

## Memo

**Aan**

de heer M. Scholten

**Datum**

23 augustus 2021

**Ons kenmerk**

11206813-002-ZWS-0013

**Aantal pagina's**

1 van 38

**Contactpersoon**

Koen Berends

**Doorkiesnummer**

+31(0)88 335 8385

**E-mail**

Koen.Berends@deltares.nl

**Onderwerp**

Maas S3 - FM2PROF Pilot 2021

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
1.0	Koen Berends Boyan Domhof	Jurjen de Jong	Johan Boon	

## 1 Inleiding

### 1.1 Aanleiding

In 2020 is een pilotproject uitgevoerd om een nieuwe werkwijze te testen voor het afleiden van 1D modellen van een 2D model. Hiervoor werd het Maasmodel gebruikt. In deze pilotstudie werden drie innovaties getest:

- Een nieuwe, versimpelde takkenstructuur voor de Maas
- Een nieuwe methode om profielen en ruwheden af te leiden o.b.v. FM2PROF
- Een nieuwe wijze van kalibratie op 2D modelresultaten.

Deze innovaties beogen het proces van het maken van 1D modellen transparanter, robuuster en minder tijdsintensief te maken. Uit deze pilot werden belangrijke inzichten opgedaan betreft alle innovaties (Berends et al., 2020), maar werd ook duidelijk dat de voorspelnaauwkeurigheid nog niet van voldoende niveau is voor operationeel gebruik. Er werden verschillende aanbevelingen gedaan voor nader onderzoek.

In het werkplan voor 2021 (Berends, 2021) werden deze aanbevelingen nader uitgewerkt tot concrete acties. De acties met de hoogste kans op succes zijn geselecteerd voor uitvoering. In dit memo worden deze werkzaamheden beschreven.

### 1.2 Overzicht modellen

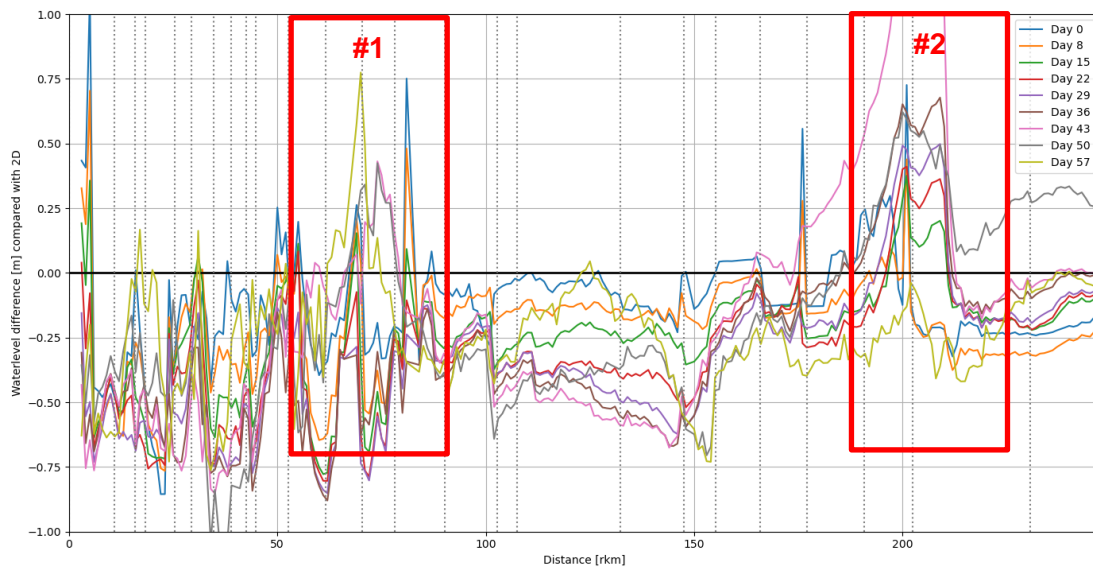
In dit memo wordt naar het pilotmodel waarvan de resultaten beschreven staan in Berends et al. (2020) verwezen als 'sobek-maas-j11\_6-w1'. Het model waarin de aanpassingen zijn overgenomen van dit model heet 'sobek-maas-j11\_6-w3'. De versienummers zijn werkversies binnen dit project, en hebben verder geen betekenis buiten de context van dit project.

Het 2D referentiemodel is dflow2d-maas-j10\_6-w8. Dit is hetzelfde referentiemodel die gebruikt is in Berends et al. (2020).

## 1.3 Beschrijving van de problemen

### 1.3.1 Problemen met het ongekalibreerde model

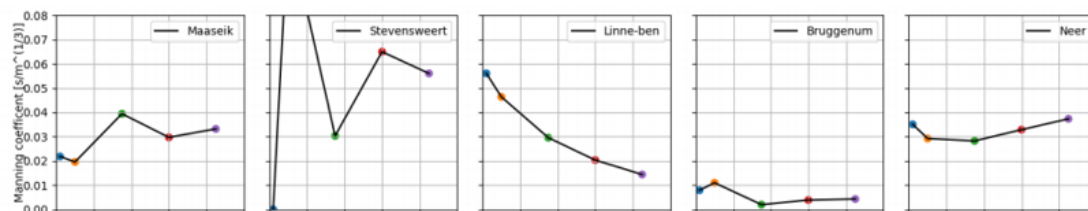
In de studie van 2020 zijn drie gebieden waar de resultaten in het ongekalibreerde model sterker afwijken: #1 Schematisatie retentiegebieden, #2 Opstuwung bij rivierkilometer 211. Met name probleemgebied 2 duidt mogelijk op een onderliggend probleem, omdat in dit gedeelte van de Maas een dergelijke plotseling afwijking niet verwacht wordt. Probleemgebied #1 ligt in een gedeelte van de Maas waar grote afwijkingen tussen model en meting ook in 2D niet ongewoon zijn. De volledige figuur en heatmap is opgenomen in bijlage A.1.



Figuur 1-1 De verschillen tussen het ongekalibreerde 1D model en het 2D model. De probleemgebieden zijn rood omkaderd: #1 Schematisatie retentiegebieden, #2 Opstuwung bij rivierkilometer 211.

### 1.3.2 Gekalibreerde ruwheden

Tijdens kalibratie wordt de ruwheid van het zomerbed aangepast om de fout tussen het 1D en het 2D model te minimaliseren. Deze ruwheden vallen bij voorkeur in een plausibel bereik (voor riviermodellen waarden tussen  $0.01 \text{ sm}^{-1/3}$  -  $0.06 \text{ sm}^{-1/3}$ ) en zijn redelijk constant – geen plotselinge toename of afname bij andere afvoeren. Afwijkingen hiervan kunnen duiden op problemen, en dergelijke afwijkingen waren vorig jaar bij verschillende stations te zien (Figuur 1-2). De volledige figuur en heatmap is opgenomen in bijlage A.1.



Figuur 1-2 De gekalibreerde ruwheden vertonen plotselinge sprongen (Maaseik, Stevensweert), lage waarden (Bruggenum) en sterke daling (Linne), wat kan duiden op problemen.

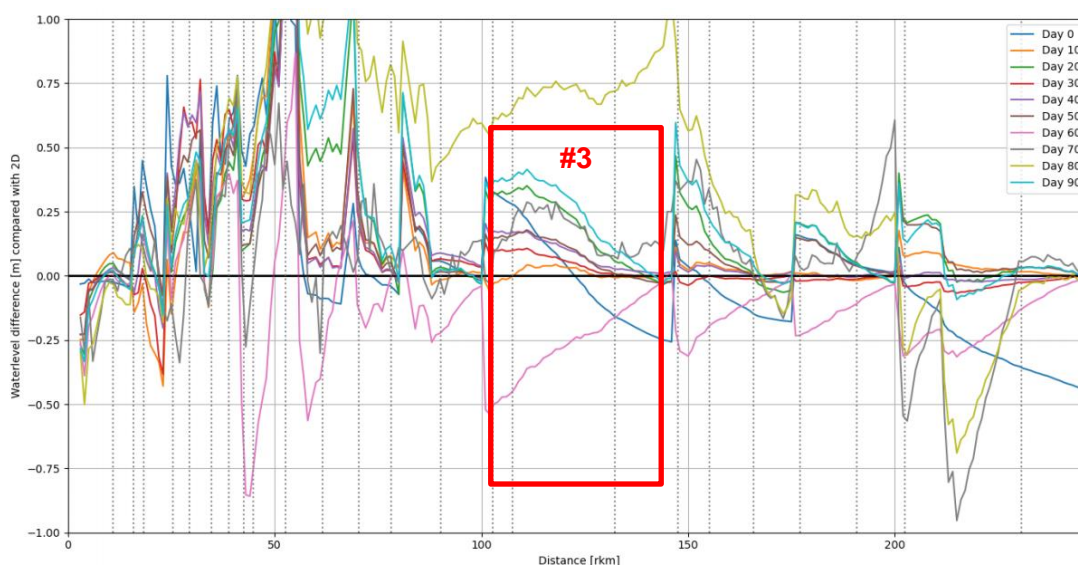
### 1.3.3 Verschillen tussen kalibratie en validatie

Een belangrijke kwaliteitsmaat voor het afgeleide 1D model is, om te testen of de fout die is geminimaliseerd tijdens kalibratie (met langzaam oplopende afvoer) gelijk blijft wanneer het model op een andere manier wordt aangestuurd. Deze test wordt ook wel validatie genoemd.

Vorig jaar zijn twee validatietesten uitgevoerd:

1. Beide modellen geforceerd door twee synthetische (WBI) golven. De stuwen zijn niet operationeel (staan open gedurende de hele golf). Hieruit bleek de fout in validatie vergelijkbaar met kalibratie.
2. Beide modellen geforceerd door een historische afvoergolf – het hoogwater van 2011. Hieruit bleken grote verschillen tussen kalibratie en validatie.

De verschillen in de tweede validatie casus bleken de verschillen tussen de stations op te lopen. Dit is te zien in Figuur 1-3, met in rood kader #3 het traject tussen de stuwen Belfeld en Sambeek). Dit kan veroorzaakt worden door een te hoge ruwheid. Omdat de validatietesten bij ongestuwde golven wél goede resultaten gaven, werd als mogelijk probleem aangedragen dat kalibratie *met* stuwsturing beter ruwheden zou opleveren. De volledige figuur en heatmap is opgenomen in bijlage A.1.



Figuur 1-3 De verschillen tussen het gekalibreerde 1D model, metingen en het 2D model, voor de simulatie van de afvoergolf van 2111.

## 1.4 Overzicht werkzaamheden

In dit memo worden de volgende zaken opgepakt. De werkzaamheden worden uitgevoerd door dr. ir. Koen Berends (FM2PROF), ir. Boyan Domhof (kalibratie) en ir. Jurjen de Jong (review).

Aanbeveling (beknopt)	Paragraaf	Toelichting
Verbeteren schematisatie retenties	2.1	In het w1 model werden retenties gemodelleerd als korte (100m) takjes met hele brede dwarsprofielen. De retenties worden verlengt en versmald.
Verschillen rkm 211 onderzoeken	2.2	In het w1 model was bij rkm 211 een onverklaard verschil aanwezig, dat kan duiden op een onderliggend probleem.
Kalibreren incl. stuwsturing en realistische QH bij Keizersveer	2.3	De grote verschillen tussen kalibratie en validatieresultaten vorig jaar, werd onder meer toegeschreven aan de kalibratie zonder stuwsturing. Nu wordt gekalibreerd met stuwsturing.

## 2 Werkzaamheden

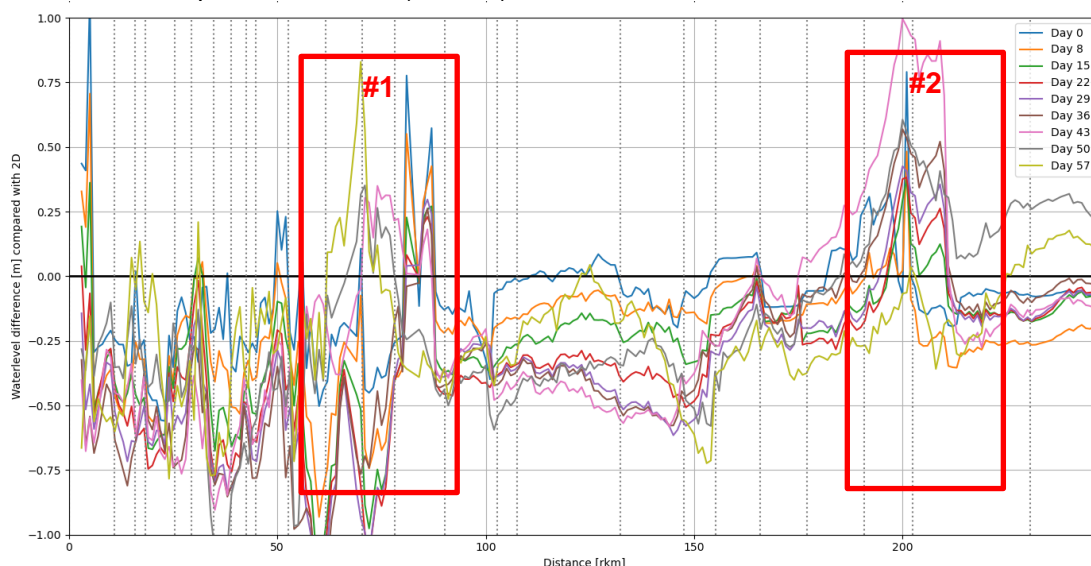
### 2.1 Verbeteren schematisatie retentiegebieden

Een retentiegebied wordt gemodelleerd als een zijtak, die van de hoofdtak is afgesloten door een stuw. De stuw is een weergave van de dijk of het kunstwerk dat het moment van instromen van retentiegebied bepaald. In de vorige schematisatie (w1) waren de retentiegebieden geschematiseerd als relatief kleine takjes van 100 m lang. Door de inlaatstuw op 10 m van de hoofdtak ligt, was hierdoor 10% van het oppervlakte van het retentiegebied altijd blootgesteld aan de hoofdtak. Gegeven het aanzienlijke oppervlakte van retentiegebieden, is dit niet acceptabel. In de vijfde generatie, waar met speciale retentieknoepen op het einde van de aftakking werd gewerkt, was dit geen probleem.

In de nieuwe prototype versie ("w3") zijn de volgende aanpassingen gedaan om de schematisatie van zijtakken te verbeteren en beter in lijn de brengen met het 2D model. Het uitgangspunt blijft, dat het 1D model een afleiding is van het 2D model, en daarom haar grenzen op dezelfde plek heeft als het 2D model.

- Alle zijtakken hebben nu een lengte die overeenkomst met de geometrische taklengte.
- Er wordt nog maar één profiel aangemaakt per retentiegebied
- De stuw ligt op 10 m van de hoofdtak
- De zijtak 'Maas-Waalkanaal' is ingekort, zodat de rand ligt bij Sluis Heumen. Het kunstwerk Sluis Heumen is verwijderd. Hierdoor ligt de rand op dezelfde plek als in het 2D model<sup>1</sup>.
- De modelranden bij de Afgedamde Maas (gesloten rand) en BovenEijsden (open rand) zijn iets verschoven zodat ze binnen de grenzen van het 2D model liggen.

De resultaten na deze aanpassing is weergegeven in Figuur 2-1. Deze aanpassingen hebben het probleem niet opgelost, maar geleid tot een lokaal grotere initiële afwijking van het 2D modelresultaat op de Grensmaas (kader 3).



Figuur 2-1 De ongekalibreerde resultaten na aanpassing van de schematisatie van zijtakken

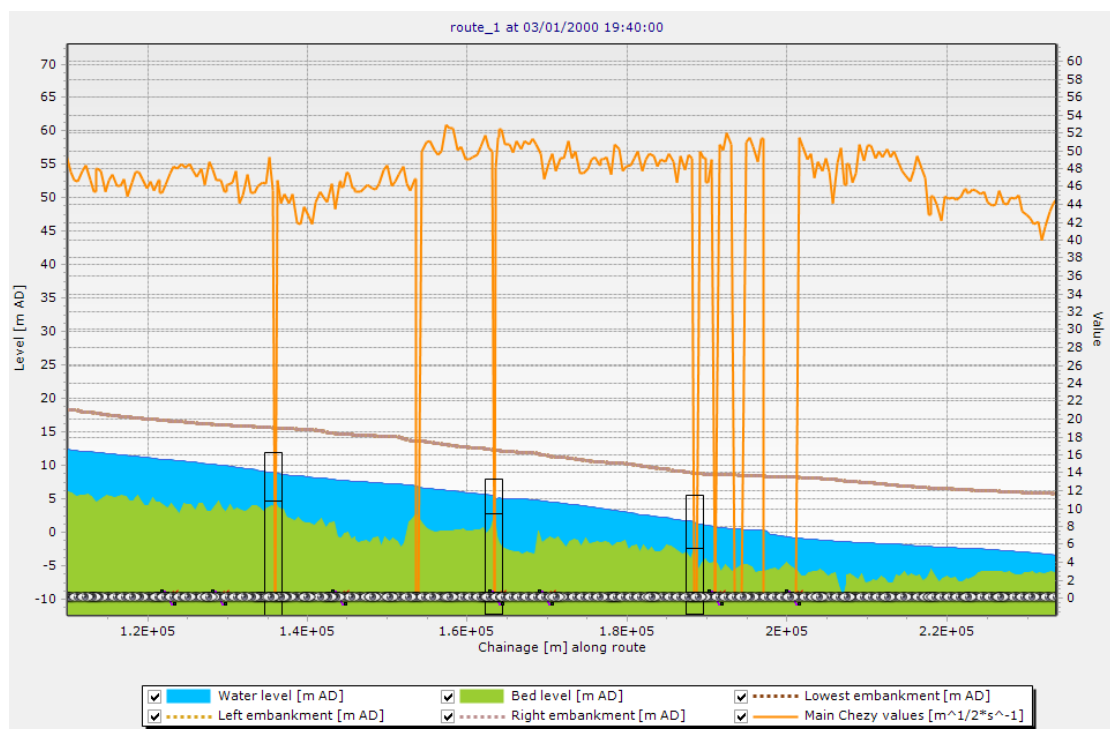
<sup>1</sup> Hoewel in het gebruikte 2D model (dflow2d-maas-j10\_6-w8) het Maas-Waalkanaal niet aanwezig is, is het kanaal wel onderdeel van dflow2d-maas-j19\_6. 1D modellen die worden afgeleid van dat model, zullen dus het kanaal wel moeten opnemen.

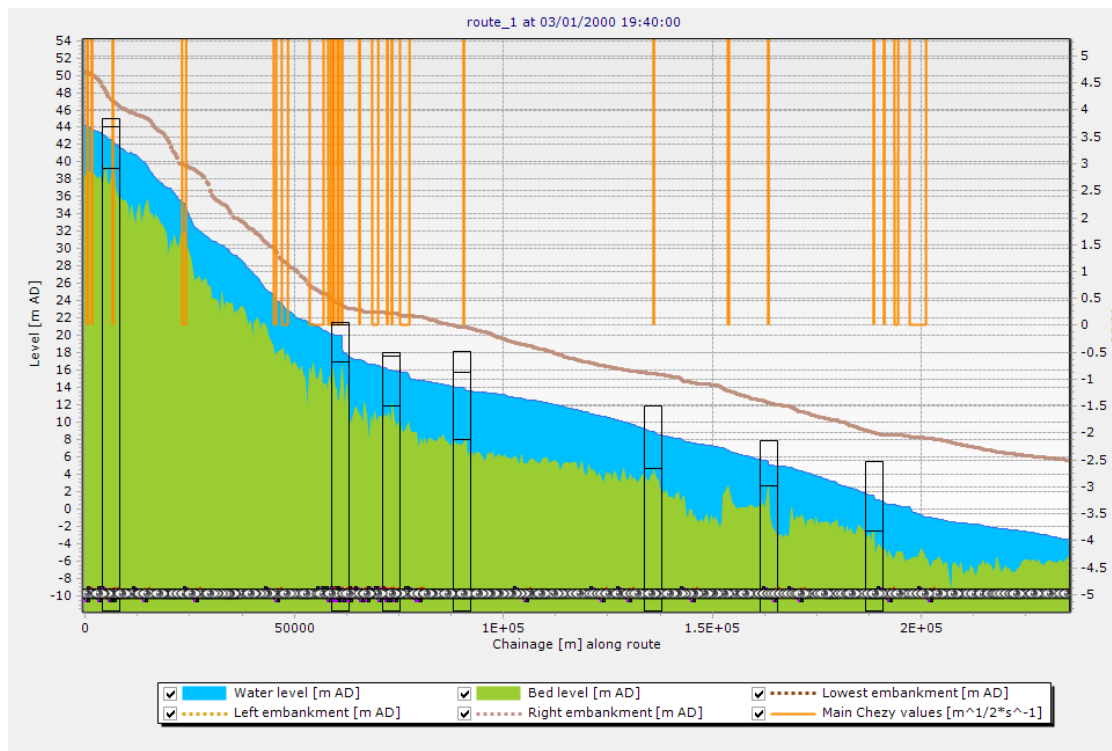


## 2.2 Analyseren opstuwing bij rivierkilometer 211

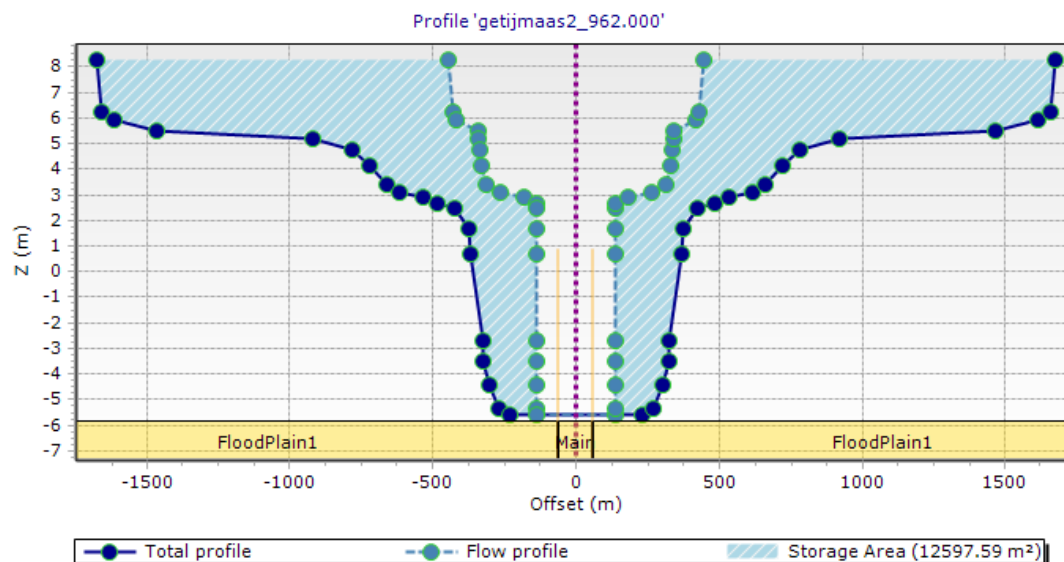
Bij rivierkilometer 211 is een zichtbare opstuwing bij lage en gemiddelde afvoeren te zien (zie Figuur 1-1). Bij hoge afvoeren is het probleem minder groot. Analyse van FM2PROF resultaten in 2020 lieten geen vreemde vernauwingen, ruwheden of bodemhoogtes zien ter plaatse van deze opstuwing die dit zou kunnen verklaren.

De berekening is daarom in deze memo in detail bekeken. Uit bestudering van de *subsection parameters* viel op dat de uitvoer 'Main Chézy' (dit is de berekende ruwheid in het zomerbed) ter hoogte van rivierkilometer 211 nul was. Dit probleem bleek niet enkel een rol te spelen hier, maar ook op vele andere locaties langs de Maas (Figuur 2-2). Ook bij de Plassenmaas (rond rivierkilometer 70) treedt dit probleem op waardoor dit ook de oorzaak kan zijn van het probleem dat behandeld is in sectie 2.1. Omdat het rond rivierkilometer 211 over meerdere profielen plaatsvond, was het effect zo groot.





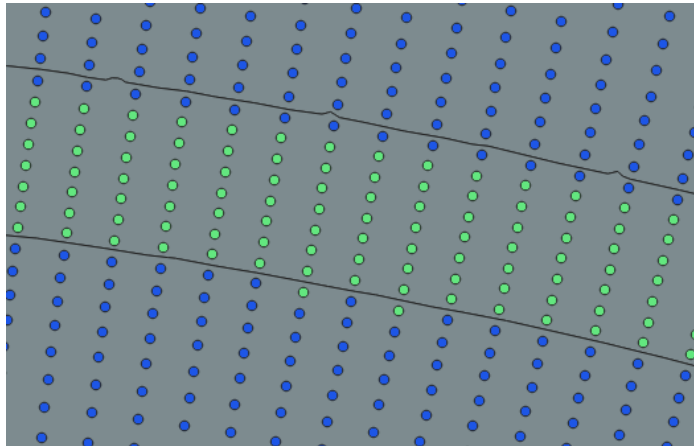
Figuur 2-2 Boven: ingezoomde waterstandsprofiel rondom rivierkilometer 211. De oranje lijnen worden afgelezen op de rechter verticale as. Te zien is dat de ruwheid op verschillende locatie plotseling naar nul springt, en dat dit bij rivierkilometer 211 (rondom chainage 2E+05) over een langer traject gebeurt. Beneden: uitgezoomd voor het hele model. Te zien is dat in beide probleemgebieden deze ruwheidsproblemen optreden.



Figuur 2-3 Dwarsprofiel ter hoogte van rivierkilometer 211, met een relatief smal zomerbedprofiel.

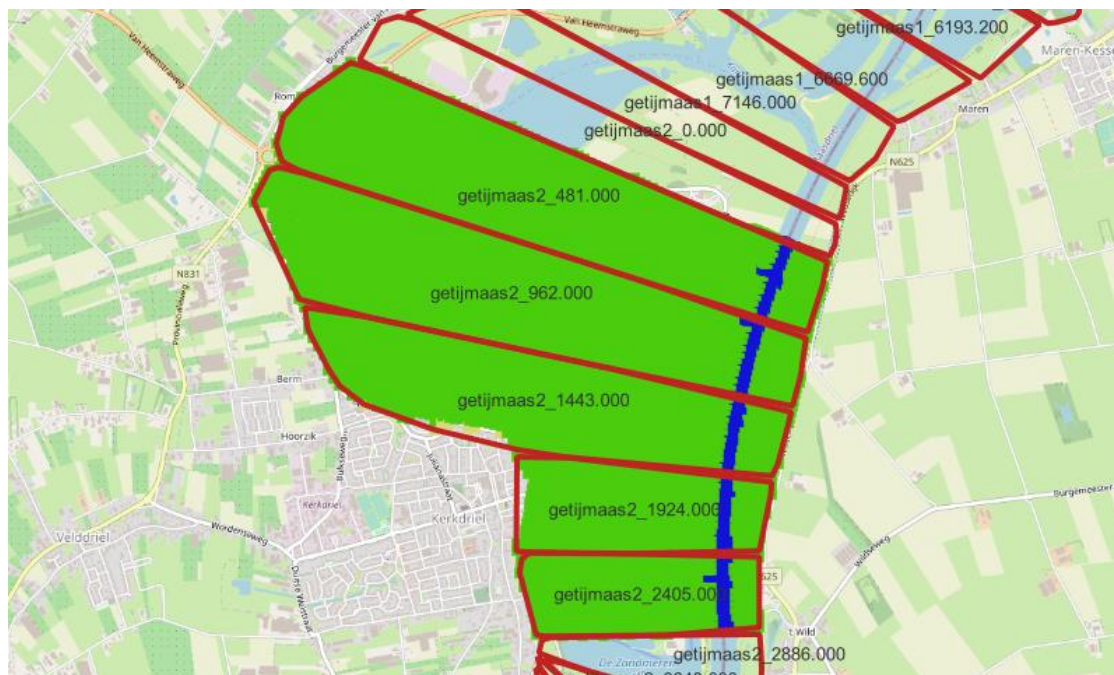
De dwarsprofielen en ruwheden ter plaatse zijn vervolgens onderzocht en vergeleken met profielen waar dit probleem niet optreedt. Hieruit bleek een verschil in de breedte van het zomerbed. Profielen ter hoogte van een berekende ruwheid van nul, hadden een relatief smalle zomerbedsectie, waardoor de winterbedruwheid reeds bij de allerlaagste afvoeren een bijdrage levert aan de totale ruwheid (Figuur 2-3). Het handmatig vergroten van het zomerbedbreedte bij de geaffecteerde profielen loste het probleem van zowel de 'nulwaarde', als de opstuwung op.

Vervolgens is met de analyse-tools van FM2PROF onderzocht waarom het zomerbedprofiel zo smal is. De breedtes van de ruwheidsprofielen worden gebaseerd op het 'sectiepolygon' uit Baseline. De analyse uitvoer van FM2PROF laat zien dat deze secties correct zijn overgenomen, hoewel ter plaatse van het probleem (Figuur 2-4) er mogelijk sprake is van een iets te smalle sectie door de methode van toewijzing van cellen die deels in beide polygonen liggen.



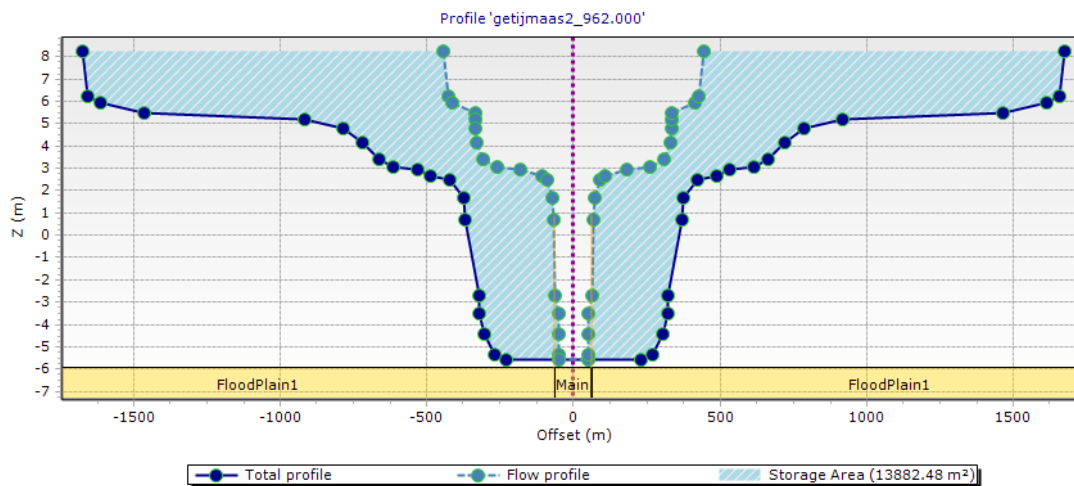
Figuur 2-4 Celtoewijzing ter hoogte van rivierkilometer 211, met in groen sectie 1 (zomerbed) en in blauw sectie 3 (uiterwaard). De figuur is een kwartslag gedraaid. De zwarte lijnen geven de Baseline sectiepolygoon aan.

Hoewel het zomerbed ter plekke vrij smal is (130 meter), is de stroomvoerende breedte veel groter (278 m). Dit kan niet verklaard worden uit een verkeerde toewijzing van secties.



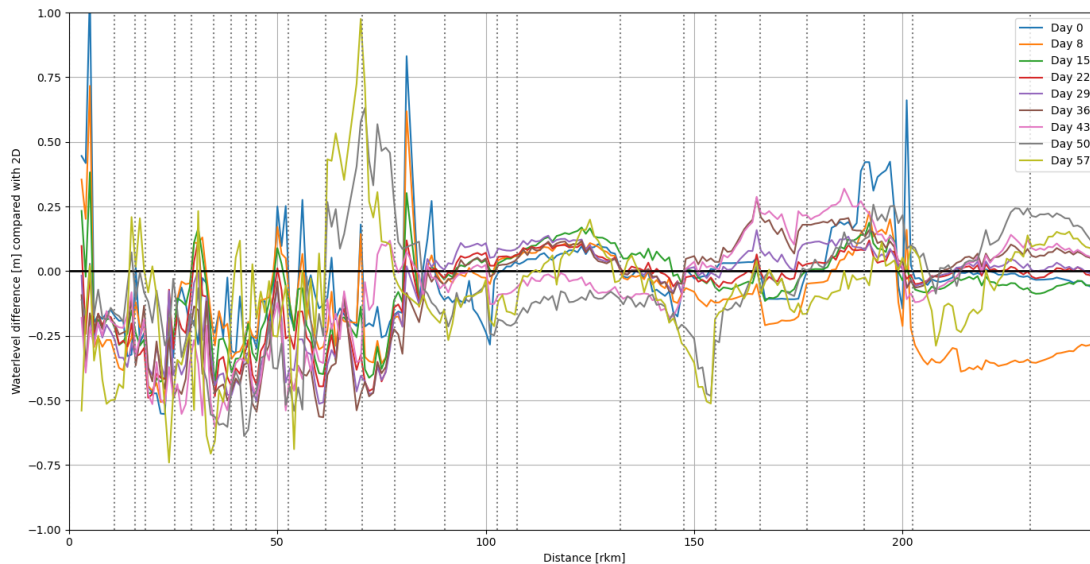
Figuur 2-5 De ruwheidssecties in FM2PROF uitvoer. Blauw zijn de gridcellen die zijn toegedeeld aan het zomerbed(breedte).

Op basis van deze vaststelling is een debug-analyse uitgevoerd op de code. Hieruit bleek dat er meer cellen werden aangemerkt als stroomvoerend dan volgens de criteria zou moeten. De oorzaak hiervoor bleek te zitten in de routine waardoor cellen bij hele kleine waterdiepte ten onrechte aan werden gewezen als stroomvoerend. Na herziening van de code is deze routine verwijderd en zijn alle profielen opnieuw aangemaakt. Het netto resultaat van deze aanpassing is dat er minder stroomvoerend en meer berging in de profielen is (Figuur 2-6), voornamelijk lager in het profiel.



Figuur 2-6 Dwarsprofiel ter hoogte van 211l, na aanpassing van de code. Vergelijk met Figuur 2-3

Vervolgens is met de nieuwe profielenset de testberekening opnieuw gedraaid. Het resultaat is een sterke verbetering van de overeenkomst tussen de ongekalibreerde 1D modelresultaten en 2D (Figuur 2-7). Lokale afwijkingen bij hoogwater (bijvoorbeeld bij retentie Ottersem, km 156) zijn mogelijk nog te verbeteren door het nader afregelen van het inlaatwerk.



Figuur 2-7 De vergelijking tussen het ongekalibreerde 1D-modellen het 2D-model na aanpassing van de broncode voor stroomvoering, laat een sterke verbetering zien ten opzichte van Figuur 1-1

## 2.3 Kalibratie incl. stuwsturing

### 2.3.1 Methode

#### *Modelschematisatie*

Voor zowel de kalibratie als de validatie wordt het sobek-maas-j11\_6-w3 model gebruikt, waarbij de verbeteringen beschreven van de vorige paragrafen zijn meegenomen.

#### *Kalibratie*

Het kalibratiemodel is geforceerd met een monotoon stijgende bovenstroomse afvoer en de Q-H relatie bij Keizersveer. Er worden geen laterale afvoeren gebruikt bij kalibratie.

Het kalibratiemodel is uitgebreid met de RTC-module, die in 2020 tijdens validatie is gebruikt. Dit 1D RTC model heeft per stuw 1 PID controller die de waterstand op een bepaald 'setpoint' probeert te houden en een switch die bepaald of de stuw open of gestuurd is.

Het 2D RTC model heeft in tegenstelling tot het 1D model meerdere PID controllers, die overeenkomen met verschillende afvoercondities ("laag", "midden" en "hoog"). Tijdens kalibratie bleek dat het belangrijk was om hetzelfde RTC model te gebruiken in 1D en 2D. Daarom is ervoor gekozen om in zowel het 1D als het 2D model een enkele PID controller te gebruiken. Hiervoor is de PID 'laag' gebruikt. De setpoints van het 2D model zijn overgenomen in het 1D model.

#### *Validatie*

Voor de validatie zijn in het model de randvoorwaarden vervangen door de historische randvoorwaarden van de 2010-2011 afvoergolf inclusief lateralen en is de RTC component vervangen door de historische RTC (sturing op gemeten waterstanden).

### 2.3.2 Resultaten kalibratie: ruwheden

Figuur 2-8 toont de gekalibreerde afvoerafhankelijke ruwheidsfuncties per ruwheidstraject. Over het algemeen laten de functies een stabiel beeld zien (weinig plotselinge veranderingen) waarbij de meeste Manning waarden in het realistische bereik van 0.01 tot 0.06 s/m<sup>1/3</sup>. In vergelijking met de gekalibreerde ruwheden in Berends et al. (2020, Figuur 1-2 en **Error! Reference source not found.** in bijlage A.1) zien wij deze nieuwe resultaten als een sterke verbetering.

Desondanks zijn er 2 punten waar de ruwheidswaarden buiten het realistische bereik zijn:

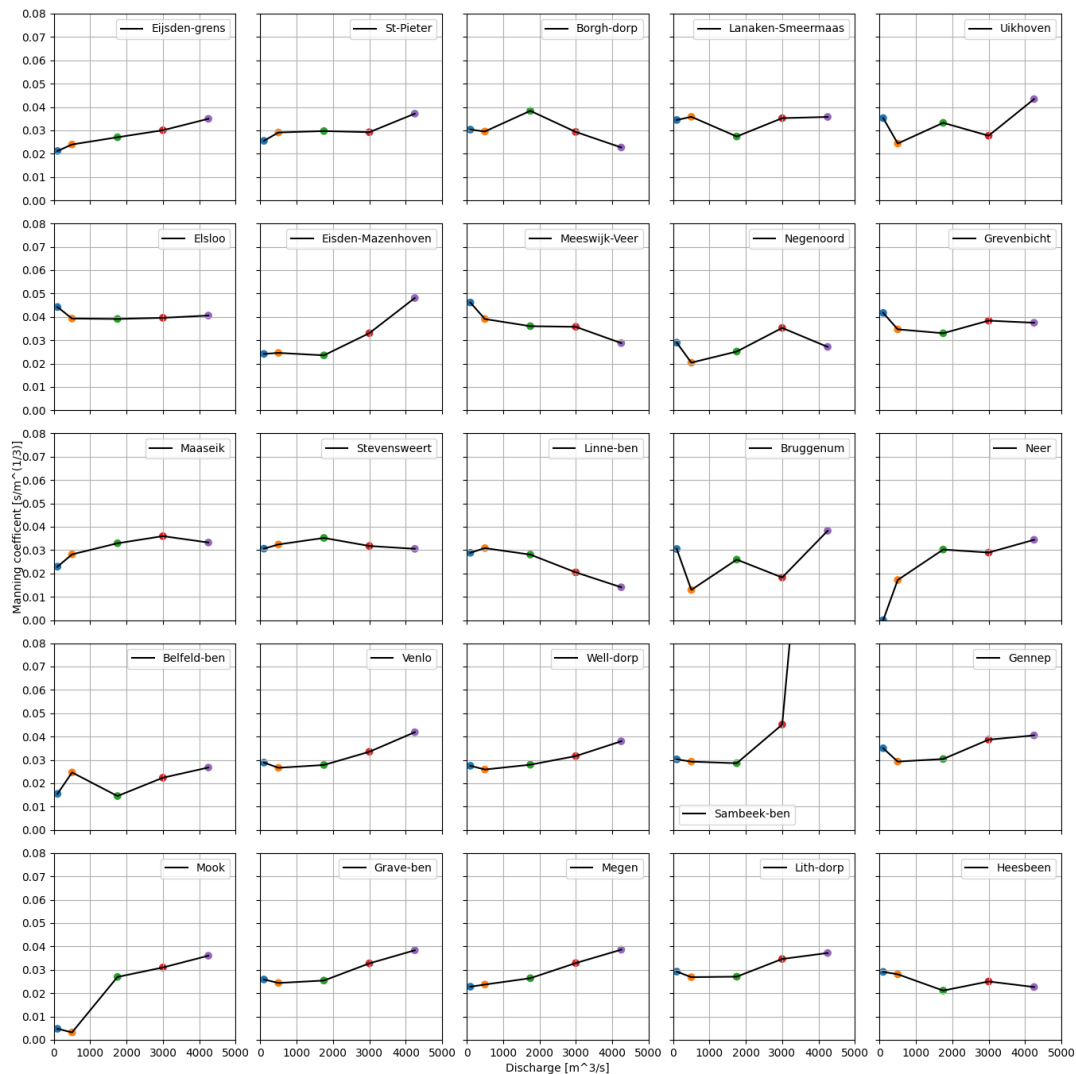
- Traject Sambeek-ben (van Sambeek-ben tot Gennep) laat een onrealistisch hoge ruwheidswaarde zien bij het hoogste afvoerniveau. Bij eerdere kalibratiepogingen (ook in Berends et al. (2020)) bleek dit al het geval te zijn. Het is voorsnog onbekend wat de precieze oorzaak hiervan is.
- Trajecten Neer (van Neer tot Belfeld beneden) en Mook (van Mook tot Grave beneden) vertonen zeer lage ruwheidswaardes voor het laagste afvoerniveau. Analyse van de kalibratieresultaten laat zien dat RTC hier sterk dominant is, en het aanpassen van ruwheden daardoor zeer weinig invloed op de waterstand heeft.

In deze proof of concept is gekozen deze onrealistische waarden niet handmatig te corrigeren.

Tijdens kalibratie werd duidelijk dat het belangrijk is dat zowel het RTC model als de initiële condities zo goed mogelijk overeenkomen tussen het 1D en 2D model. Afwijkingen hebben grote invloed op het kalibratieresultaat, en kunnen zelf leiden tot niet-convergentie.



Overeenstemming kan verbeterd worden door het gebruik van een lange inspeelperiode en de RTC modellen gelijk te trekken.



Figuur 2-8 Gekalibreerde afvoerafhankelijke ruwheidsfuncties per ruwheidstraject.

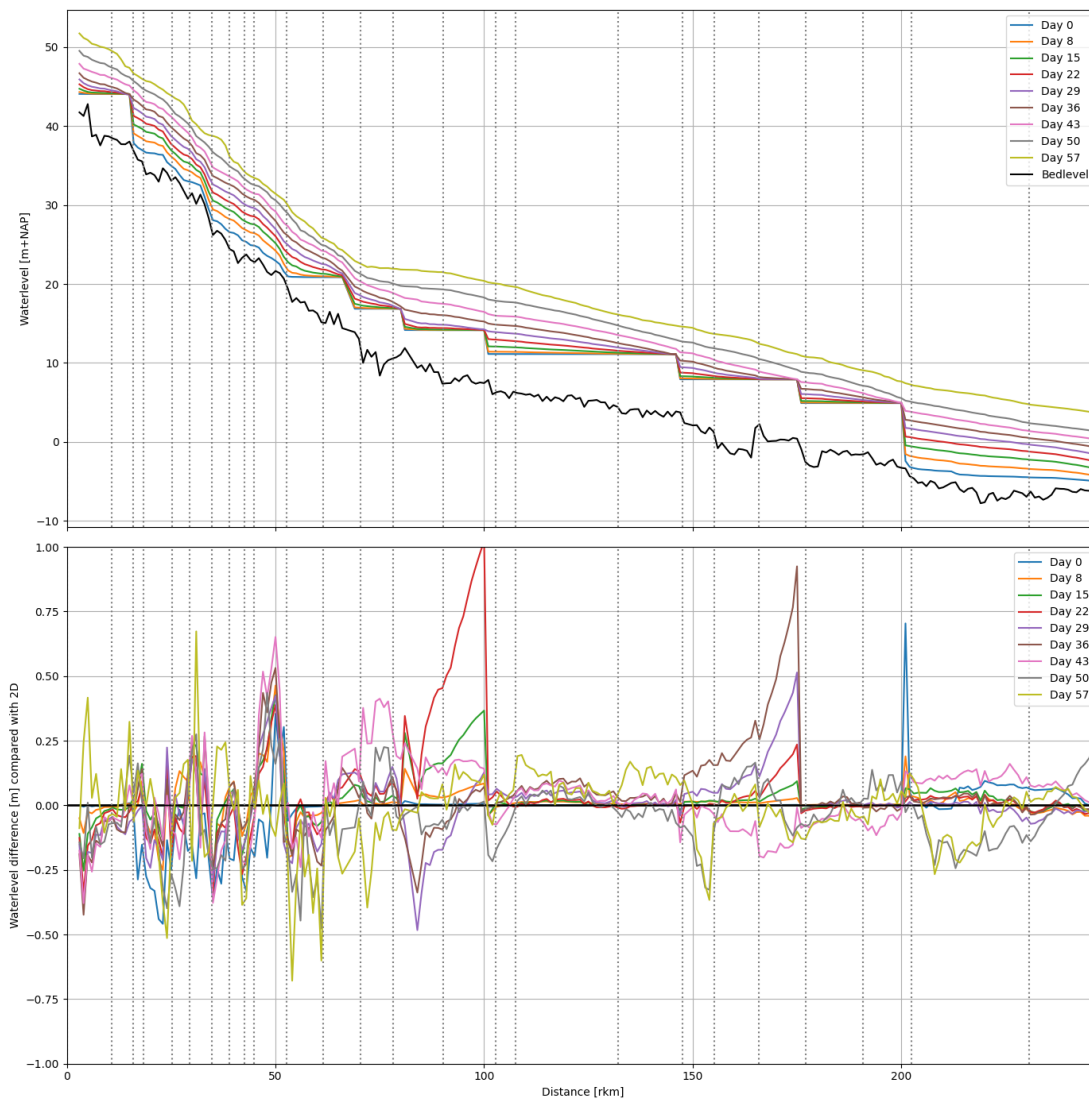
### 2.3.3 Resultaten kalibratie: waterstanden

Figuur 2-9 toont de waterstanden in langspiegel van de kalibratie met het verschil t.o.v. de 2D modelresultaten (observaties). In de bovenste plot zijn de stuwpanden goed terug te zien bij lage afvoeren (dag 0, 8 en 15). Over het algemeen blijven de waterstandsverschillen (in de onderste plot) binnen de grens van -0.5 tot +0.5m. Vergelijkend met de resultaten in Berends et al. (2020) (Figuur A-2, bijlage A.1) zien we over het algemeen verbetering, maar ook nieuwe verschillen die samenhangen met het gebruik van RTC rond rivierkilometer 100 (ter hoogte van Belfeld) en rivierkilometer 175 (ter hoogte van Grave). Het vermoeden is dat hier in het midden afvoerbereik de overgang van stuwsturing dominerend naar afvoer dominerend een rol speelt. De stuwen zijn in 1D al bij lagere afvoeren gestreken dan in 2D, waardoor de waterstanden hoger zijn. Het verdient daarom aanbevelingen om ook de stuwdimensies te controleren met het 2D model en zo nodig bij te stellen.

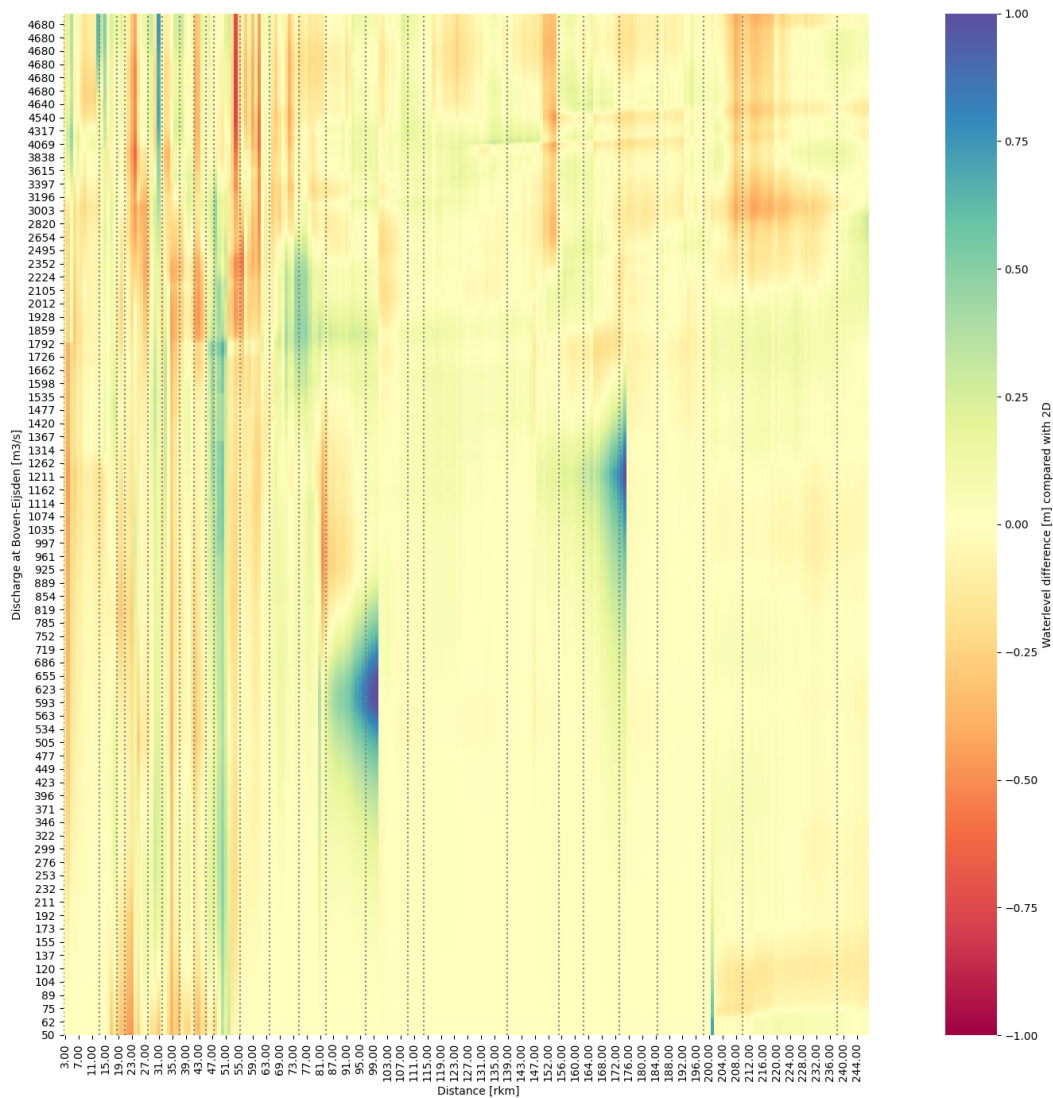
Figuur 2-10 toont de waterstandsverschillen in de vorm van een heatmap. Als deze waterstandsverschillen worden vergeleken met Berends et al. (2020) (Figuur A-3), zien we

een veel rustiger beeld met meer geeltinten (verschillen dicht bij nul). Ook hier vallen de verschillen bij de stuwen op als twee blauwe vlekken.

Bij hogere afvoeren en op de Grensmaas zijn er lokaal de grootste verschillen. Over het algemeen zijn dit negatieve verschillen (1D lager dan 2D).



Figuur 2-9 *Langsprofiel van waterstanden voor 1D kalibratieresultaat op verschillende momenten tijdens afvoergolf in bovenste plot. In onderste plot het verschil in waterstand t.o.v. 'observatie'/2D resultaat. Grijsse verticale stippellijnen geven grenzen ruwheidstrajecten weer.*



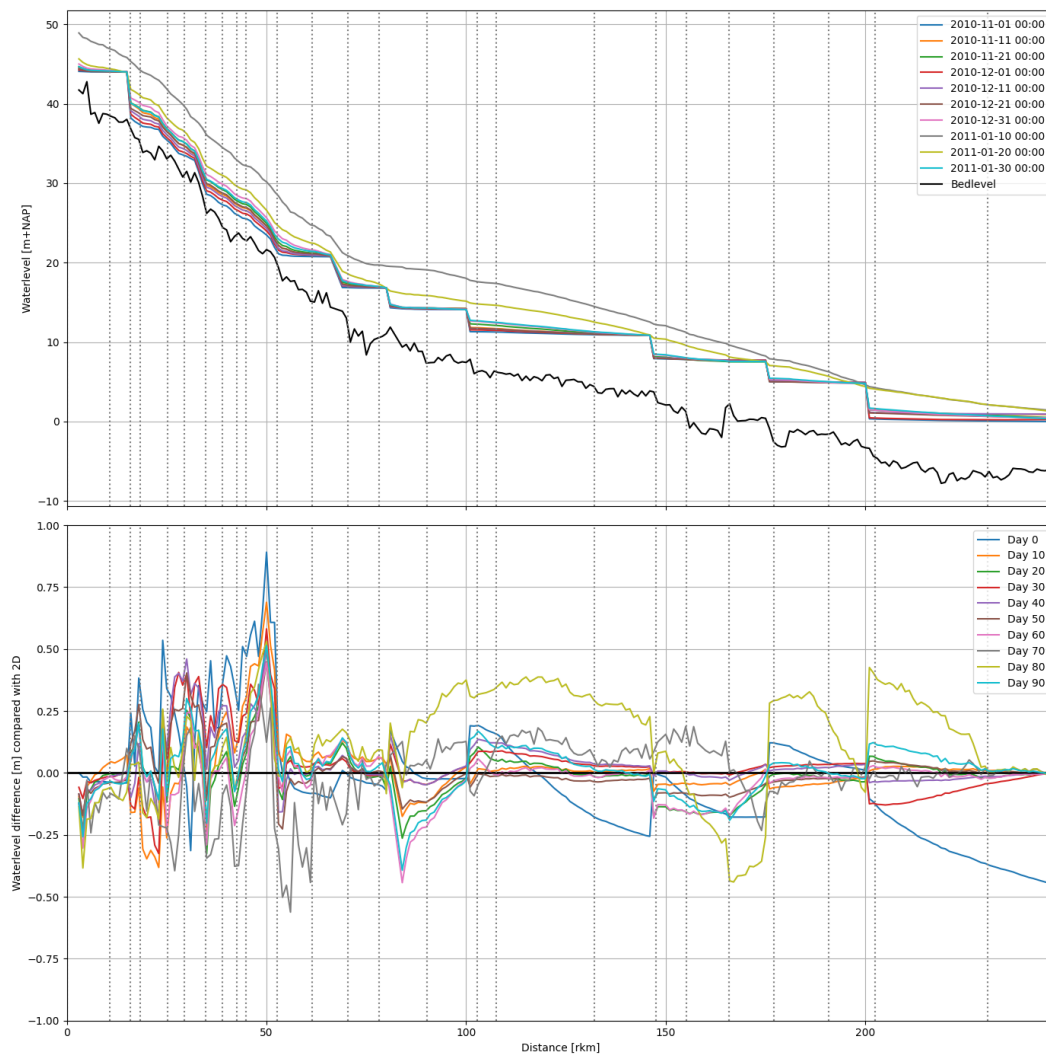
Figuur 2-10 Heatmap van waterstandsverschillen tussen kalibratieresultaat en 2D modelresultaten

## 2.4 Validatie

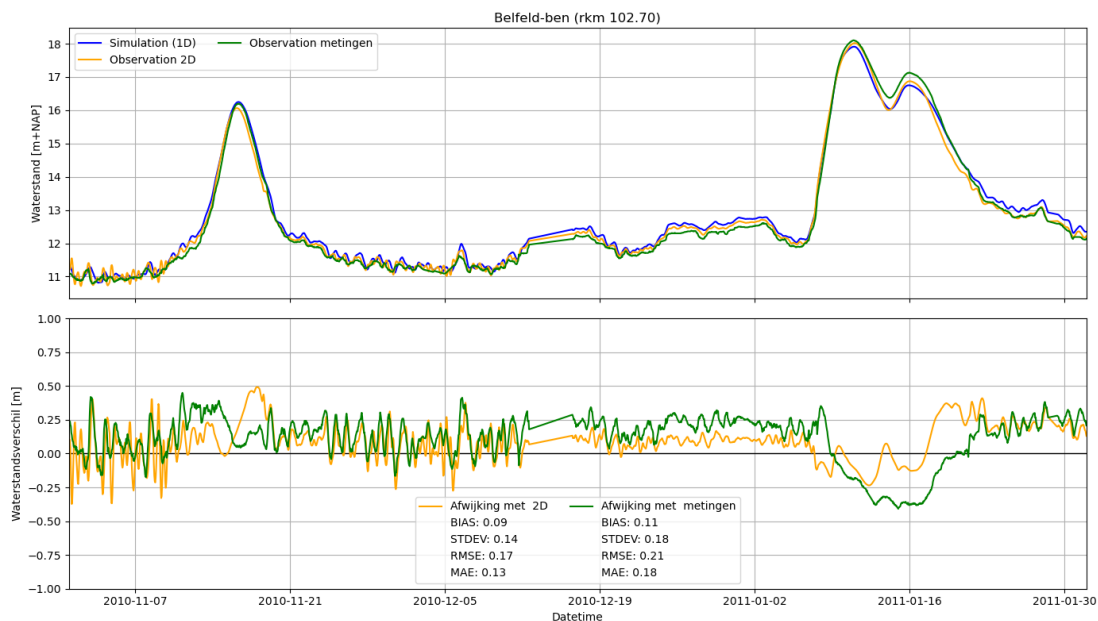
### 2.4.1 Algemeen beeld

Figuur 2-11 toont de waterstanden in langspiegel van de validatie op het hoogwater van 2010-2011 met het verschil t.o.v. de 2D validatie modelresultaten (observaties). De waterstandsverschillen zijn beperkt en zijn voornamelijk groot in de Grensmaas. De verschillen zijn vergelijkbaar met het kalibratieresultaat, in tegenstelling tot de resultaten van vorig jaar (Figuur A-4) waar de validatieresultaten sterk afweken van de kalibratieresultaten. In bijlage A.2 zijn tijdseries opgenomen van de vergelijking tussen het 1D model met zowel het 2D model als met metingen.

Er zijn enkele opvallende afwijkingen van 2D model resultaten. Op dag 0 zijn er grote waterstandsverschillen te zien, die te wijten zijn aan onvolkomen gelijke initiële condities tussen 1D en 2D. Daarnaast vertoont de lijn van 20-01-2011(dag 80) ook grote verschillen. Dit is op het aflopende deel van de afvoergolf waarbij dus een verschil in looptijd als snel tot een groot waterstandsverschil leidt. In Figuur 2-12 is te zien dat zowel het 1D als het 2D model de tweede piek onderschatten, maar dat het 2D model in vergelijking met metingen scherper dalende waterstanden voorspelt. Daarom zien we op dag 80 een relatief grote afwijking.



Figuur 2-11 Langsprofiel van waterstanden voor 1D validatieresultaat 2010-2011 op verschillende momenten tijdens afvoergolf in bovenste plot. In onderste plot het verschil in waterstand t.o.v. 'observatie'/2D resultaat. Grijsse verticale stippellijnen geven grenzen ruwheidstrajecten weer.



Figuur 2-12 Tijdsree bij meetstation Belfeld, validatieresultaat.

Figuur 2-15 toont een heatmap van de waterstandsverschillen. Als deze verschillen worden vergeleken met dezelfde heatmap in Berends et al. (2020) (Figuur A-5), dan is goed te zien dat de waterstandsverschillen in de nieuwe validatie sterk zijn verminderd. De overschatting bij Maaseik die werd opgemerkt in Berends et al. (2020), maar waarvoor geen duidelijke oorzaak kon worden aangewezen is niet meer terug te zien in de huidige validatieresultaten (Figuur 2-14). Tevens zijn instabiliteiten in stuwsturing van Linne, Lith, Sambeek en Belfeld, die vorig jaar werden gezien, ook niet meer waar te nemen.

Als de bias en RMSE waarden van Berends et al. (2020) met het huidige validatieresultaat wordt vergeleken komen we tot Tabel 2-1. In de tabel betekent een negatief percentage een afname van de bias/RMSE wat dus een beter validatieresultaat betekent. Bijna alle locaties laten een afname zien in de huidige validatie t.o.v. het resultaat uit 2020, met uitzondering van de stations Neer en Mook die in de volgende paragraaf nader worden besproken. Ten opzichte van metingen, en gemiddeld over alle stations, heeft het 1D model een kleinere bias dan het 2D model maar een grotere RMSE waarde (Tabel 2-2).

Het algemene beeld van de validatie is dat de resultaten sterk verbeterd zijn ten opzichte van vorig jaar, en dat de nauwkeurigheid van het 1D model de nauwkeurigheid van het 2D model benaderd.

#### 2.4.2 Detailbespreking van de afwijkingen tussen 1D en 2D.

Desalniettemin willen we stil staan bij enkele opvallende afwijkingen die een aanknopingspunt kunnen zijn voor toekomstige verbetering. Systematische over- en onderschattingen zijn in dit figuur zichtbaar als gekleurde kolommen. Opvallend zijn een aantal blauwe kolommen op de Grens- en Plassenmaas (kader A), en twee rode kolommen (kaders B). Systematische afwijkingen die afhankelijk zijn van afvoer zien we terug als rijen, waar we vooral willen stil staan bij kader C.

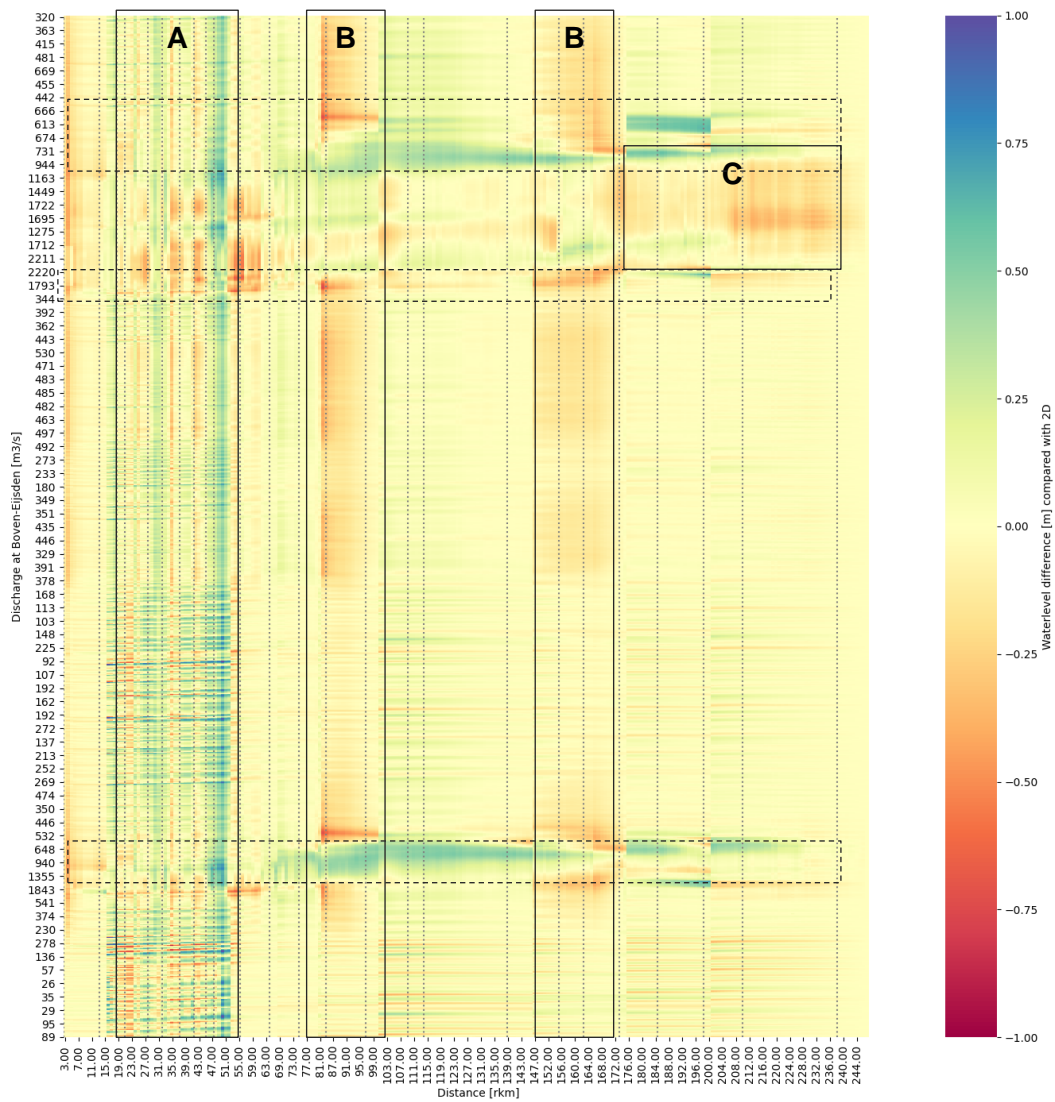
De kolommen in kader A liggen in een gedeelte van de Maas waar sprake is van sterke sinuositeit. Detailanalyse van het 2D gedrag en eventuele doorwerking van niet gemodelleerde laterale takken (zoals de Oude Maas) zou onderzocht kunnen worden. Het is niet aannemelijk dat zgn. kortsluitingen dit gedrag veroorzaken.

Kader B omvat de LMW meetstations Neer en Mook. Deze trajecten lieten bij kalibratie ook afwijkingen zien (Figuur 2-9), maar niet in het ongekalibreerde resultaat (Figuur 2-7). De tijdserie (Figuur 2-15) laat zien dat bij lage afvoeren de waterstanden structureel te laag zijn in 1D, maar niet in het 2D model. Eerder is al vastgesteld dat het 1D model eerder gestreken stuwen heeft dan het 2D model, wat in kalibratie leidde tot hogere waterstanden en lage gekalibreerde ruwheden (Figuur 2-8). Deze lage ruwheden veroorzaken tijdens de validatie, waar over een groot deel van de som lage afvoeren zijn, te lage waterstanden. Het verhelpen van het probleem dat bij Mook en Neer leidt tot te hoge waterstanden bij lage afvoeren zal waarschijnlijk leiden tot verbetering van het validatieresultaat.

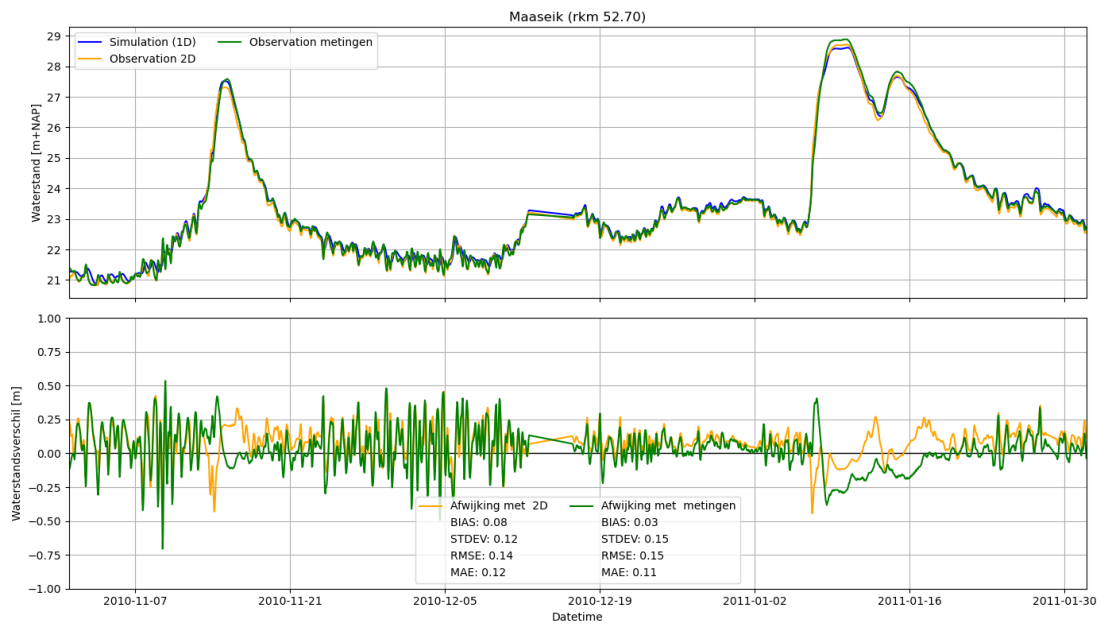
Kader C laat zien dat er sprake is van een onderschatting van de tweede afvoerpiek bovenstrooms van Heesbeen. Omdat dit ook zichtbaar was in het kalibratieresultaat (Figuur 2-10), maar niet in het ongekalibreerde model (Figuur 2-7) kan onderzocht worden of hier in kalibratie een oplossing voor kan worden gevonden. Een mogelijk aanknopingspunt hiervoor is het gedrag aan de benedenstroomse rand - in Figuur 2-9 is op dag 50 een opvallende afwijking te zien bij de benedenstroomse rand.

Enkele andere zichtbare 'rijen', aangegeven door de omstreepte kaders, hangen samen met een snelle stijging of daling in de afvoer en waterstand, waar relatief kleine looptijdverschillen leiden tot relatief grote waterstandsverschillen.

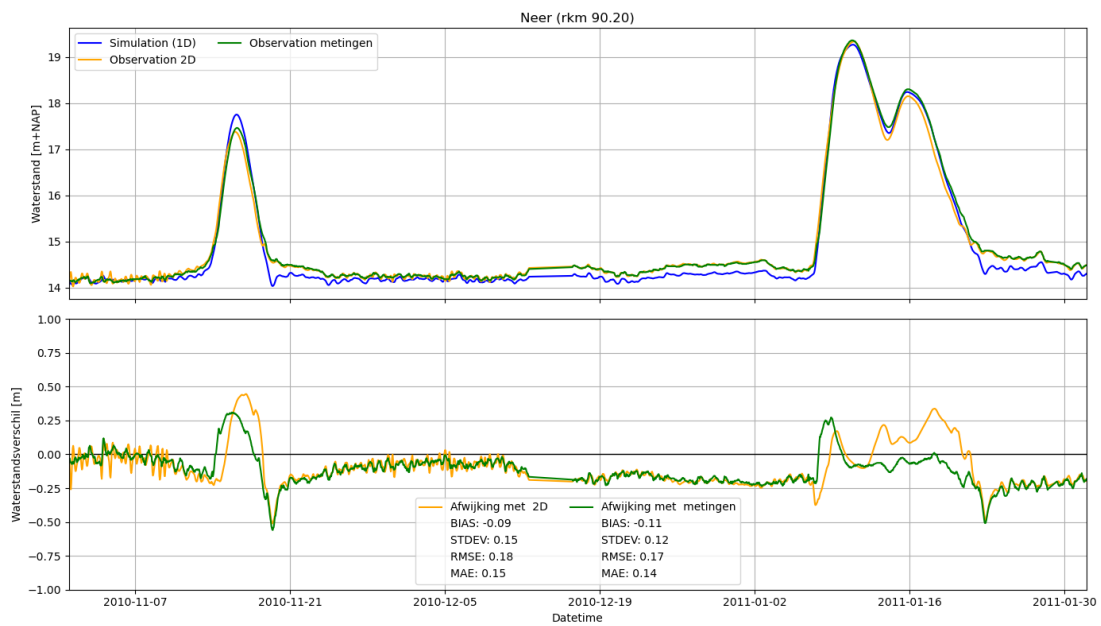




Figuur 2-13 Heatmap van waterstandsverschillen tussen validatieresultaat 2010-2011 en 2D 2010-2011 modelresultaat (observatie)



Figuur 2-14 Tijdsree van de validatieresultaten bij meetstation Maaseik.



Figuur 2-15 Tijdsree van de validatieresultaten bij meetstation Neer.

Tabel 2-1 *Vergelijking met metingen, uitgedrukt in bias en RMSE, per locatie tussen het resultaat uit Berends et al. (2020) en huidig validatieresultaat. Verschil in % is berekend met absolute waarden dus een negatief percentage betekent reductie van bias/RMSE. Deze lijst omvat de stations die in alle modellen aanwezig zijn. Sommige stations, zoals Buggenum, staan daarom niet in deze tabel.*

	Bias			RMSE		
	2020	2021	Verschil % (t.o.v. 2020)	2020	2021	Verschil % (t.o.v. 2020)
Eijsden grens	-0.346	-0.248	-28%	0.358	0.262	-27%
Sint Pieter noord	0.042	-0.001	-98%	0.063	0.041	-35%
Borgharen dorp	0.101	0.052	-48%	0.187	0.178	-5%
Lanaken Smeermaas	0.375	0.341	-9%	0.418	0.404	-3%
Uikhoven	0.070	-0.015	-79%	0.159	0.156	-2%
Elsloo	0.315	0.170	-46%	0.340	0.280	-18%
Eisden Mazenhoven	0.227	0.078	-66%	0.275	0.221	-20%
Meeswijk veer	0.461	-0.006	-99%	0.505	0.174	-66%
Grevenbicht	0.182	0.177	-3%	0.414	0.271	-34%
Maaseik	1.149	0.026	-98%	1.196	0.148	-88%
Stevensweert	0.075	-0.078	4%	0.363	0.115	-68%
Linne ben	0.181	0.020	-89%	0.265	0.068	-74%
Neer	-0.052	-0.113	118%	0.127	0.165	30%
Belfeld ben	0.096	0.112	17%	0.297	0.209	-30%
Venlo	0.166	0.139	-16%	0.308	0.189	-39%
Well dorp	0.034	0.032	-7%	0.113	0.076	-32%
Sambeek ben	0.211	-0.045	-79%	0.332	0.109	-67%
Gennep	0.081	-0.035	-57%	0.166	0.095	-43%
Mook	-0.023	-0.125	444%	0.113	0.183	62%
Grave ben	0.025	0.017	-33%	0.192	0.131	-32%
Megen dorp	-0.035	-0.002	-93%	0.189	0.121	-36%
Lith dorp	-0.128	0.004	-97%	0.364	0.168	-54%
Heesbeen	-0.031	-0.031	0%	0.134	0.150	12%
<b>GEMIDDELD</b>	<b>0.138</b>	<b>0.020</b>	<b>-85%</b>	<b>0.299</b>	<b>0.170</b>	<b>-43%</b>

Tabel 2-2 *Vergelijking tussen model en meting, gemiddeld over alle stations.*

	G5 2D (WAQUA)	SOBEK5 1D (SOBEK 3)	G6 2D (FM)	G6 1D (SOBEK 3)
Bias (gemiddeld)	0.131 m	-0.007 m	0.028 m	0.020 m
RMSE (gemiddeld)	0.176 m	0.136 m	0.128 m	0.170 m

## 3 Conclusies

### 3.1 Samenvatting van resultaten

In dit memo werden drie aanpassingen aan de in Berends et al. (2020) beschreven werkwijze doorgevoerd om te testen of de validatieresultaten beter worden: (1) het verbeteren van de schematisatie van retentiegebieden, (2) het onderzoeken van lokale afwijking bij rivierkilometer 211 en (3) kalibreren met operationele stuwsturing.

De resultaten zijn als volgt samen te vatten:

- Het verbeteren van de schematisatie van retentiegebieden heeft lokaal effect, maar leidt niet tot een algemene verbetering.
- Het verschil bij rivierkilometer 211 werd veroorzaakt door een te smalle zomerbedruwheidssectie, waardoor de winterbedruwheid te vroeg werd aangesproken – wat een disproportioneel groot effect had op de totale ruwheid (tot een Chézy van  $0 \text{ m}^{1/2}\text{s}^{-1}$ ). Het onderliggende probleem bleek echter te liggen in de toewijzing van het stromend- en bergend volume. Dit probleem is verholpen in FM2PROF, waarna het ongekalibreerde resultaat sterk verbeterd.
- Kalibratie van het verbeterde model, deze keer inclusief RTC, laat zowel betere gekalibreerde ruwheidswaarden als een beter validatieresultaat zien. In tegenstelling tot vorig jaar, is de fout in validatie vergelijkbaar met de fout in kalibratie.

In conclusie wordt gesteld dat de resultaten sterk verbeterd zijn ten opzichte van vorig jaar. In vergelijking met metingen zien we dat het 1D model tijdens de validatiesom met het hoogwater van 2011 het gemiddeld over alle stations vrijwel net zo goed doet als het 2D model. De gemiddelde afwijking over alle stations kleiner is (2.0 cm in 1D, 2.8 cm in 2D) is de RMSE waarde groter (17.0 cm in 1D, 12.8 cm in 2D).

### 3.2 Conclusie en aanbevelingen gebruik van de nieuwe werkwijze

Dit memo is een vervolg op het pilotproject dat tot doel had om een nieuwe werkwijze te testen voor het afleiden van 1D modellen van een 2D model. Het Maasmodel is hierbij gebruikt als casus voor een 'proof of concept'.

De goede resultaten beschreven in deze memo laten zien dat met de nieuwe werkwijze een 1D model kan worden afgeleid die de nauwkeurigheid van het 2D model benadert onder gemeten omstandigheden. Hiermee denken wij dat het aannemelijk is dat een operationeel model van voldoende nauwkeurigheid kan worden afgeleid middels de nieuwe werkwijze.

Daarom adviseren wij om in een volgende stap een operationeel 1D model te bouwen met de nieuwe werkwijze. Hierbij hebben wij de volgende aanbevelingen.

Voor de algemene toepassing van de methode:

- Trek de RTC modellen zo veel mogelijk gelijk tussen het 1D en het 2D model.
- Goede initialisatie van zowel de 1D als de 2D som is kritisch voor een goede kalibratie
- Controleer de ongekalibreerde resultaten goed. Opvallende afwijkingen kunnen zelden worden hersteld door kalibratie.

Voor een toekomstig Maasmodel zien wij enkele aanknopingspunten voor verdere verbetering:

- Hoewel de 1D en 2D RTC zoveel mogelijk gelijk is getrokken, is er tijdens kalibratie desalniettemin gedrag zichtbaar dat zich in de afwijkingen van kader 'B' in Figuur 2-13. Een analyse van de verschillen tussen stuwdimensies en stuwwerking bij Belfeld (t.b.v. station Neer) en Sambeek (t.b.v. station Mook) biedt hopelijk een oplossing voor deze structurele afwijking.
- De onderschatting van de waterstand bovenstrooms van Heesbeen (kader 'C' in Figuur 2-13)
- Het Maasmodel is aanzienlijk vereenvoudigd ten opzichte van het 5<sup>e</sup> generatiemodel. In sommige gebieden van de Plassenmaas, m.n. het gebied 'A' in Figuur 2-13, zou a.d.h.v. 2D stromingspatronen onderzocht kunnen worden of aanpassing van de schematisatie leidt tot verdere verbetering.



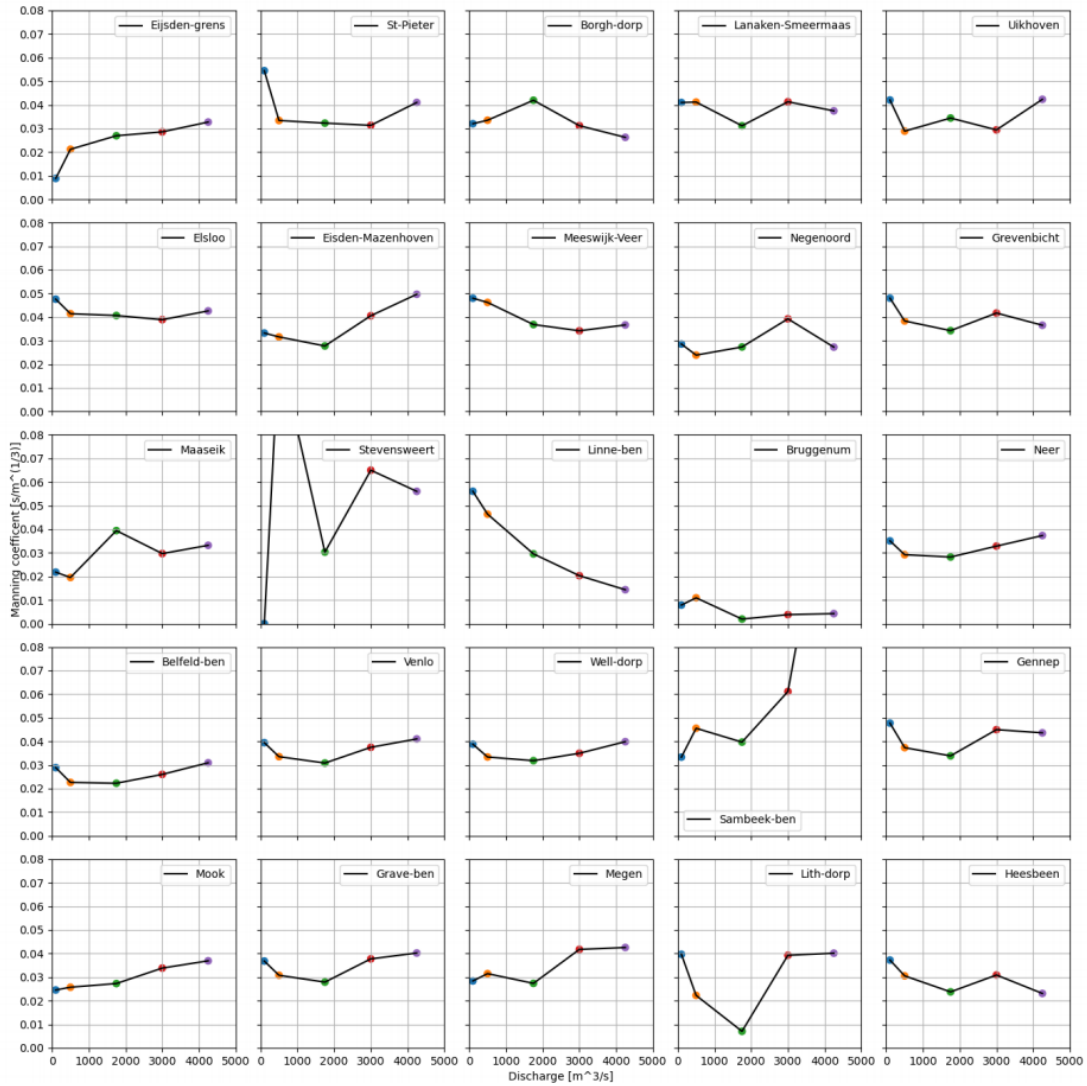
## Referenties

Berends K.D., Domhof B.C.A. & Fujisaki A. (2020). Pilot zesde generatie 1D SOBEK model voor de Maas. Toepassing FM2PROF. Deltares rapport 11205258-003-ZWS-0002, versie 1.1

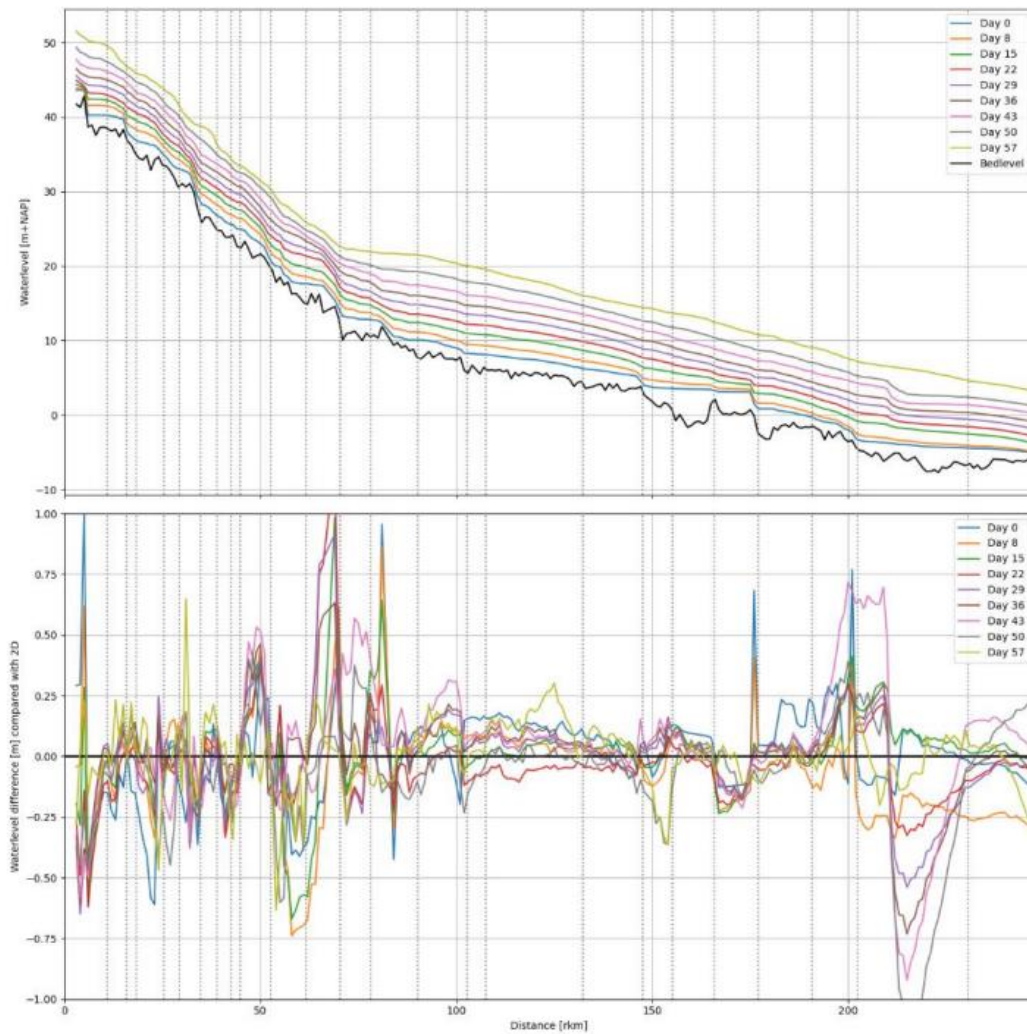
Berends, K.D., (2021). Afronding Maas G6 1D, Deltares memo 11206813-002-ZWS-0002

# A Bijlagen

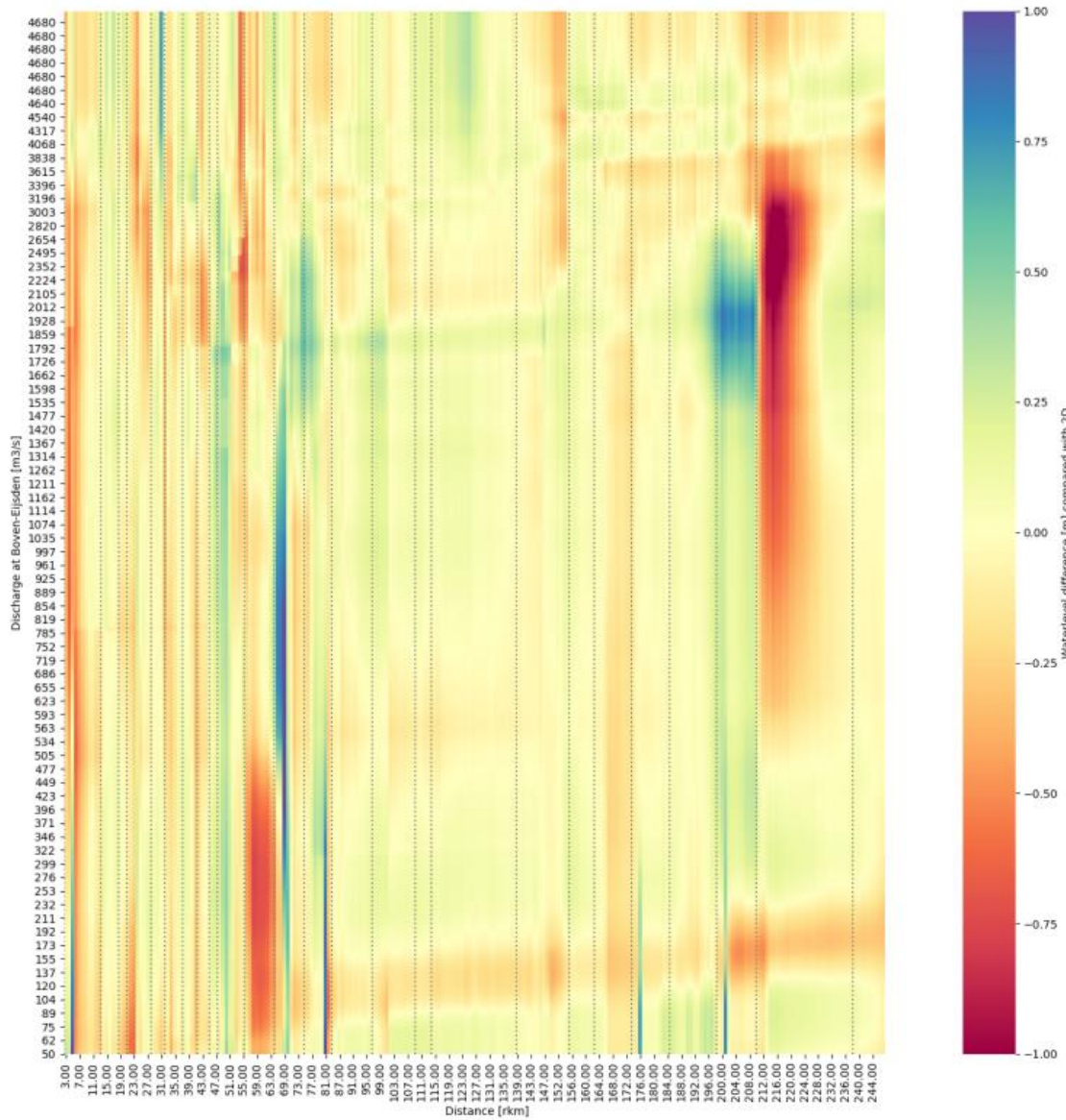
## A.1 Resultaten Berends et al. (2020)



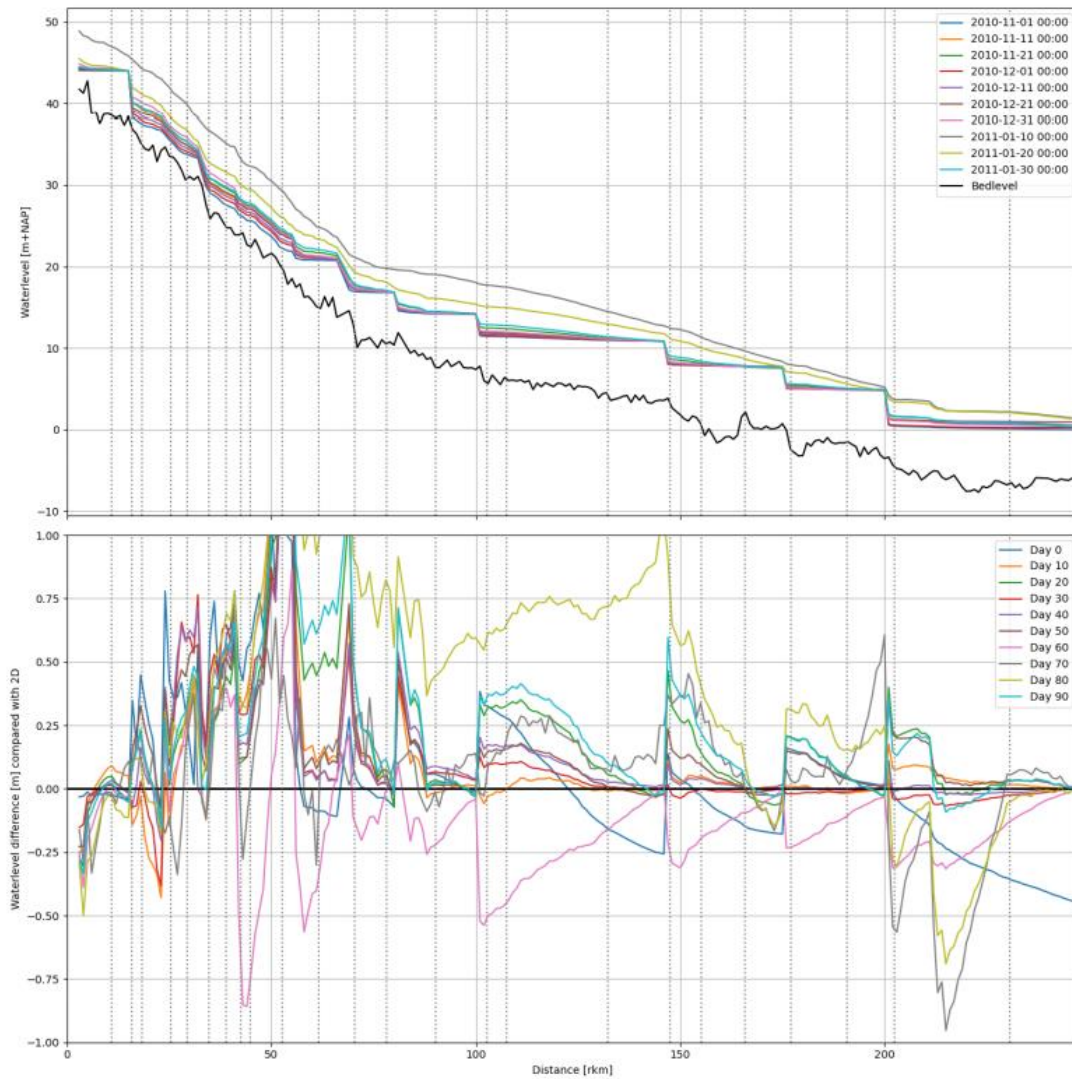
Figuur A-1 Gekalibreerde afvoerafhankelijke ruwheidsfuncties per ruwheidstraject uit Berends et al. (2020), ter vergelijking met Figuur 2-8.



Figuur A-2 Resultaten uit Berends et al. (2020), ter vergelijking met Figuur 2-9. Langsprofiel van waterstanden voor 1D kalibratieresultaat op verschillende momenten tijdens afvoergolf in bovenste plot. In onderste plot het verschil in waterstand t.o.v. 'observatie'/2D resultaat. Grijsse verticale stippellijnen geven grenzen ruwheidstrajecten weer.

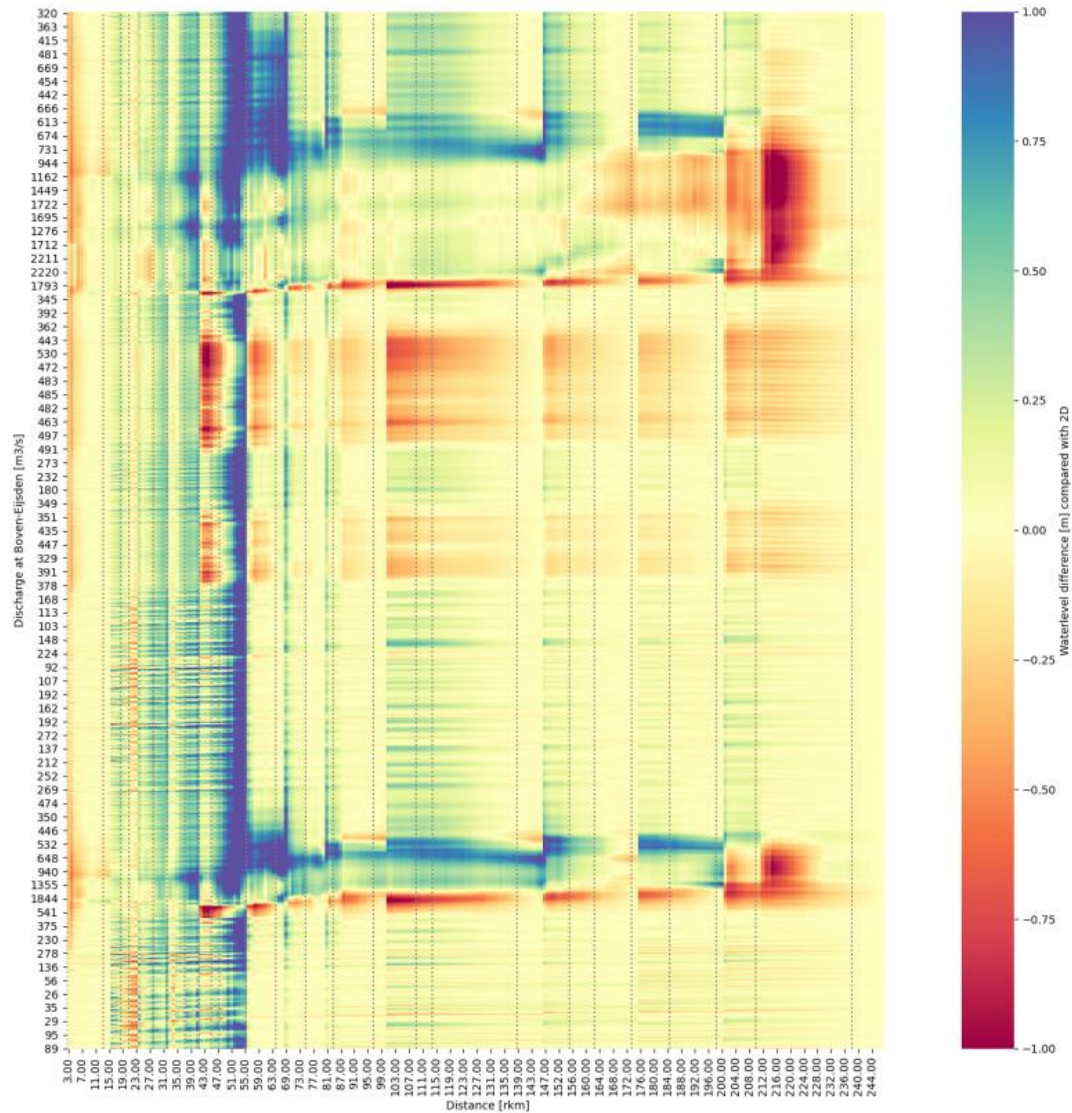


Figuur A-3 Heatmap van waterstandsverschillen tussen kalibratieresultaat en 2D modelresultaten (observatie) uit Berends et al. (2020), ter vergelijking met Figuur 2-10.



Figuur A-4 Resultaten uit Berends et al. (2020), ter vergelijking met Figuur 2-9. Langsprofiel van waterstanden voor 1D validatieresultaat op verschillende momenten tijdens afvoergolf in bovenste plot. In onderste plot het verschil in waterstand t.o.v. 'observatie'/2D resultaat. Grijs verticale stippellijnen geven grenzen ruwheidstrajecten weer.





Figuur A-5 Heatmap van waterstandsverschillen tussen validatieresultaat in 1D en 2D modelresultaten uit Berends et al. (2020), ter vergelijking met Figuur 2-13

## A.2 Tijdsreeksen



