Q-Nederrijn	-1572.1 m ³ /s (-Inf %)	PannerdenscheKop	NaN m (NaN %)
Q-Yssel	-1197.9 m ³ /s (-Inf %)	Nijmegenhaven	+0.081 m (+1.5 %)
		TielWaal	+0.077 m (+1.5 %)
		Zaltbommel_waq	+0.072 m (+1.5 %)
Gemiddelde rekentijdstap	8.37088 s	Ijsselkop	NaN m (NaN %)
Runtime	8230.74 s	Drielboven	NaN m (NaN %)

D.11 Overige testen

D.11.1 Boundary smoothing, Tlfsmo=3600





Statistiek			
Q-Waal	-1.9 m ³ /s (-0.0 %)	Emmerich_waq	-0.004 m (-0.1 %)
Q-Pankanaal	-1.4 m ³ /s (-0.0 %)	Lobith	-0.004 m (-0.1 %)
Q-Nederrijn	-0.7 m ³ /s (-0.0 %)	PannerdenscheKop	-0.004 m (-0.1 %)
Q-Yssel	-0.8 m ³ /s (-0.0 %)	Nijmegenhaven	-0.004 m (-0.1 %)
		TielWaal	-0.003 m (-0.1 %)
		Zaltbommel_waq	-0.002 m (-0.1 %)
Gemiddelde rekestijdstap	3.08794 s	Ijsselkop	-0.003 m (-0.1 %)
Runtime	39217 s	Drielboven	-0.000 m (-0.0 %)

E Kalibratie

E.1 Technische details

E.1.1 Transitie in kalibratie zomerbed

In de huidige status van de software wordt voor de ruwheid gebruik gemaakt van de trachytopenmodule in Flexible Mesh. Dit is gelijk aan de aanpak zoals deze ook in WAQUA werd toegepast.

De ruwheid wordt hierin opgesplitst tussen twee bestanden:

- .arl-bestand; Hierin staat voor iedere celwand aangegeven wat voor ruwheidscategorieën (r-codes) hierin gebruikt worden en met welk aandeel. Dit bestand wordt aangemaakt met Baseline.
- .ttd-bestand; Hierin staat voor iedere ruwheidscategorie aangegeven welke ruwheidsformulering (Manning, Chézy, etc.) hiervoor gebruik dient te worden en met welke coëfficiënten. Ook staat hierin afvoerafhankelijkheid gedefinieerd.

Passage uit .arl-bestand. De kolommen zijn x,y,(z),r_code,aandeel.

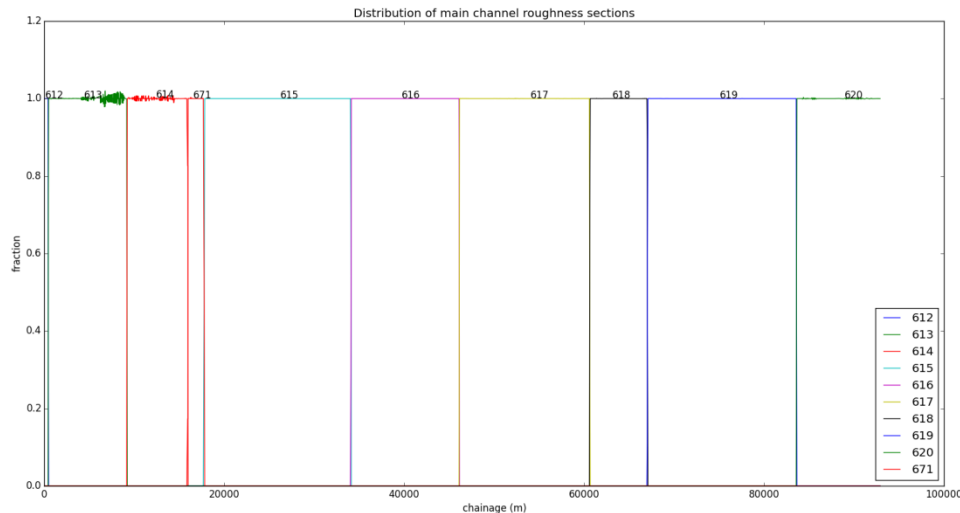
121234.794751	425436.562351	0	106	0.6975
121234.794751	425436.562351	0	1202	0.2985
121242.82668	425460.693181	0	106	0.9999
121285.818737	425424.016008	0	106	1.0
121311.925458	425416.53352	0	106	0.8064
121311.925458	425416.53352	0	1202	0.1936

Passage uit .ttd-bestand. De kolommen zijn r_code, [afvoer], formule, coëfficiënten

101 51 0.20	# default waarde
102 51 0.15	# diepe bedding
611 DISCHARGE Q-LobithPannkop	# emmerich - lobith
611 2700 101 0.0229 2.5	
611 4450 101 0.0262 2.5	
611 11800 101 0.0786 2.5	

Het zomerbed is opgedeeld in diverse secties met verschillende r_code's door Baseline (zie onderstaande figuur). Om een transitie in de diverse r_code's mogelijk te maken is een script geschreven in Python dat alle cellen met een code tussen 613 en 620 overschrijft met nieuwe r_codes.

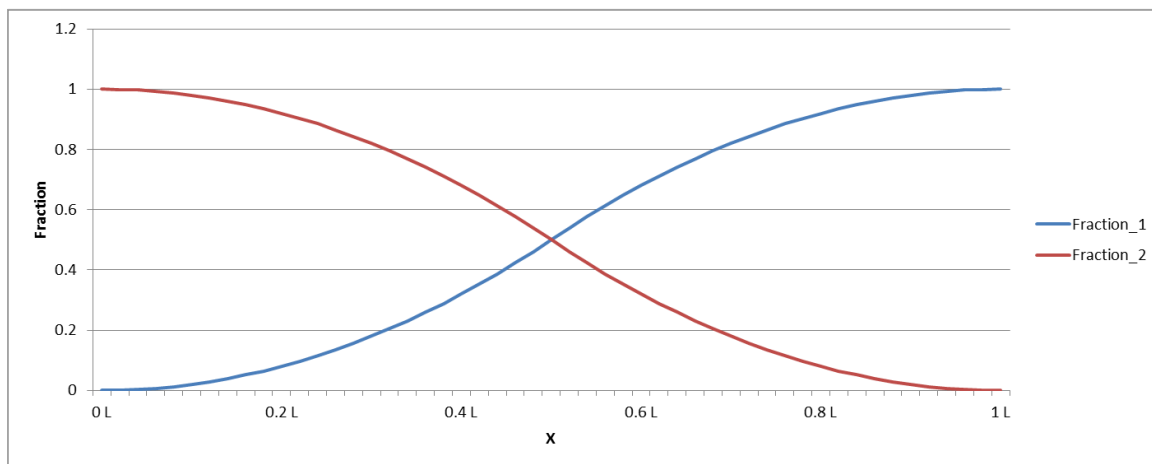
Hierbij zijn secties met eenzelfde coefficient samengevoegd, waardoor de Waal nu bestaat uit vijf ruwheidssecties en de vaste laag bij Nijmegen.



De functie voor de overgang bij een tweede orde wordt voor een gegeven transitielengte (L) beschreven als:

$$\begin{aligned} fraction_1 &= X^2 * \left(\frac{2}{L^2}\right) && \text{Voor } 0 < X < L/2 \\ fraction_2 &= 1 - fraction_1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} fraction_1 &= 1 - (L - X)^2 * \left(\frac{2}{L^2}\right) && \text{Voor } L/2 < X < L \\ fraction_2 &= 1 - fraction_1 \end{aligned}$$



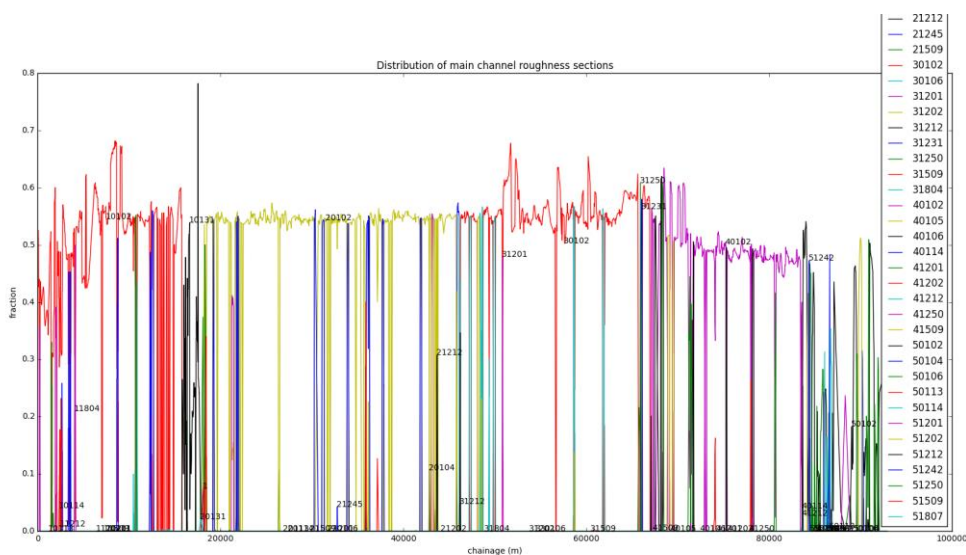
E.1.2 Kalibratie op winterbed

Om de verschillende trajecten op het winterbed te kunnen kalibreren dient er onderscheidt gemaakt te worden in de r_codes die binnen ieder traject gebruikt worden. Hiervoor is een script geschreven in Python waarin in ieder van de vijf trajecten respectievelijk 10000, 20000, 30000, 40000 of 50000 wordt opgeteld bij de normale r_code. Hierbij wordt het zomerbed niet meegenomen.

Vervolgens zijn het .ttd-bestand voor ieder van deze ruwheidscodes, nieuwe regels gemaakt. Voor de meeste regels gaat het hierbij om een kopie met enkel een aanpassing van de r_code. R_codes met ruwheidsformule '2' zijn een combinatie van andere r_codes en dienen ook hun verwijzing naar de andere r_codes gecorrigeerd te hebben.

Er is gekozen om r_codes met formule 51 (White-Colebrook), 53 (Manning) en 152 (Barneveld 2) te kalibreren. Formule 2 wordt hierbij automatisch ook meegenomen. Omdat OpenDA uit gaat van eenzelfde relatieve correctie op alle ingegeven coëfficiënten, kan Chézy niet meegenomen worden omdat hier een hogere waarde een lagere ruwheid geeft.

Als ruwheidswaarde voor het zomerbed wordt gebruik gemaakt van de waarden van afvoerniveau Midden. De ruwheid in het zomerbed heeft constante overgangen.

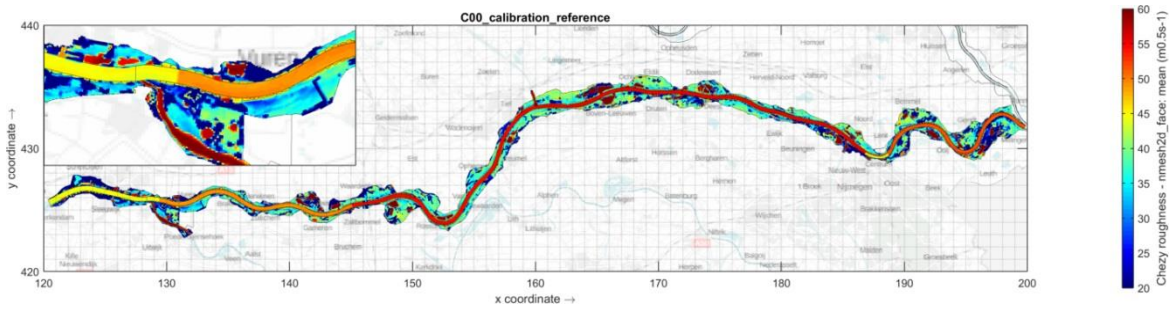
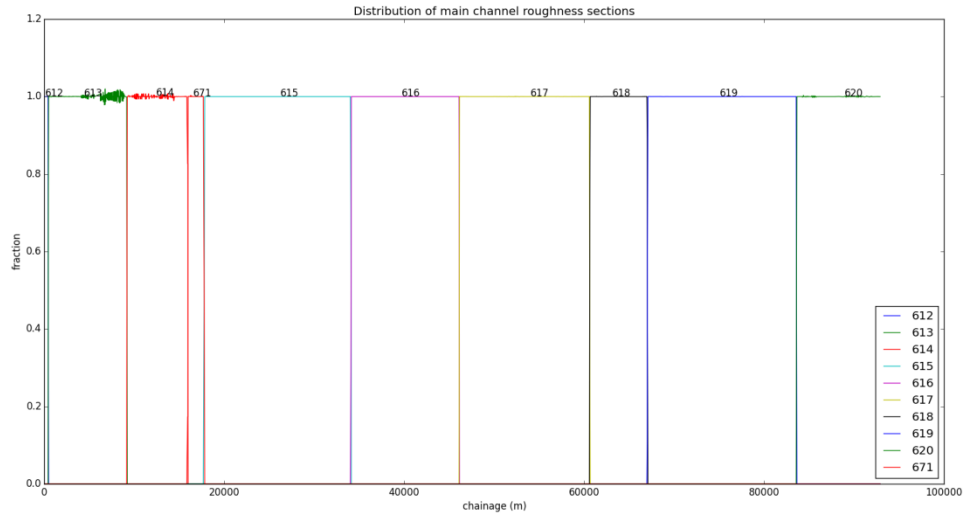


E.2 Resultaten zomerbedkalibratie

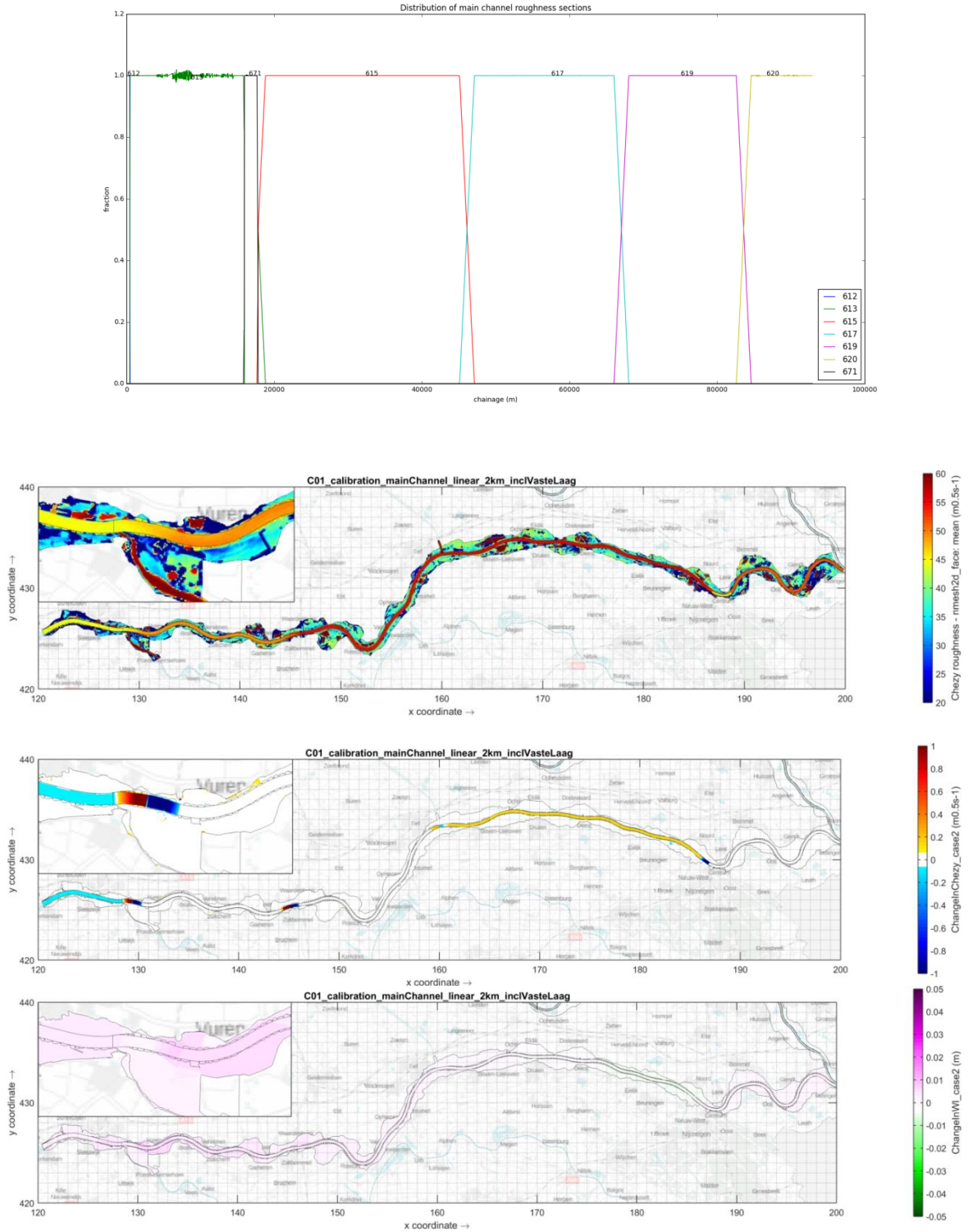
Per simulatie zijn de volgende figuren weergegeven van de toestand op 1 februari 1995 voor de gehele Waal en met een inleg bij de transitie Vuren:

- De verdeling van r-codes als langsdorsnede
- Chézy-waarde
- Verschil in Chézy-waarde met de referentie
- Verschil in waterstand met de referentie

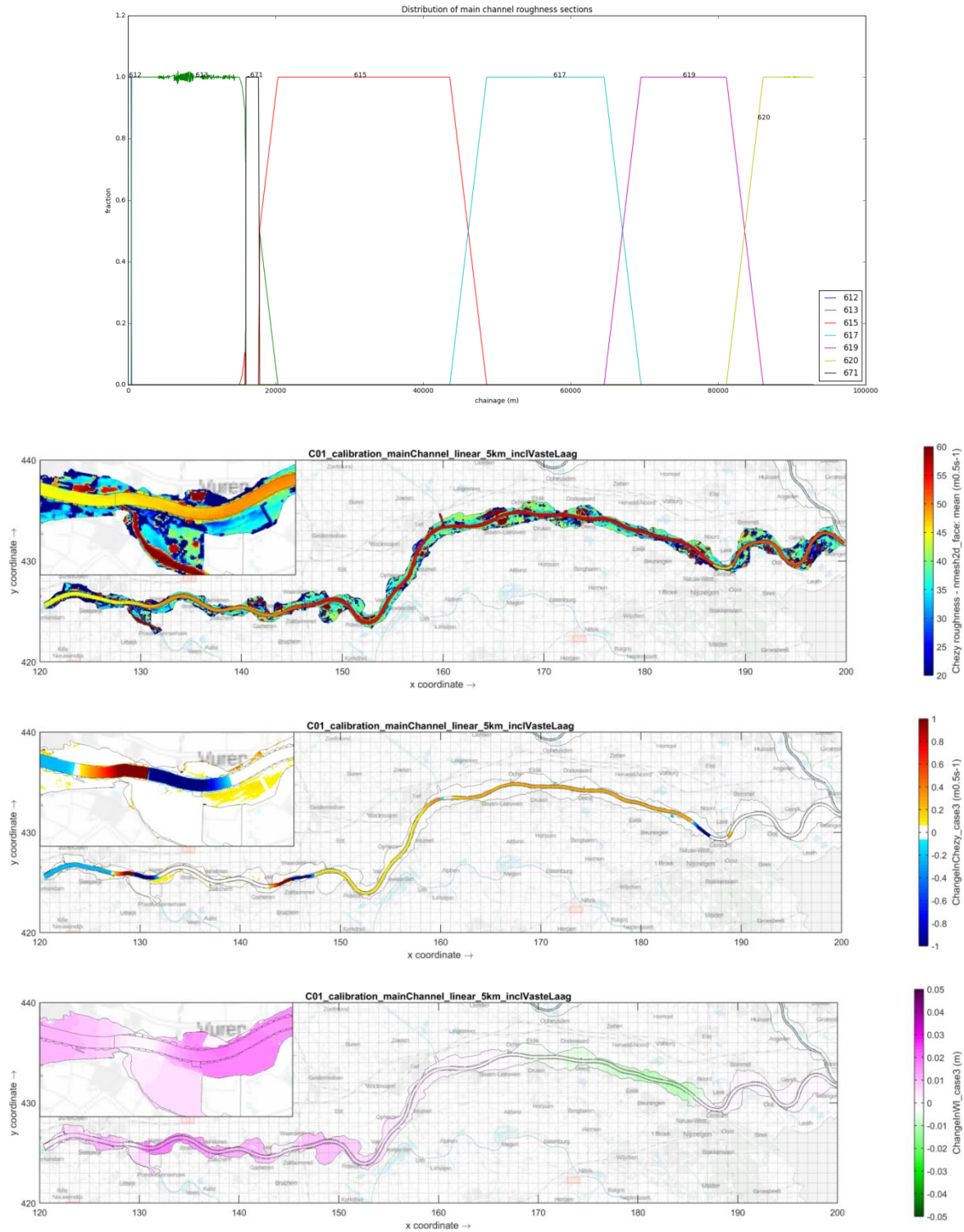
E.2.1 Referentie



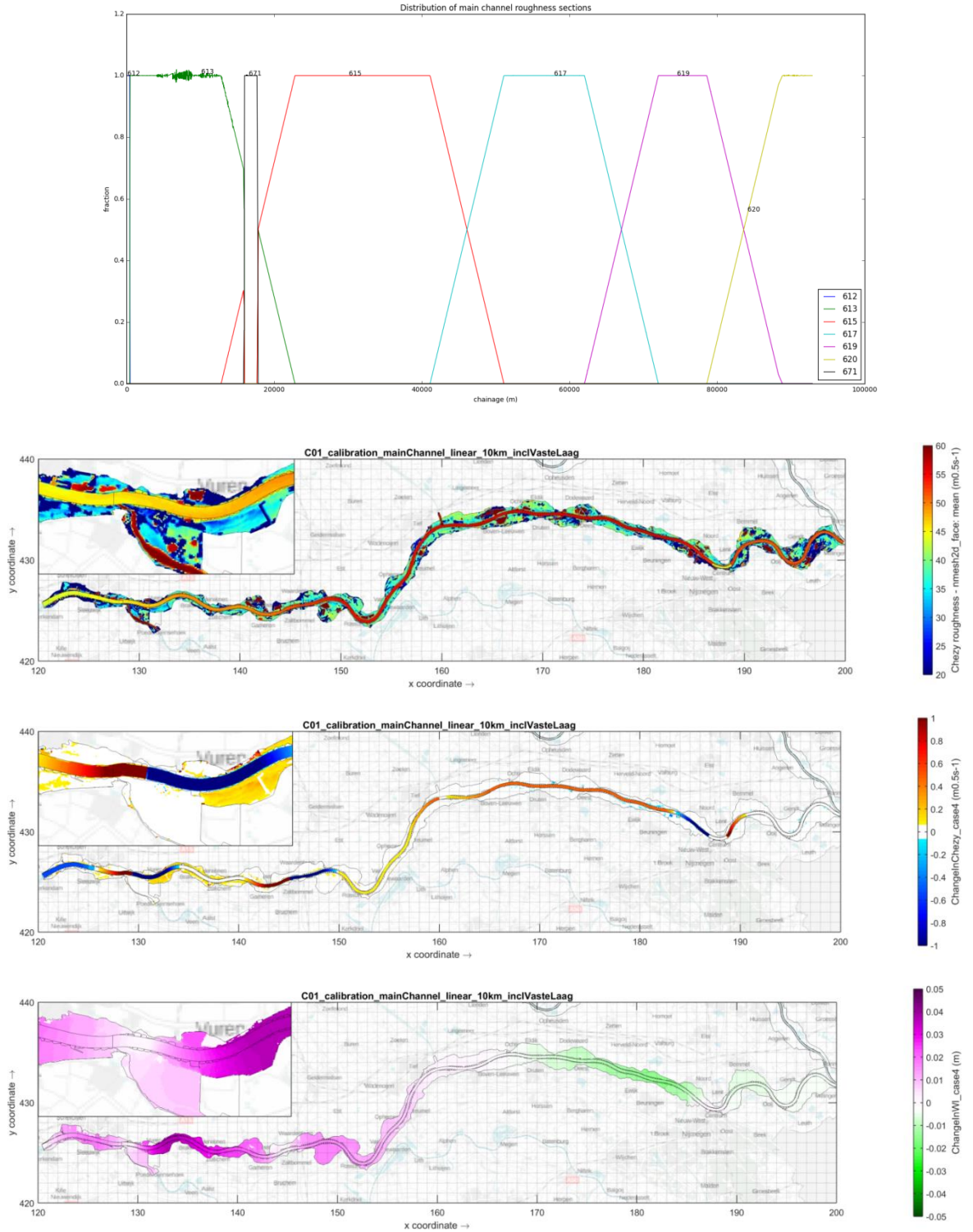
E.2.2 Linear 2 km



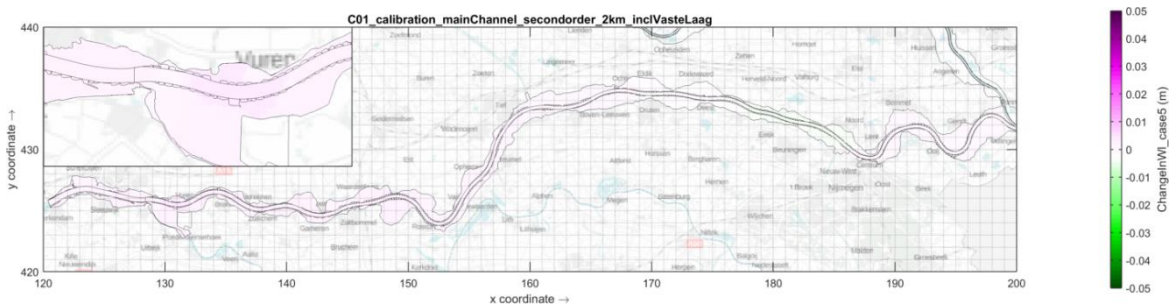
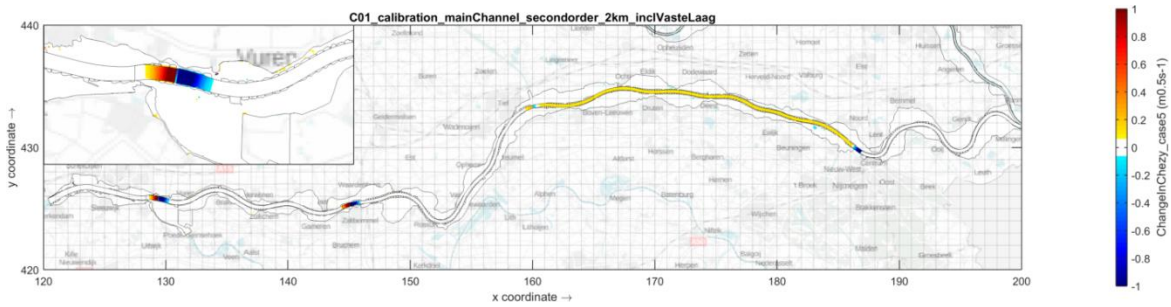
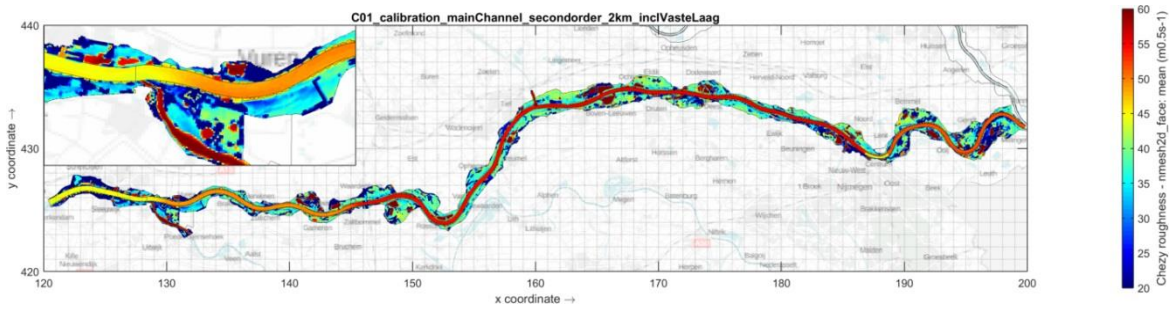
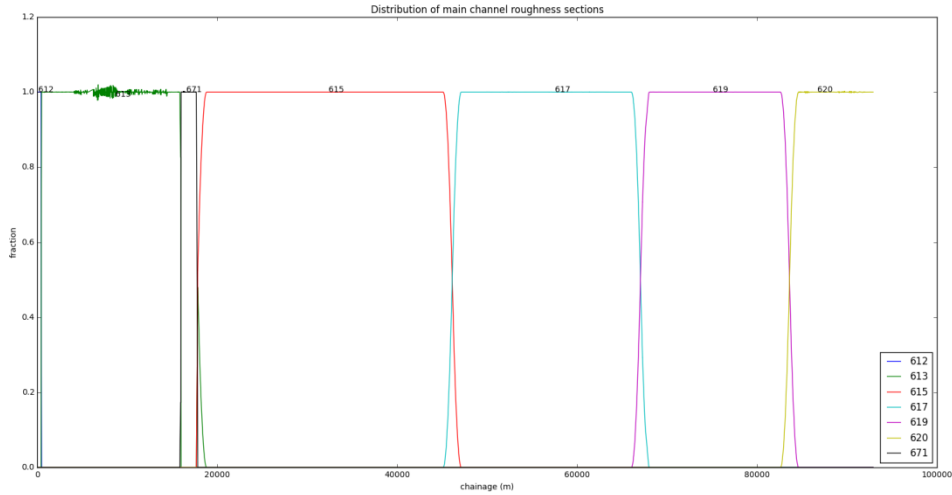
E.2.3 Lineair 5 km



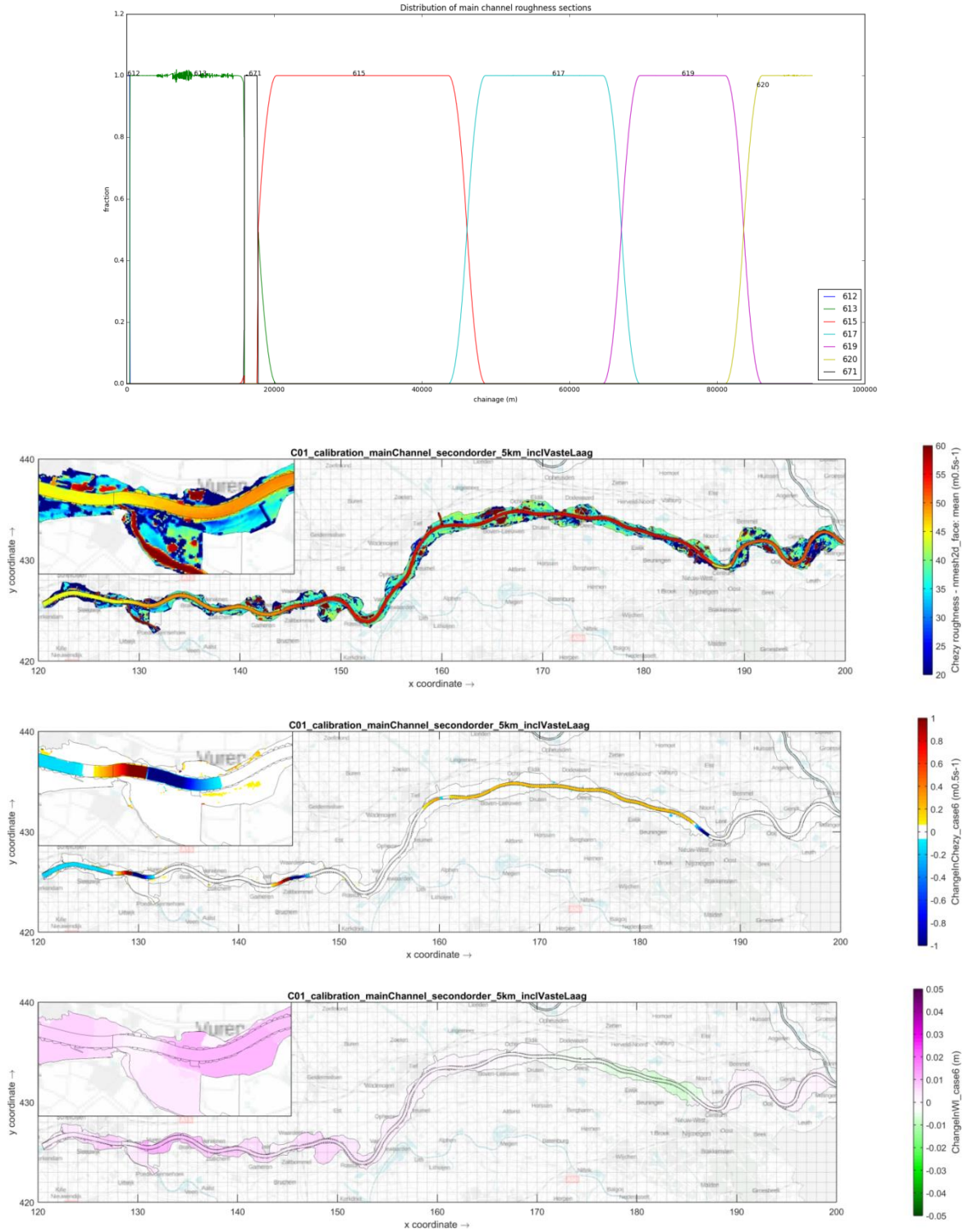
E.2.4 Linear 10 km



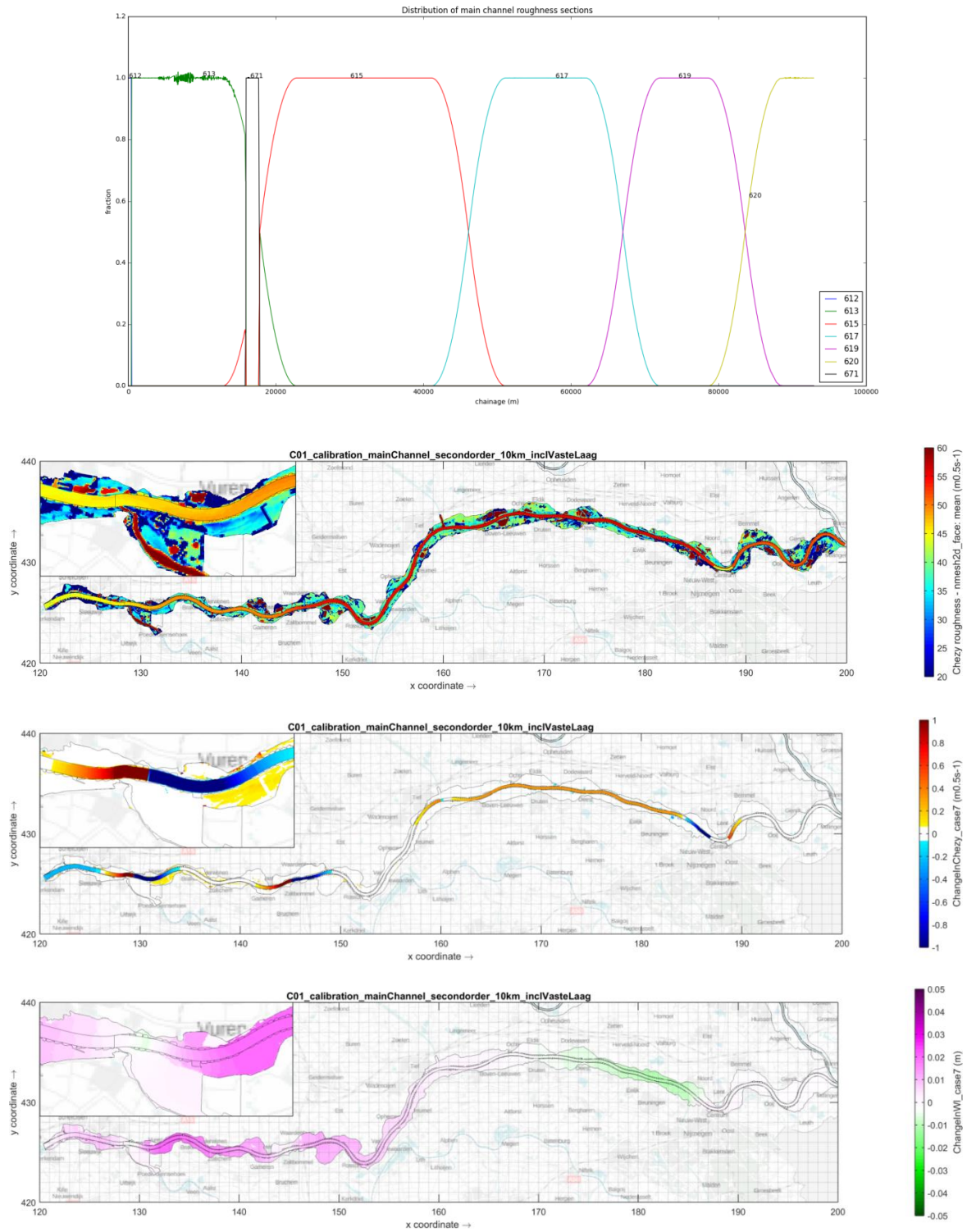
E.2.5 Tweede orde 2 km



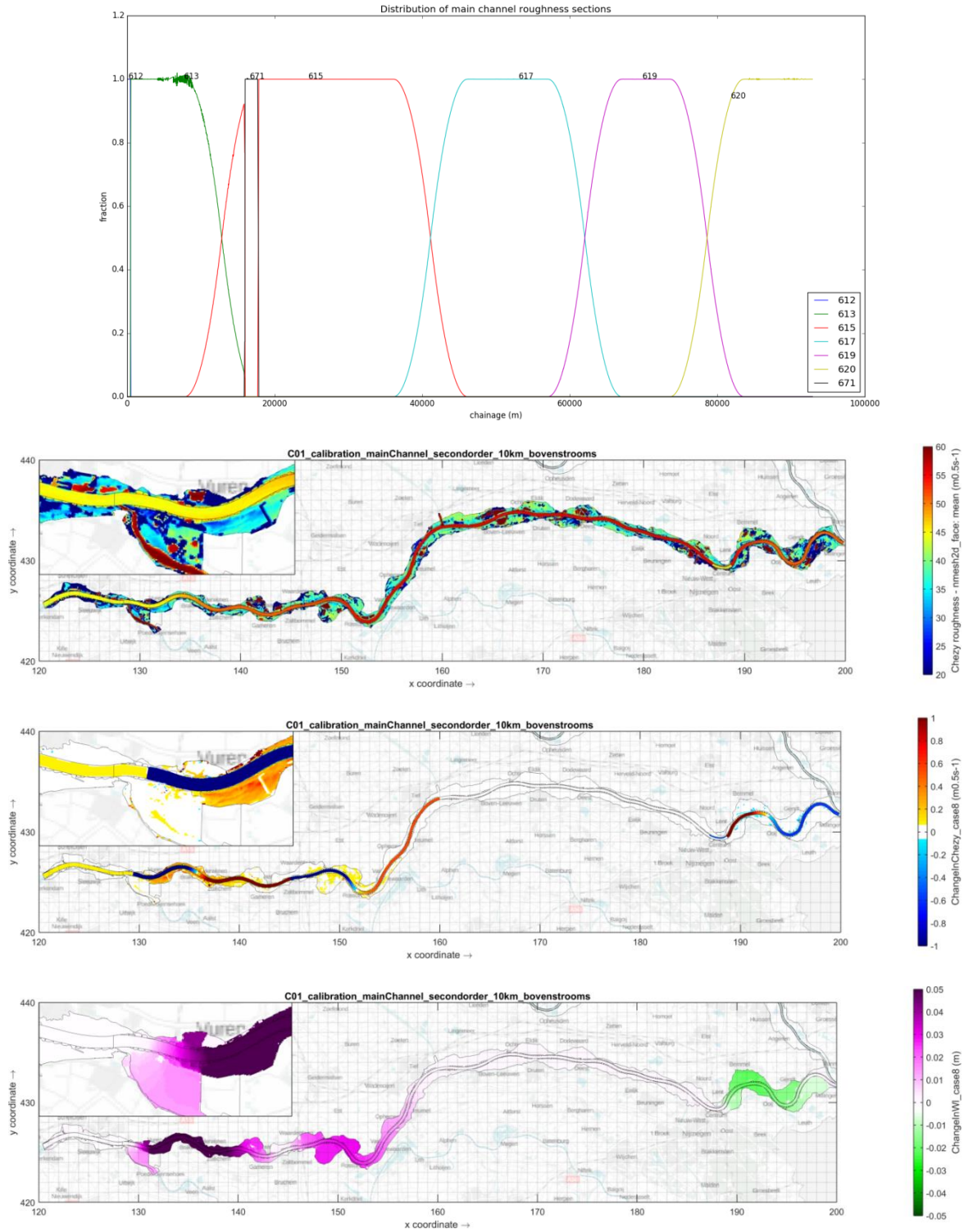
E.2.6 Tweede orde 5 km



E.2.7 Tweede orde 10 km



E.2.8 Tweede orde 10 km, transitie bovenstrooms

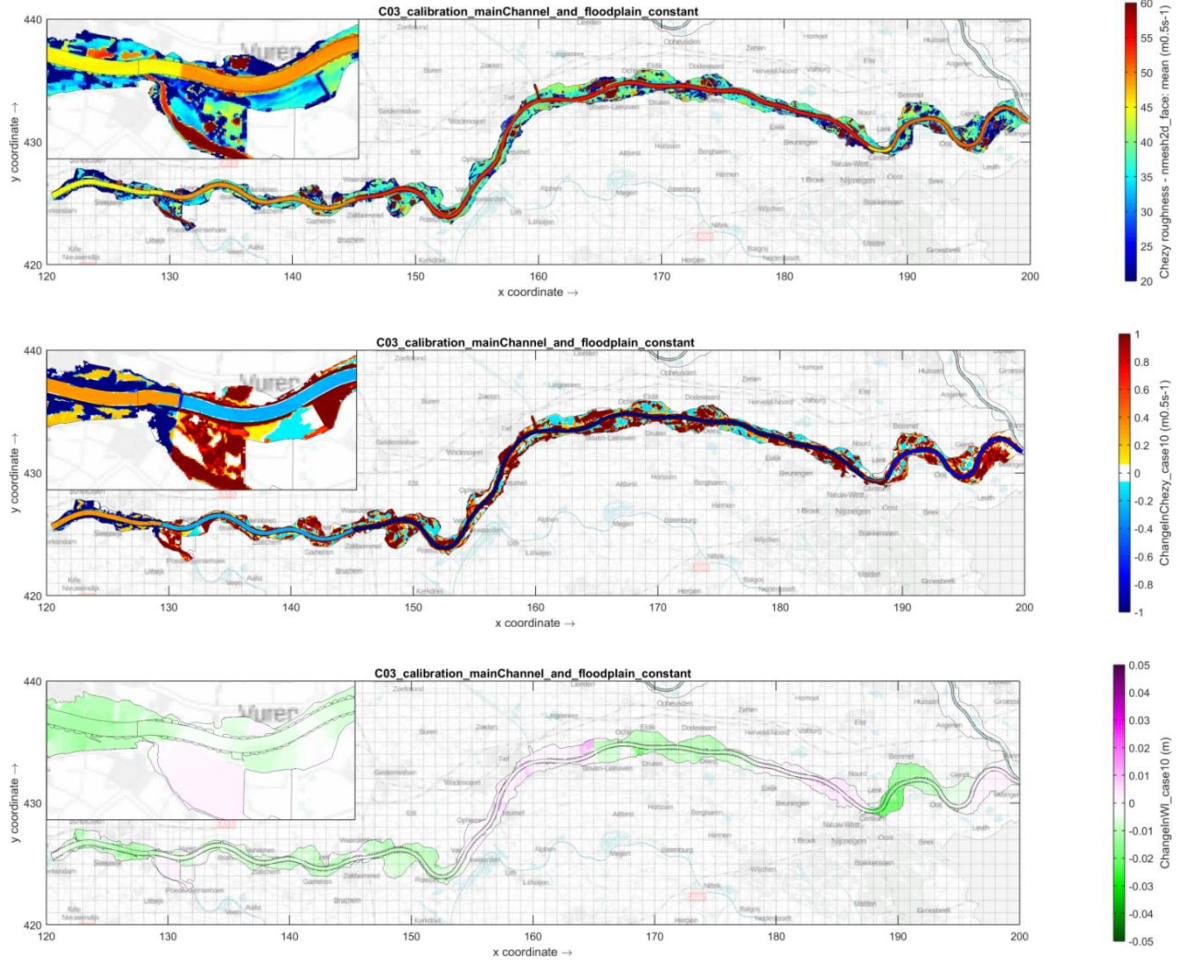


E.3 Resultaten winterbedkalibratie

Voor beide simulaties zijn de volgende figuren gegeven van het model op 1 februari 1995:

- Chézy-waarde ($\text{m}^{0.5}/\text{s}$)
- Verschil in Chézy-waarde met de referentie ($\text{m}^{0.5}/\text{s}$)
- Verschil in waterstand met de referentie (m)

E.3.1 Zomerbed + Winterbed



E.3.2 Winterbed

