

Jaarlijkse Actualisatie Modellen Rijn 2023

sobek-rijn-j22_6-v1a2



Jaarlijkse Actualisatie Modellen Rijn 2023
sobek-rijn-j22_6-v1a2

Auteur(s)

Bart Maas

Matthijs Gensen (HKV Lijn in Water)

Koen Berends

Jaarlijkse Actualisatie Modellen Rijn 2023

sobek-rijn-j22_6-v1a2

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	Dhr. William de Lange
Referenties	Werkplan MAD 09 2023 - Rijn; Hydraulica schematisaties zoet en zout. Deltares: 11208053-000-ZWS-0037.
Trefwoorden	SOBEK, Rijntakken, 1D model, RWsOS

Documentgegevens

Versie	1.1
Datum	15-12-2023
Projectnummer	11209233-003
Document ID	11209233-003-ZWS-0007
Pagina's	79
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Bart Maas	Matthijs Gensen (HKV Lijn in Water)
	Koen Berends	

Samenvatting

Dit rapport beschrijft de bouw, afregeling en testen van het zesde-generatie 1D model voor de Rijntakken: *sobek-rijn-j22_6-v1a2*. Het primaire doel van *sobek-rijn-j22_6-v1a2* is de operationele voorspelling van de waterstanden in de Nederlandse Rijntakken binnen de samenhangende operationele systemen van Rijkswaterstaat voor de rivieren (RWsOS-Rivieren). Binnen dat systeem worden voorspellingen gebruikt voor onder meer peilbeheer, waterverdeling en water management. Daarnaast wordt het model door Rijkswaterstaat via Helpdesk Water (onderdeel van het Informatiepunt Leefomgeving IPLO) beschikbaar gesteld voor secundaire doelen.

Modelbouw

Het 1D model wordt afgeleid volgens een standaardmethodiek. Deze methode is over de loop van enkele pilotstudies voor de Maas en Rijntakken en de ontwikkeling van het zesde-generatie Rijntakken model ontwikkeld. Deze methodiek verschilt in veel opzichten van de methode die in de vijfde generatie is gebruikt. De belangrijkste uitgangspunten zijn:

- Het 1D model wordt geheel gebaseerd op het 2D model. De naamgeving van objecten is identiek aan 2D, en het RTC model is overgenomen uit 2D met beperkte aanpassingen om het voor 1D geschikt te maken.
- Profielen en ruwheden worden afgeleid met het programma 'FM2PROF'
- Er wordt gekalibreerd op 2D modelresultaten, binnen één som waarbij zowel waterstanden als de afvoerverdeling wordt afgeregeld.

Ten opzichte van de vorige versie (*sobek-rijn-j22_6-v1a1*) zijn de volgende aanpassingen doorgevoerd aan de schematisatie:

- Het model is geüpdatet naar SOBEK 3.7.25.55022. Deze software versie ondersteunt langere namen voor objecten en introduceert de *VolumeTable* optie.
 - Verschillende objecten zijn van naam veranderd om overeen te komen met het 2D model.
 - De *VolumeTable* optie is nu opgenomen in de modelinstellingen. Hierdoor rekent het model aanzienlijk sneller.
- Het Reevediep is geopend.
- De locatie van lateralen rond Lobith zijn gewijzigd om dubbeltelling tijdens operationeel gebruik van het model in RWsOS-Rivieren te voorkomen.

Daarnaast zijn er onderzoeken uitgevoerd naar potentiële verbeteringen van de schematisatie naar aanleiding van lokale verschillen tussen het 1D en 2D model. Geen van de onderzoeken heeft geleid tot aanpassingen in de modelschematisatie van *sobek-rijn-j22_6-v1a2*. Wel zijn er concrete aanknopingspunten gevonden voor toekomstige aanpassingen aan de schematisatie of aan FM2PROF, en een beter inzicht in de beperkingen van 1D. Deze aanknopingspunten zijn gedocumenteerd in paragraaf 5.2.

Kalibratie & Validatie

Bij veranderingen aan de schematisatie is het procedure om het model opnieuw te kalibreren. Ondanks de relatief kleine verandering is er daarom een herkalibratie doorgevoerd aan *sobek-rijn-j22_6-v1a2*. Bij deze herkalibratie is tevens getest of het toevoegen van een extra afvoerniveau overeenkomstig met 2080 m³s⁻¹ bij Lobith de validatieresultaten zou verbeteren.

De validatie is uitgevoerd door alle standaardsommen die met het 2D model zijn gedraaid ook met het 1D model te draaien. Uit de kalibratie- en validatieresultaten blijkt dat:

- Het toevoegen van een extra afvoerniveau overeenkomstig met $2080 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ bij Lobith leidde niet tot verbetering van de validatieresultaten. Daarom is er geen extra afvoerniveau opgenomen in *sobek-rijn-j22_6-v1a2*.
- De herkalibratie leidt tot vergelijkbare, maar niet exact dezelfde resultaten als *sobek-rijn-j22_6-v1a1*. We vermoeden dat er door een zekere mate van willekeurigheid in de kalibratiemethodiek het optimalisatie-algoritme niet altijd tot dezelfde oplossing zal komen.
- De validatieresultaten zijn conform *sobek-rijn-j22_6-v1a1*, d.w.z. dat het verschil met 2D doorgaans binnen verwachte orde grootte (centimeters) blijft.
- De afvoer door de hoogwatergeul Veessen-Wapenveld komt redelijk overeen tussen 1D en 2D – met name tijdens de piek van een hoogwatergolf. De geul stroomt in 2D wel sneller leeg dan in 1D. Het aanpassen van de afvoercoëfficiënt van het kunstwerk (*dischargecoeff*) parameter zou mogelijk gebruikt kunnen worden om de overeenkomst tussen beide modellen te verbeteren.
- Er is een beperkte validatie uitgevoerd op de afvoer door het Reevediep. Daaruit blijkt dat de afvoerverdeling redelijk goed overeen komt tussen 1D en 2D.

Conclusie en aanbevelingen

Het zesde generatie 1D model voor de Rijntakken is geüpdatet naar *sobek-rijn-j22_6-v1a2*. Dit model is qua nauwkeurigheid vergelijkbaar met *sobek-rijn-j22_6-v1a1*, maar heeft enkele belangrijke verbeterpunten: updaten naar SOBEK 3.7.25.55022 en het openen van het Reevediep. Daarnaast is onderzoek uitgevoerd naar potentiële verbeteringen in de procedure. Hieruit volgen enkele aanbevelingen voor toekomstige actualisaties.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Introductie	8
1.1	Methode	8
1.2	Software	9
1.3	Team	9
2	Modelbouw	10
2.1	Vernieuwing en onderzoek	10
2.1.1	Waal (rkm 920-940) bij stationaire $Q_{Lobith} = 8.000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$	10
2.1.2	Bovenstrooms van de bocht bij Nijmegen	13
2.1.3	Het toevoegen van een afvoerniveau in het gestuwde domein	19
2.1.4	Veel stroomvoering laag in het profiel	23
2.2	Aanpassingen aan de schematisatie	24
2.2.1	Uitsluiten van profiel <i>Twentekanaal_0.000</i>	24
2.2.2	Update naar SOBEK 3.7.25	25
2.2.3	Openen van Reevediep	27
2.2.4	Locatie afvoer Lobith	29
2.3	RWsOS variant	31
3	Kalibratie	32
3.1	Methode	32
3.1.1	Algemene methode voor kalibratie & validatie	32
3.1.2	Kalibratie sobek-rijn-j22_6-v1a2	34
3.2	Resultaten kalibratie	34
4	Validatie	36
4.1	Resultaten validatiesommen	36
4.2	Analyse verschillen tussen 1D en 2D modelresultaten	37
4.2.1	Afvoerverdeling op de Pannerdensche Kop en IJsselkop rond $Q_{Lobith} = 4.000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$	37
4.2.2	Afvoer door Hoogwatergeul Veessen-Wapenveld	37
4.2.3	Afvoer door Reevediep	38
4.2.4	Potentie afregelen van afvoerverdeling Reevediep en Veessen-Wapenveld	39
5	Conclusie en aanbevelingen	41
5.1	Conclusies	41
5.1.1	Onderzoek naar het verkleinen van verschillen in resultaten tussen 1D en 2D	41
5.1.2	Modelaanpassingen en herkalibratie (changelog)	42
5.2	Aanbevelingen	42
6	Referenties	45
A	Verschil naamgeving 1D – 2D (<i>sobek-rijn-j22_6-v1a1</i>)	46

B	Waterstandsverlaging op de IJssel	48
C	Resultaten	49
C.1	Dynamische sommen	49
C.1.1	Tabellen	49
C.1.2	Heatmaps	51
C.1.2.1.	D6000	52
C.1.2.2.	D8000	53
C.1.2.3.	D10000	55
C.1.2.4.	D13000	56
C.1.2.5.	D16000	58
C.2	Stationaire sommen	60
C.2.1	Tabellen	60
C.2.2	Heatmaps	63
C.2.2.1.	S 600	63
C.2.2.2.	S 1020	64
C.2.2.3.	S 2000	66
C.2.2.4.	S 4000	67
C.2.2.5.	S 6000	69
C.2.2.6.	S 8000	70
C.2.2.7.	S 10000	72
C.2.2.8.	S 13000	73
C.2.2.9.	S 16000	74
D	Aanpassingen voor RWsOS	77
D.1.1	Restart read and write	77
D.1.2	Randvoorwaarden en lateralen	77
D.1.3	Uitvoertijdstep	77
D.1.4	Uitvoerparameters	77
D.2	Aanpassing aan de schematisatie	77

1 Introductie

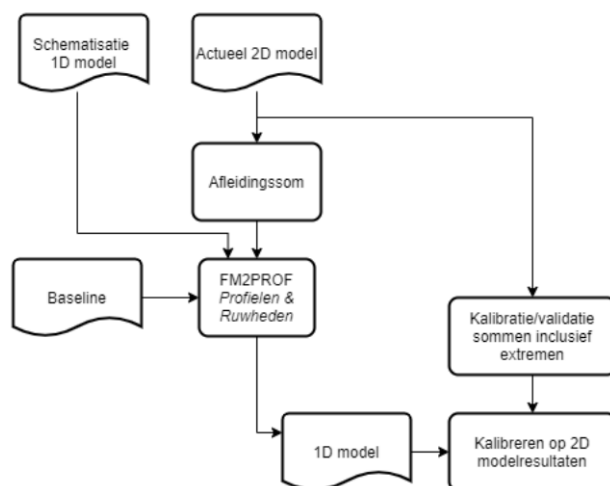
Dit rapport beschrijft de bouw, afregeling en testen van het zesde-generatie 1D model voor de Rijn *sobek-rijn-j22_6-v1a2*. Dit is een doorontwikkeling van *sobek-rijn-j22_6-v1a1* (Berends, Domhof, & Visser, 2022). De voornaamste reden voor deze doorontwikkeling is de opening van het Reevediep en een update naar SOBEK 3.7.25.55022. Daarnaast beschrijft dit rapport verdiepend modelonderzoek en incrementele verbeteringen.

Dit 1D model wordt gebruikt voor de berekening van waterstanden en afvoeren binnen het areaal van Rijkswaterstaat Oost-Nederland voor het beter begrijpen van het riviersysteem. Naast het standaardmodel wordt een afgeleide variant opgeleverd, *sobek-rijn-j22_6-v1a2-rwsos* voor de operationele voorspelling van de waterstanden in de Nederlandse Rijntakken binnen de samenhangende operationele systemen van Rijkswaterstaat voor de rivieren (RWsOS-Rivieren). Binnen dat systeem worden voorspellingen gebruikt voor onder meer peilbeheer, waterverdeling en water management. Daarnaast wordt het model door Rijkswaterstaat via Helpdesk Water (onderdeel van het Informatiepunt Leefomgeving IPLO) beschikbaar gesteld voor secundaire doelen.

1.1 Methode

Het *sobek-rijn-j22_6-v1a2* model is ontwikkeld volgens de standaardmethodologie voor zesde-generatie 1D modellen. Deze methodologie kent de volgende uitgangspunten [Figuur 1.1](#):

- Het 1D model wordt geheel gebaseerd op het 2D model. In principe is de naamgeving van objecten, randvoorwaarden en het RTC model (tenzij niet mogelijk) identiek aan het 2D model.
- Profielen en winterbedruwheden worden afgeleid met het programma 'FM2PROF'.
- Er wordt met behulp van OpenDA gekalibreerd op 2D modelresultaten, binnen één som waarbij zowel waterstanden als de afvoerdeling wordt afgeregeld. Elke modelversie wordt opnieuw afgeleid op het 2D model dat de basis vormt voor de schematisatie.



Figuur 1.1 Standaardmethodiek afleiden 1D modellen voor de zesde-generatie. Het blokje 'Baseline' betreft sectie-informatie die als invoer van FM2PROF wordt gebruikt. Baseline wordt ook gebruikt bij het maken van het actuele 2D model, en bij de keuzes voor de schematisatie van het 1D model. Deze afhankelijkheid is in dit figuur omwille van de duidelijkheid niet weergegeven.

1.2 Software

In dit project worden verschillende soorten software gebruikt. Die staan beschreven in Tabel 1.1.

Tabel 1.1 De gebruikte software

Software	Versie	Gebruikt voor
SOBEK 3	3.7.25.55022	Simulaties en visuele inspectie
FM2PROF	2.2.5	Afleiden van profielen en ruwheden, visualisatie van resultaten
OpenDA	2.4.5	Kalibratie

1.3 Team

Het werk is uitgevoerd door het volgende team:

Naam	Organisatie	Rol
dr. ir. Koen Berends	Deltares	Product owner
dr. ir. Matthijs Gensen	HKV Lijn in Water	Modelontwikkelaar, onderzoek
Bart Maas MSc	Deltares	Modelontwikkelaar
Robert Groenewege MSc	Deltares	Modelontwikkelaar

Daarnaast hebben de volgende personen bijgedragen aan het model en dit rapport.

Naam	Organisatie
ir. William de Lange	Rijkswaterstaat WVL
ir. Dénes Beyer	Rijkswaterstaat Oost-Nederland
ir. Raymond van Renswoude	Rijkswaterstaat Oost-Nederland
ir. Thies Blokhuisen	Deltares (RWsOS Rivieren)
ir. Boyan Domhof	Deltares (RWsOS Rivieren)

2 Modelbouw

2.1 Vernieuwing en onderzoek

In 2022 is het model *sobek-rijn-j22_6-v1a1* gebouwd en opgeleverd (Berends, Domhof, & Visser, 2022). Tijdens de modelbouw zijn er vervolgvragen opgekomen die zijn op te splitsen in onderzoek gerelateerd en verbeteringen.

In dit hoofdstuk beschrijven we onderzoek naar aanpassingen van de schematisatie. In paragraaf 2.2 staat beschreven welke aanpassingen er daadwerkelijk zijn doorgevoerd in *sobek-rijn-j22_6-v1a2*. De volgende aanpassingen zijn geprogrammeerd om geüpdatet te worden:

- **Uitsluiten profiel *Twentekanaal_0.000***
De dwarsdoorsnede *Twentekanaal_0.000*, gegenereerd met FM2PROF, zorgt ervoor dat het model crasht en vereist een handmatige aanpassing om het model toch stabiel te kunnen draaien.
- **Update van SOBEK 3.7.19 naar SOBEK 3.7.25**
Deze update vergroot de maximale lengte van objectnamen in SOBEK waardoor 1D en 2D namen gesynchroniseerd kunnen worden. Daarnaast voegt het de optie *VolumeTable* toe, waarmee de rekentijd van het model verkleind kan worden.
- **Openen van het Reevediep**
Het Reevediep is een bypass ten zuiden van Kampen. Deze is in werkelijkheid geopend. Daarom moet deze in het operationele model ook worden opengezet. In *sobek-rijn-j22_6-v1a1* is het Reevediep wel aanwezig, maar staat het dicht.
- **Aanpassing lateralen rondom Lobith t.b.v. RWsOS**
Kleine aanpassing aan de ligging van lateralen om dubbeltelling bij operationeel gebruik in RWsOS-Rivieren te voorkomen.

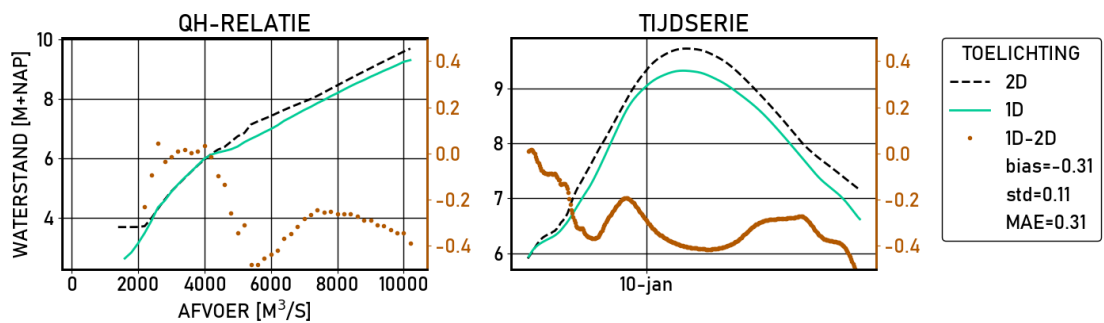
Daarnaast is verdiepend onderzoek uitgevoerd dat kan leiden tot aanpassingen aan de schematisatie of kalibratiemethodiek, op basis van de aanbevelingen uit (Berends, Domhof, & Visser, 2022):

- De verschillen op de Waal, rivierkilometers 920-940 bij de stationaire som $Q_{Lobith} = 8000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$
- Verschillen ter hoogte van de bocht bij Nijmegen in de Waal
- Verschillen als gevolg van eenzijdig aangetakte geulen en plassen
- Verschillen in het gestuwde domein bij Lobith

2.1.1 Waal (rkm 920-940) bij stationaire $Q_{Lobith} = 8.000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$

Op de Waal ontstaat er bij een afvoer van $Q_{Lobith} = 8.000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ een verschil tussen het 1D (*sobek-rijn-j22_6-v1a1*) en het 2D model (*dflowfm2d-rijn-j22_6-v1a*) met een maximale onderschatting van de waterstanden in het 1D model van 45 centimeter rond rivierkilometer (rkm) 928. Ook in de validatiesom met een dynamische afvoer tot $16.000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ is een groot verschil te zien¹ (zie Figuur 2.1).

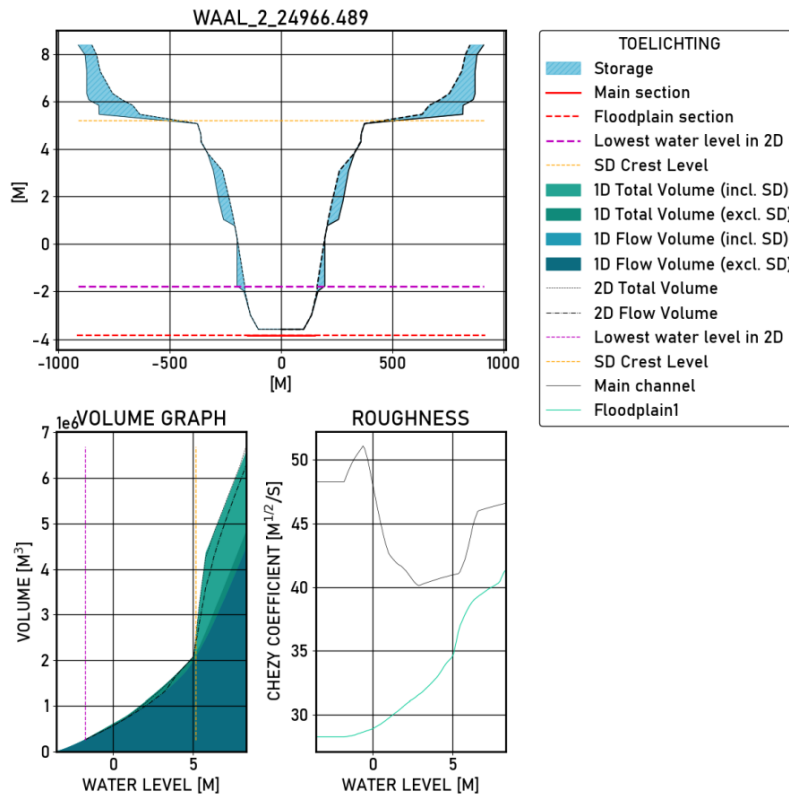
¹ $8.000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ bij Lobith is ongeveer $5.400 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ in de Waal



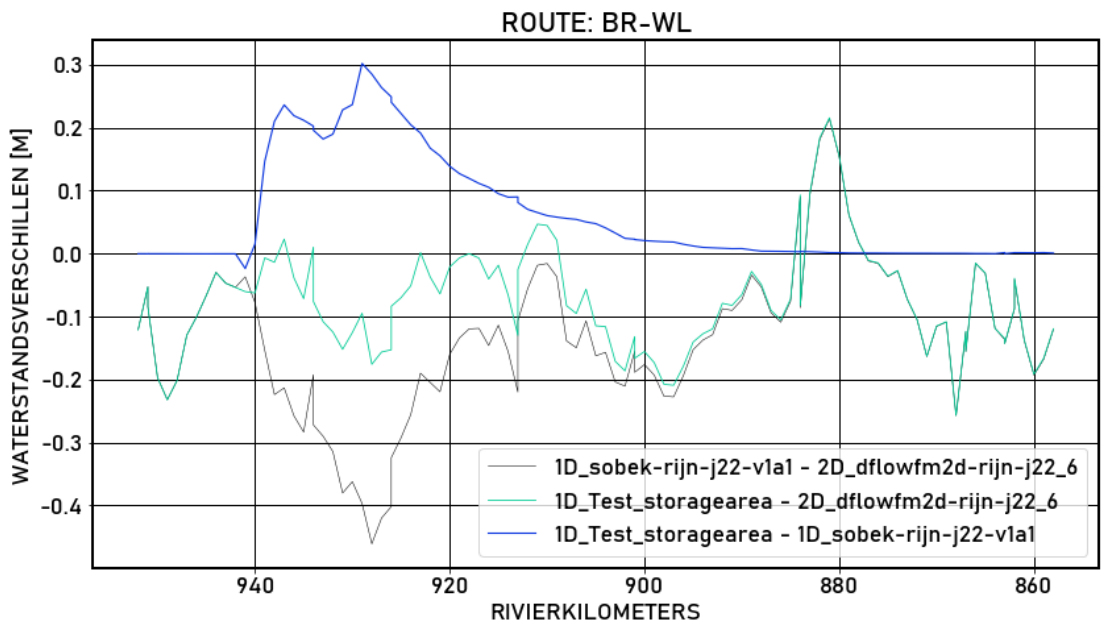
Figuur 2.1 Vergelijking tussen 2D *dflowm2d-rijn-j22_6-v1a* en het 1D *sobek-rijn-j22_6-v1a1* model bij rivierkilometer 928 op de Waal in de validatiesom D-16000

Uit bestudering van dit gebied stelden we de hypothese dat dit verschil wordt veroorzaakt door de schematisatie van (het gebied achter) de zomerkades in het 1D model. In het traject van de Waal tussen rivierkilometers 930 en 940 hebben de zomerkades een hoogte rond de 5 m+NAP. Daarachter zijn er ruime uiterwaarden die rondom zijn afgesloten met even hoge zomerdijken. Uit de 2D modelresultaten blijkt dat er veelal circulatiecellen (neren) ontstaan in dergelijke uiterwaarden. Omdat er hierdoor voldaan wordt aan het stromingscriterium (> 1 cm/s) wordt het oppervlakte achter de zomerkade geïdentificeerd als stromend (*flow area*), zie bijvoorbeeld het profiel *Waal_24966* in Figuur 2.2. Deze stroming draagt echter niet bij aan de afvoer van water (*conveyance*) en zou daarmee eigenlijk als bergend geïdentificeerd moeten worden.

Deze hypothese is getoetst door in dit traject de *flow area* handmatig volledig te veranderen in *storage area*. Dit leidt tot hogere waterstanden met een maximaal verschil van 30 centimeter ten opzichte van het *sobek-rijn-j22_6-v1a1* model en kleinere verschillen (tot 18 centimeter) ten opzichte van het 2D model ter hoogte van deze rivierkilometers (zie Figuur 2.3). Dit maakt het aannemelijk dat het grote verschil in dit traject inderdaad wordt veroorzaakt door de classificatie als stromend van het oppervlakte achter de zomerkade.



Figuur 2.2 De schematisatie van het profiel Waal_24966 (~ rkm 939) in sobek-rijn-j22_6-v1a1



Figuur 2.3 Waterstandsverschillen bij de validatiesom S8000 langs de route Bovenrijn-Waal tussen de modellen: 1D sobek-rijn-j22_6-v1a1, het 2D dflowfm2d-rijn-j22_6-v1a en het SOBEK testmodel met handmatige aanpassingen door flow area om te zetten naar storage area achter de zomerkades tussen rivierkilometers 930-940 (1D_Test_storagearea).

We bevelen echter niet aan om deze handmatige aanpassingen door te voeren in de schematisatie, omdat de uiterwaarden in dit traject bij hogere afvoeren juist wel stromend zijn.

De verdeling tussen stroomvoerend en bergend volume achter de zomerkade is dus dynamisch – afvoerafhankelijk – in 2D. SOBEK 3 kent echter geen optie om dergelijke afvoerafhankelijke aanpassingen in de schematisatie door te voeren. Daarom zal geen enkele ratio voor elke afvoer optimaal zijn.

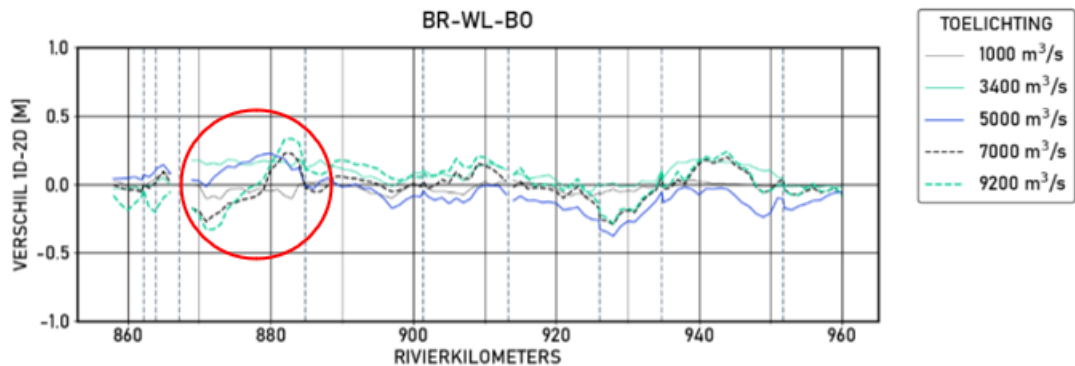
FM2PROF optimaliseert nu op basis van de hoogste afvoer. Om goed te kunnen beoordelen wat het effect is van een alternatieve optimalisatie (op het hele model) zou een aanpassing in FM2PROF moeten worden gedaan die dit mogelijk maakt. Het kunnen detecteren van dynamische ratio tussen stroomvoering en berging, en het bieden van alternatieve optimalisatieopties, is hiervoor de eerste benodigde stap. Dit is opgenomen als aanbeveling voor verder onderzoek in paragraaf 5.2.

2.1.2 Bovenstrooms van de bocht bij Nijmegen

Bij middelhoge tot hoge afvoeren onderschat *sobek-rijn-j22_6-v1a1* bovenstrooms van de bocht bij Nijmegen het verhang ten opzichte van het *dflowfm2d-rijn-j22_6-v1a* 2D model (zie Figuur 2.4). Dit is een lokale afwijking binnen het kalibratietraject Pannerdense Kop – Nijmegen haven. Omdat het verschil met 2D weer bijtrekt richting de Pannerdense kop (in Figuur 2.4 ligt dit punt geheel links) is dit niet middels kalibratie te verminderen. Er zijn hiervoor twee hypothesen (Berends, Domhof, & Visser, 2022):

- 1 Een lokale onderschatting van de stromingsweerstand gegeven door de vaste laag;
- 2 Een lokale onderschatting van de stromingsweerstand gegeven door de nevengeul Nijmegen-Lent.

Ter hoogte van de vaste laag (rkm 883-885) is er een overschatting van de waterstand in het 1D model ten opzichte van het 2D model. Dit heeft waarschijnlijk te maken met de schematisatie van de nevengeul aangezien de waterstanden met name bij de hogere afvoeren overschat worden.

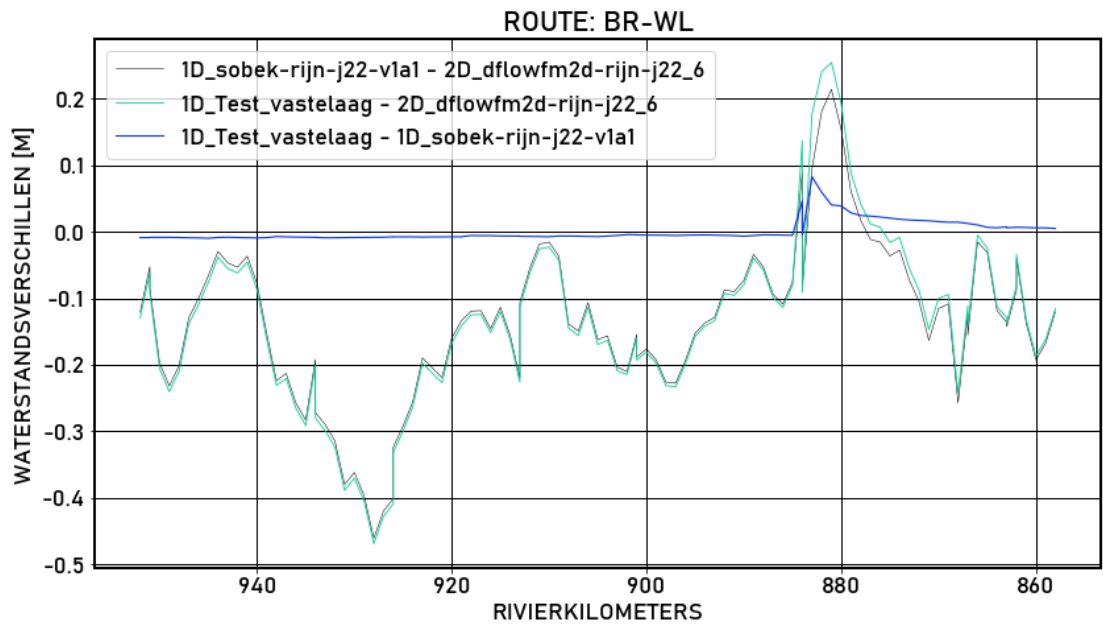


Figuur 2.4 Verschillen tussen het 1D *sobek-rijn-j22_6-v1a1* en het 2D *dflowfm2d-rijn-j22_6-v1a* model bij verschillende afvoeren in de afleidingssom. Verschil groter dan 0 representeert een hogere waterstand in het 1D model.

Analyse hypothese 1

De hypothese van de onderschatting van de ruwheid is onderzocht door deze in het traject van de vaste laag (profielen *waal_1_15365.217 t/m waal_1_16852.174*) verder te verhogen met 25%. De resultaten van de stationaire validatiesom S8000, waarin er duidelijke verschillen tussen 1D en 2D waarneembaar zijn, laten een verdere afname van het verhang zien bovenstrooms van de vaste laag (zie Figuur 2.5). De verschillen tussen de twee 1D sommen laten verschillen zien tot maximaal 8 centimeter.

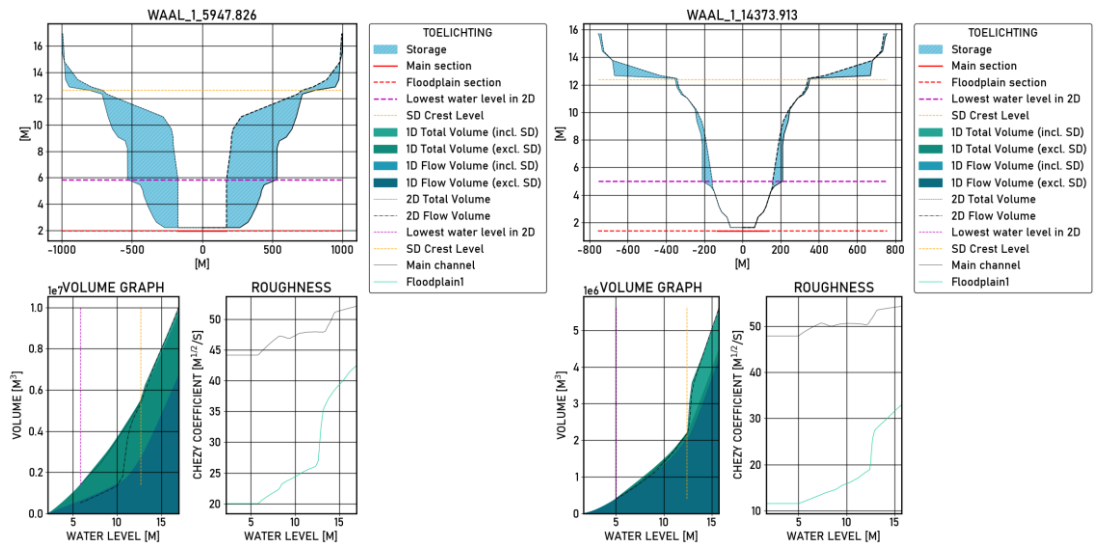
De orde grootte van de waargenomen verschillen bij S8000 (+0.20 m bij de vaste laag en - 0.25 m bovenstrooms) worden, gezien het veel kleinere effect in Figuur 2.5, waarschijnlijk niet veroorzaakt door de ruwheid van de vaste laag.



Figuur 2.5 Waterstandsverschillen bij de validatiesom S8000 langs de route Bovenrijn-Waal tussen de modellen: 1D sobek-rijn-j22_6-v1a1, het 2D dflowfm2d-rijn-j22_6-v1a en het 1D testmodel met handmatige aanpassingen aan de ruwheid van de vaste laag (+25%) (1D_Test_vastelaag).

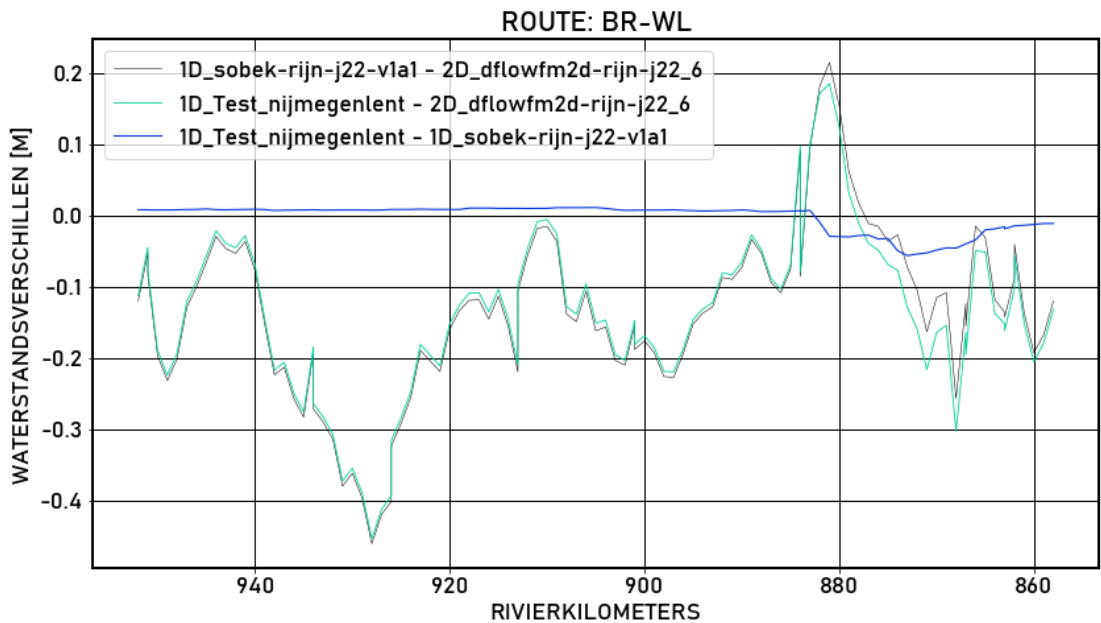
Analyse hypothese 2

De hypothese van de onderschatting van de ruwheid als gevolg van de nevengeul Nijmegen-Lent is onderzocht door de profielen en ruweden te beschouwen in de bocht bij Nijmegen en bovenstrooms daarvan. Over een afstand van ongeveer 10 kilometer bovenstrooms van Nijmegen-Lent is het effect van de nevengeul op de geproduceerde profielen duidelijk waarneembaar, enerzijds door een sterke toename in het doorstroomvolume achter de zomerkade (bijv. profiel *waal_1_14373.913*, zie Figuur 2.6), anderzijds door een sterke toename van de Chézy-coëfficiënt (lagere ruwheid) in de uiterwaarden (bijv. profiel *waal_1_5947.826*, zie Figuur 2.6), dat niet per se meer correspondeert met de overschrijding van de zomerkade. De lagere uiterwaardruwheid kan daarmee een verklaring zijn waarom het verhang in dit traject wordt onderschat in 1D.



Figuur 2.6 Uitvoer van FM2PROF van de profielen *waal_1_5947.826* en *waal_1_14373.913*.

Om deze hypothese te testen is de uiterwaardruwheid tussen de genoemde profielen aangepast naar de gemiddelde ruwheden van de 5 profielen benedenstrooms van de instroom van Nijmegen-Lent. De resultaten van de stationaire validatiesom S8000 laten voor deze afvoer juist een afname van de waterstanden zien ten opzichte van het *sobek-rijn-j22_6-v1a1* model (zie Figuur 2.7), terwijl ook bij deze afvoer het verhang in *sobek-rijn-j22_6-v1a1* te klein is. Dit maakt deze hypothese niet plausibel.



Figuur 2.7 Waterstandsverschillen bij de validatiesom S8000 langs de route Bovenrijn-Waal tussen de modellen: 1D *sobek-rijn-j22_6-v1a1*, het 2D *dflowfm2d-rijn-j22_6-v1a1* en het 1D testmodel met handmatige aanpassingen aan de ruwheid van de uiterwaarden bovenstrooms van de instroom van Nijmegen-Lent (1D_Test_nijmegentent).

Vervolganalyse – niet ruwheid, maar schematisatie als oorzaak voor probleem

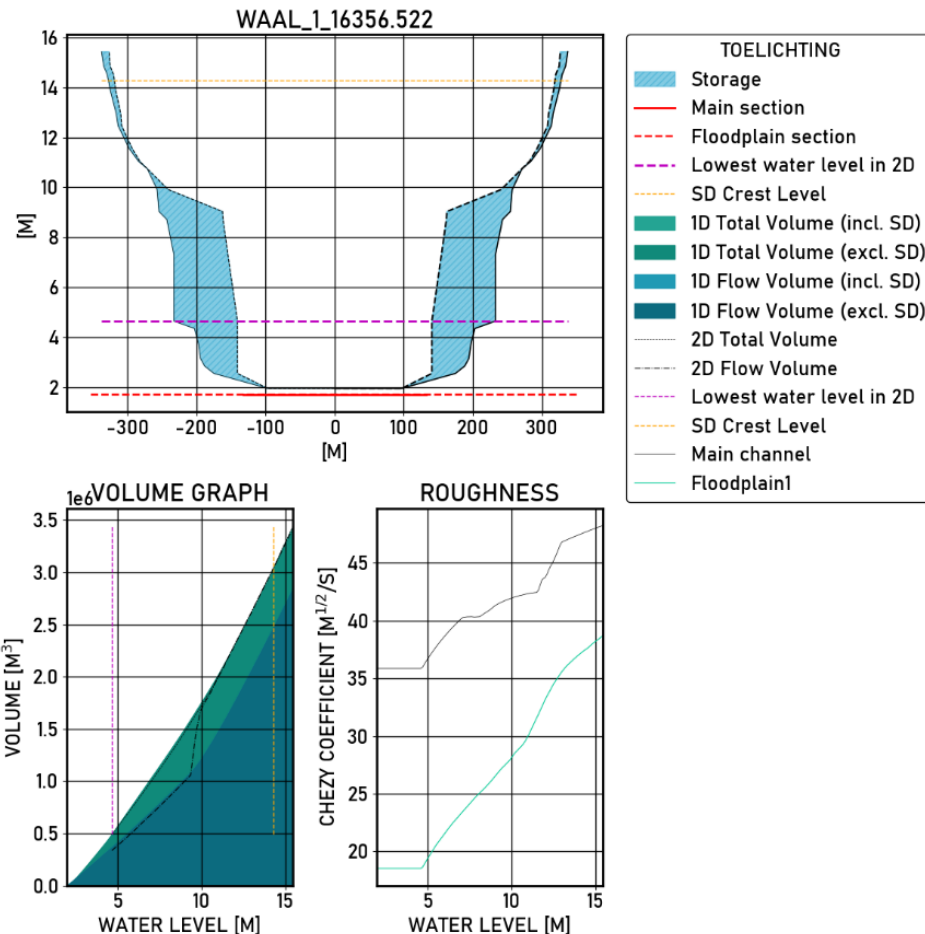
Het uitsluiten van de twee initiële hypothesen als oorzaak voor het te kleine verhang doet vermoeden dat de verschillen tussen 1D en 2D op de schematisatie zijn terug te voeren.

Het onderzoek naar de verschillen tussen 1D en 2D in het traject Pannerdensch Kop – Nijmegen geeft aanleiding om de schematisatie van de bocht van Nijmegen nader te beschouwen. Voor een profiel ter hoogte van de nevengeul Nijmegen-Lent is de uitvoer van FM2PROF weergegeven in Figuur 2.8. Het profiel kent een significante berging onderin in het dwarsprofiel. Daarnaast is er geen sprake van een significant zomerdijkeffect (gele stippellijn ligt hoog in het profiel).

Het blijkt dat het gegenereerde profiel het totale volume in 2D, bergend en stromend tezamen, goed kan reproduceren. Tot de drempel van de nevengeul Nijmegen-Lent kan ook het onderscheid tussen bergend volume (lichter gekleurde vlak voor 1D en zwarte stippellijn voor 2D) en stromend volume (donker gekleurd vlak voor 1D en zwart gestreepte lijn voor 2D) goed gereproduceerd worden. Bij de afvoeren waarbij de drempel van Nijmegen-Lent nog niet overstroomd wordt, is deze enkel benedenstrooms aangetakt en is deze daarmee volledig bergend.

In Figuur 2.8 zien we dat bij ongeveer 9 m+NAP dat het bergend volume in 2D wordt omgezet naar stroomvoerend volume. De reden hiervoor is waarschijnlijk dat de stroomsnelheden in de nevengeul door duikers in de inlaatdrempel groter worden, waardoor het stroomvoeringscriterium wordt overschreden. Dit is dus op een lager niveau dan de hoogte van de instroomdrempel zelf (10.5 m+NAP). In het 1D model wordt dit niet gereproduceerd; het totale volume blijft overeenkomen met 2D, maar het stromend volume wordt (sterk) onderschat doordat het bergend volume niet omgezet wordt in stromend volume.

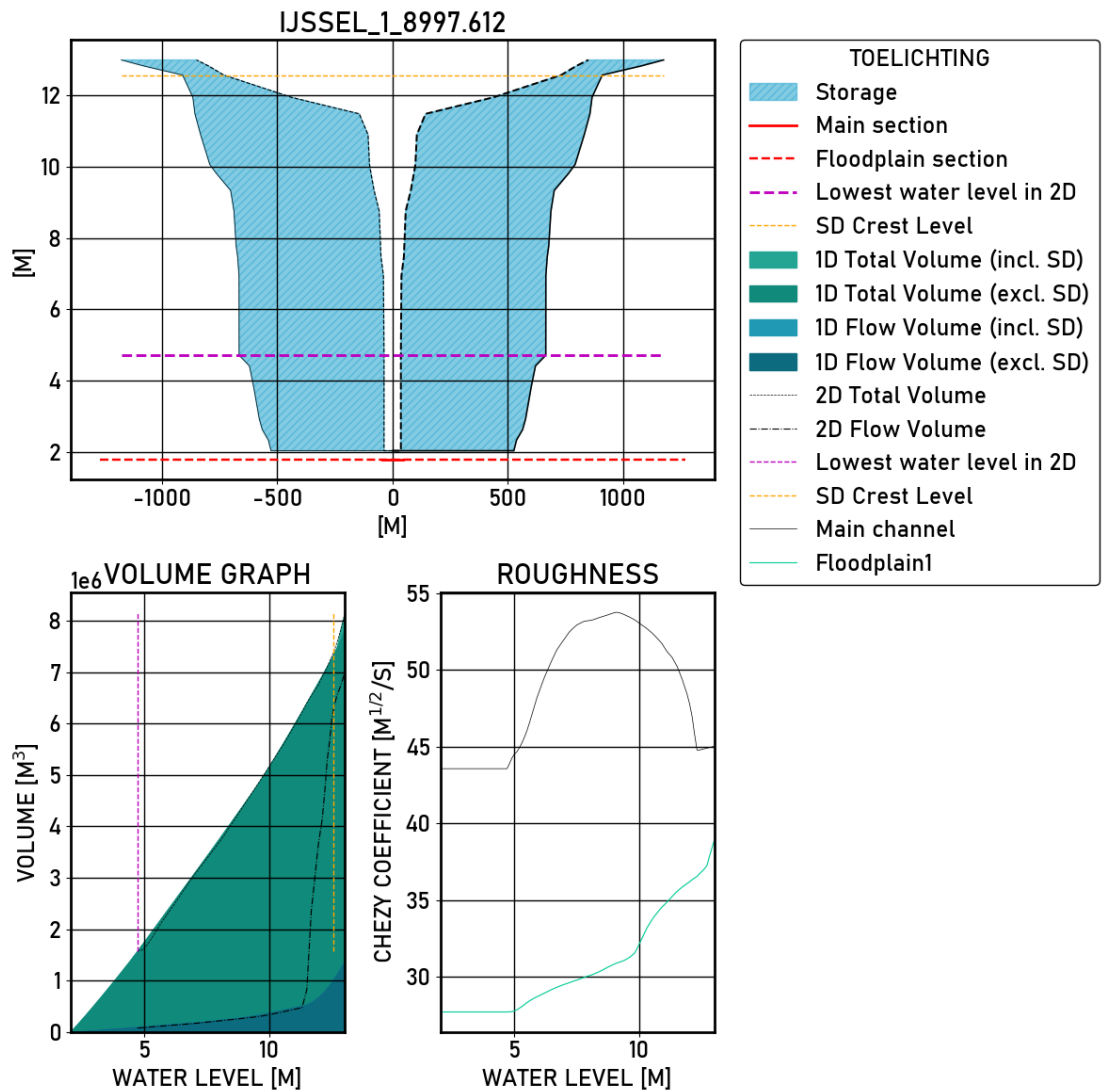
Door de onderschatting van het stromend volume bij hoge afvoeren wordt het waterstandsverlagende effect van de nevengeul Nijmegen-Lent onderschat in het 1D model ten opzichte van het 2D model. Dit resulteert bij hoge afvoeren in te hoge waterstanden in het 1D model (zie Figuur 2.4).



Figuur 2.8 Uitvoer van FM2PROF van het profiel waal_1_16356.522. Het probleem is zichtbaar in de figuur linksonder, waar het 2D Flow volume (zwarte stippellijn) rond 9 meter opeens toeneemt, maar deze toename niet zichtbaar is in het totale volume. Dit effect duidt op een plotseling verschil in de ratio tussen berging en stroomvoering in het profiel. Omdat dit niet een toename is van het totale volume, kan deze sprong niet worden gemodelleerd middels de 'zomerdijkoptie'.

Hetzelfde probleem speelt ook bij andere locaties

Een dergelijke onderschatting van het stromend volume bij hogere afvoeren in het 1D model is ook waarneembaar op andere locaties en bij andere profielen, voornamelijk bij eenzijdig aangetakte geulen (strangen) en plassen. Een voorbeeld hiervan is de Rhederlaag in de Boven-IJssel, zie het profiel *ijssel_1_8997.612* in Figuur 2.9. Tot een waterstand van ongeveer 11,5 m+NAP is er sprake van een zeer groot bergend volume in zowel 1D als 2D. In 2D wordt dit volume stroomvoerend bij hogere waterstanden. Deze omzetting kan niet worden gereproduceerd in 1D. Het effect op de waterstanden is echter kleiner dan bij Nijmegen-Lent vanwege de relatief kleinere afvoer(capaciteit) van de Rhederlaag ten opzichte van de hoofdgeul.



Figuur 2.9 Uitvoer van FM2PROF van het profiel ijssel_1_8997.612

Een onderschatting van het stromend volume kan dus bij hoge afvoeren voor te hoge waterstanden in 1D zorgen. De overschatting van de waterstanden neemt toe met een toenemende afvoer (capaciteit) door de geul/plas. In de langsprofielen van de waterstandsverschillen tussen 1D en 2D is dit waarneembaar met een plotse sprong in de waterstand (zoals tussen rivierkilometer 880 en 885 op de Waal, in Figuur 2.4).

Naar aanleiding van bovenstaande vaststelling, hebben wij alle profielen nagelopen op het voorkomen van hetzelfde volume-effect – namelijk transitie van bergend naar stroomvoerend. Op basis van deze analyse zien wij een vergelijkbaar effect op de volgende locaties:

- Millingerwaard (Waal rkm 873)
- Nevengeul Nijmegen-Lent (Waal rkm 885)
- Plassen bij IJzendoorn (Waal rkm 908)
- Strang/geul bij Heesselt (Waal rkm 927)
- Waalhaven bij Woudrichem (Waal rkm 951)
- Nieuwe Haven bij Arnhem (Nederrijn rkm 881)
- Voorhaven bij Stuw Driel (Nederrijn rkm 891)
- Heterensche Waarden (Nederrijn rkm 896)
- Plassen bij Maurik (Nederrijn rkm 925)

- Voorhaven Stuw Hagestein (Lek rkm 946)
- Rhederlaag (IJssel rkm 888)
- Havikerwaard (IJssel rkm 891-905)
- Strangen bij Deventer (IJssel rkm 945)

Conclusie

Het lokale probleem bij Nijmegen-Lent wordt veroorzaakt door een tekortkoming in de schematisatie van 2D effecten in een 1D model. Eenzijdig aangetakte geulen en plassen en tweezijdig aangetakte geulen met een (hoge) drempel blijken niet goed geschematiseerd te kunnen worden doordat bergend volume in SOBEK 3 niet afvoerafhankelijk omgezet kan worden in stroomvoerend volume. Dit zorgt op diverse locaties voor een overschatting van de waterstanden in 1D. Van enkele locaties was reeds bekend dat deze notoir moeilijk te modelleren zijn, zoals de Rhederlaag (Berends, Domhof, & Visser, 2022).

Om deze locaties beter te kunnen schematiseren zijn er technisch gezien drie opties, die echter ook bezwaren kennen en (fysisch) onwenselijk zijn.

- 1 Een aanpassing aan FM2PROF.
 - a FM2PROF worden afgeregeld op het stroomvoerend volume van de 2D berekening². Dit zorgt er echter voor dat het bergend volume en daarmee het totale volume wordt overschat en er geen sprake meer is van een sluitende waterbalans tussen het 1D en 2D model. Dit is (fysisch) onwenselijk.
 - b 2D cellen die bij lage waterstanden bergend zijn, maar bij hogere afvoeren meestromen, pas aan het 1D volume toe te kennen middels de ‘zomerdijkoptie’ zodra ze meestromen. Hiermee is er bij lage afvoeren te weinig bergend volume, maar wordt het effect van meestromen van een geul mogelijk wel goed weergegeven. Na een aanpassing aan FM2PROF om dit mogelijk te maken, kan geëvalueerd worden of deze afweging wenselijk is.
- 2 Een aanpassing aan de schematisatie door geulen en plassen te schematiseren middels een extra tak. Hiermee kan het onderscheid en de overgang tussen bergend en stromend volume beter worden geschematiseerd. Dit zorgt echter voor meer complexiteit en subjectiviteit (waar ligt de grens om wel of niet voor een extra tak te kiezen). Bovendien maken parallelle, relatief korte takken het model aanzienlijk lastiger te kalibreren, omdat zowel de afvoerverdeling over de twee takken als de ruwheid kan variëren.
- 3 Een softwarematige aanpassing aan de hydraulische modelsoftware voor waterstands- of afvoerafhankelijke berging in het profiel.

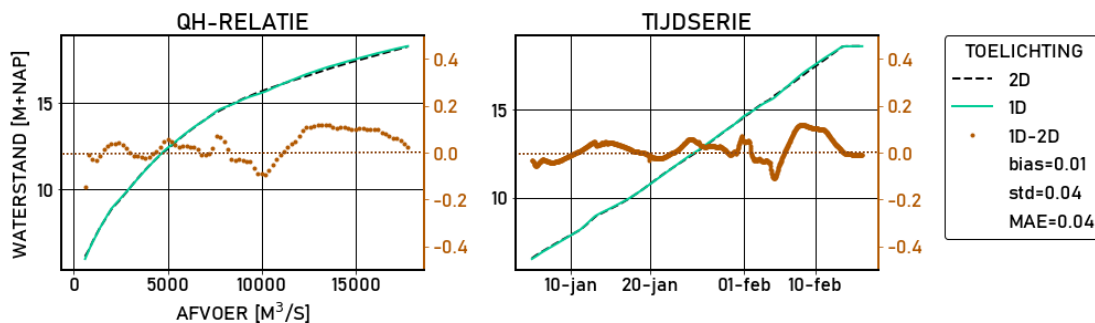
We bevelen aan om voor het *sobek-rijn-j22_6-v1a2* geen aanpassingen in de schematisatie door te voeren. Een zorgvuldige afweging van de verbeteropties is nodig met daarnaast ook de optie dat een verbetering van de schematisatie in 1D niet mogelijk is. De huidige lokale afwijking ten opzichte van het 2D model bij Nijmegen-Lent en andere locaties in *sobek-rijn-j22_6-v1a2* is derhalve een bekende tekortkoming inherent aan het 1D model.

2.1.3 Het toevoegen van een afvoerniveau in het gestuwde domein

In het gestuwde domein treden er bij Lobith verschillen op in de orde van 5 centimeter tussen het 1D (*sobek-rijn-j22_6-v1a1*) en het 2D (*dflowfm2d-rijn-j22_6-v1a*) model op, zowel in de kalibratiesom (zie Figuur 2.10) als in de validatiesommen S_1020 en S_2000. De waterstanden in dit domein (tussen 1600 m³s⁻¹ en 2800 m³s⁻¹) zijn belangrijk voor de sturing van de stuwen in de Nederrijn-Lek. De stuwsturing is daardoor gevoelig voor relatief kleine afwijkingen op de waterstand.

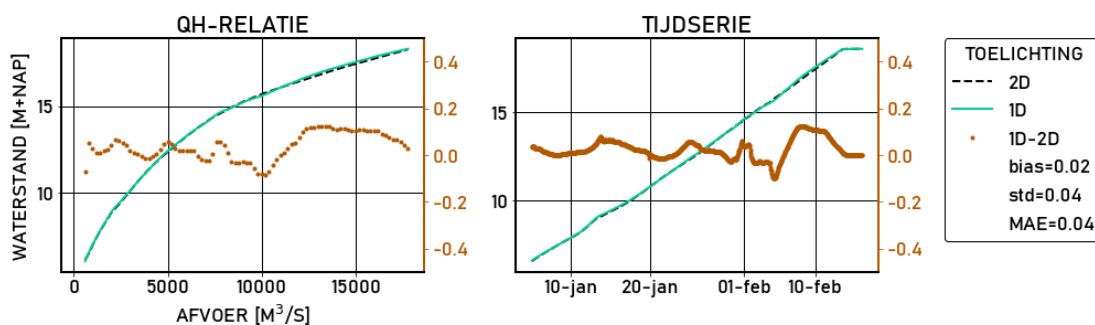
² Middels de parameter SDOptimisationMethod = 0, zie gebruikershandleiding: https://deltares.github.io/Fm2Prof/chapters/technical_manual/settings.html

BR_862.2_R_LMW-H_Lobith



Figuur 2.10 De waterstanden en statistieken (*std*=standaardafwijking, *MAE* = mean absolute error) bij station Lobith in de kalibratiesom.

BR_862.2_R_LMW-H_Lobith



Figuur 2.11 De waterstanden en statistieken (*std*=standaardafwijking, *MAE* = mean absolute error) bij station Lobith in de kalibratiesom met een extra afvoerniveau.

Tussen kalibratie van het 1D en 2D model zitten verschillen. In tegenstelling tot 2D, worden in 1D alle afvoerniveaus en alle riviertakken in één keer gekalibreerd. Hierdoor krijgt het optimalisatie-algoritme alle parameters tegelijk aangeboden om een globale oplossing te vinden. Het algoritme zal al die parameters dus aanpassen om het gemiddelde gedrag van de gehele simulatie goed te krijgen. Zie paragraaf 3.1.1 voor een beschrijving van deze methode.

In de kalibratie van het 1D model worden de ruwheden middels 5 afvoerniveaus gekalibreerd (zie Tabel 2.1). In het afvoerdomein waar de Nederrijstuwen actief zijn (tussen afvoerniveau 1 en 2 van het 1D model) ligt geen kalibratiepunt. Een extra afvoerniveau in het gestuwde domein (zie (6) in Tabel 2.1) kan de overeenkomst tussen 1D en 2D gedurende stuwning mogelijk verbeteren. De verwachting is dat het toevoegen van een afvoerniveau de kalibratie verbeterd, maar dat dit mogelijk kan leiden tot mindere validatieresultaten (zie paragraaf 3.1.1 voor de theoretische achtergrond hiervan).

Daarom hebben we getest of een extra afvoerniveau leidt tot betere validatieresultaten. Een vergelijking van Figuur 2.10 en Figuur 2.11 laat zien dat een extra afvoerniveau de modelresultaten bij Lobith niet verbetert, de bias neemt immers toe en ook de waterstandsverschillen met 2D in het gestuwde domein nemen toe. Ook bij andere LMW-stations verbeteren de modelresultaten niet significant en verslechteren deze zelfs op enkele stations, zie Tabel 2.2.

De gekalibreerde ruwheden (Figuur 2.12) met het zesde afvoerniveau laten zien dat in het gestuwde domein de gekalibreerde ruwheden van het toegevoegde niveau ($2.080 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ bij Lobith) niet ver afwijken van de ruwheden voor de twee omliggende afvoerniveaus.

Dit geeft een indicatie dat het extra niveau in het gestuwde domein niet veel toevoegt en een indicatie dat er weinig mogelijkheden tot optimalisatie zijn in dit domein via kalibratie. Daarom wordt geen aanpassing aan de huidige afvoerniveaus geadviseerd.

Daarentegen is in discussie over dit onderzoek met Rijkswaterstaat Oost-Nederland wel opgemerkt dat de huidige keuze voor het vijfde afvoerniveau mogelijk niet optimaal zijn gelet op de afvoerverdeling over de takken bij 16000 m³s⁻¹. Momenteel is het afvoerniveau te hoog voor de Waal, en te laag voor de IJssel, wat met name op de IJssel kan leiden tot onnauwkeurigheid bij extrapolatie naar zeer hoge afvoeren. Onderzocht kan worden of het aanpassen van de hoogste niveaus zodat deze de afvoerverdeling beter weergeven leidt tot betere validatieresultaten. Deze aanbeveling is opgenomen in paragraaf 5.2.

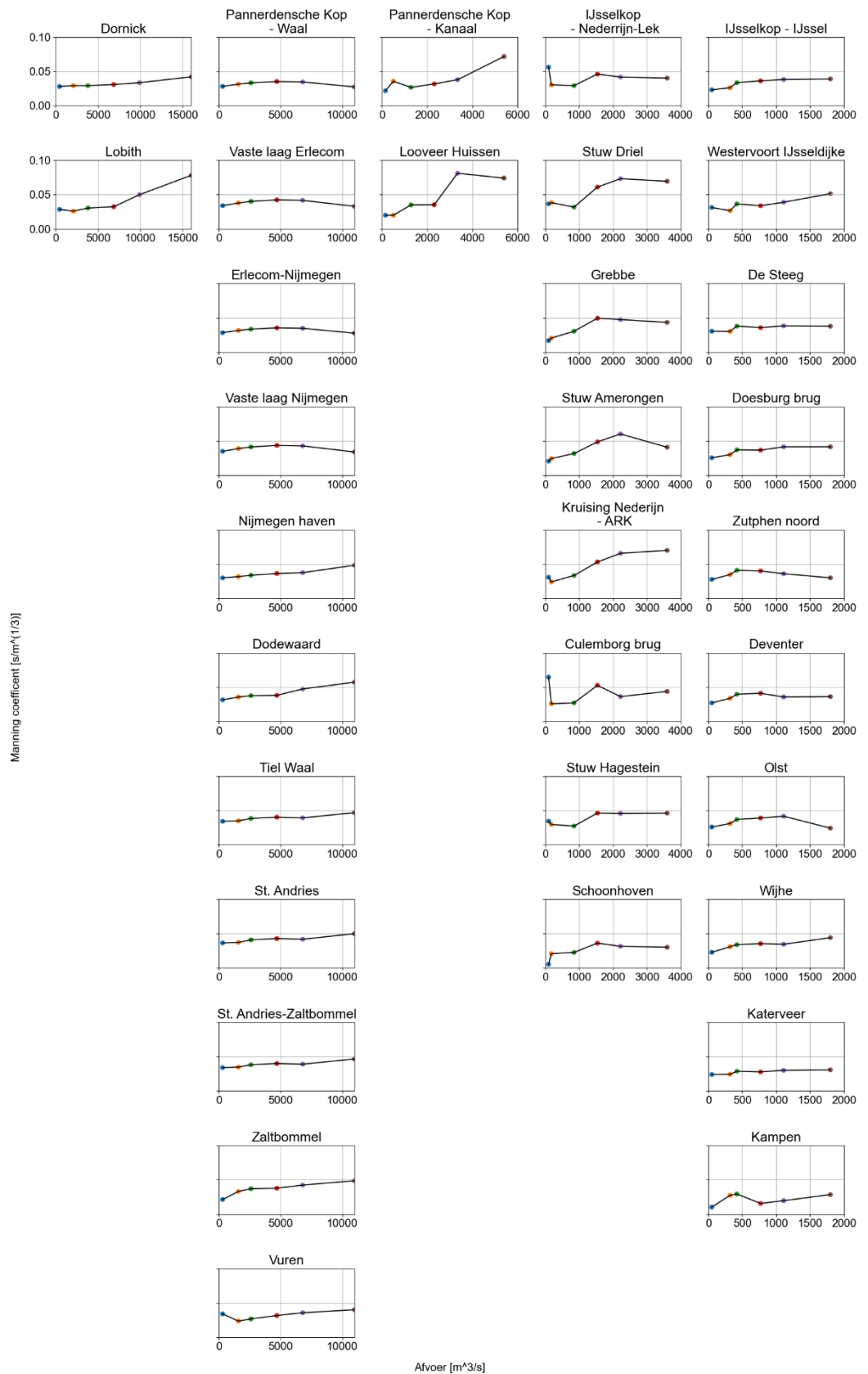
Tabel 2.1 Kalibratie afvoerniveaus gebruikt in het sobek-rijn-j22_6-v1a1 model versus zoals gebruikt in kalibratie van het dflowfm2d-j19 model. De waardes kun afwijken tussen 1D en 2D. Het toevoegen van een zesde kalibratieniveau in het SOBEK 3-model is in deze paragraaf onderzocht.

Afvoerniveau	Bovenrijn		Waal		Pannerdensch Kanaal		Nederrijn/Lek		IJssel	
	1D	2D	1D	2D	1D	2D	1D	2D	1D	2D
1	450	1000	300	800	150	200	100	-	50	175
2	3800	2080	2600	1580	1280	600	850	300	420	320
3	6850	4000	4700	2700	2310	1300	1540	750	770	520
4	9900	8000	6800	5350	3340	2650	2220	1540	1110	1100
5	16000	11800	11000	7200	5400	4200	3600	2350	1800	1725
(6)	2080		1580		500		180		320	

Tabel 2.2 Gemiddelden van de bias bij alle LMW stations in de validatiesommen. De rood gemarkeerde afwijkingen zijn niet representatief, omdat deze sterk worden beïnvloedt door het station

IJ_879.6_R_LMWH_Hondsbroeksche-Pleij-IJ,. Dit station is namelijk per abuis vergeleken met een station dat in het 2D model op dezelfde locatie ligt (IJ_879.6), maar niet in de hoofdgeul. Hierdoor is de vergelijking bij afvoeren waarin het winterbed niet meestroomt onjuist. Dit station is geen kalibratiestation, en is dus niet gebruikt om ruwheden af te regelen.

	BR		WL		PK		NR		LE		IJ	
	5Q	6Q	5Q	6Q	5Q	6Q	5Q	6Q	5Q	6Q	5Q	6Q
Kalibratie	-0.02	-0.02	-0.04	-0.04	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	-0.04	-0.04
D_6000	0.03	0.04	0.01	0.01	0.03	0.04	0.06	0.06	0.03	0.03	0.03	0.05
D_8000	0.02	0.01	-0.03	-0.03	0.05	0.05	0.10	0.11	0.07	0.08	0.04	0.04
D10000	-0.05	-0.06	-0.07	-0.07	0.02	0.01	0.05	0.05	0.04	0.04	0.05	0.05
D13000	-0.06	-0.06	-0.04	-0.04	0.00	-0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.03	0.03
D16000	-0.08	-0.08	-0.04	-0.04	0.00	-0.01	0.03	0.03	0.01	0.00	0.02	0.02
S_600	0.04	0.06	-0.03	-0.02	-0.17	-0.08	-0.04	0.05	-0.03	-0.01	-0.35	-0.39
S_1020	0.03	0.03	0.02	0.01	-0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.01	-0.20	-0.25
S_2000	0.04	0.11	-0.05	-0.01	-0.02	0.03	0.00	-0.01	0.00	-0.01	-0.16	-0.05
S_4000	-0.01	0.00	-0.04	-0.06	-0.04	-0.04	0.06	0.04	0.07	0.07	-0.08	-0.09
S_6000	0.03	0.03	0.02	0.02	0.09	0.09	0.10	0.12	0.02	0.03	0.14	0.13
S_8000	-0.11	-0.12	-0.19	-0.19	-0.04	-0.06	-0.16	-0.15	-0.05	-0.02	-0.03	-0.03
S10000	-0.20	-0.20	-0.14	-0.14	-0.04	-0.05	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04
S13000	-0.01	-0.01	0.05	0.06	-0.03	-0.04	0.04	0.04	-0.02	-0.03	-0.04	-0.04
S16000	-0.08	-0.07	-0.08	-0.08	0.02	0.02	0.06	0.06	0.00	0.00	0.04	0.02



Figur 2.12 Gekalibreerde zomerbed ruwheidsfuncties per ruwheidstraject als functie van afvoer van de testcase met zes afvoerniveaus..

2.1.4 Veel stroomvoering laag in het profiel

Tijdens operationeel gebruik van *sobek-rijn-j22_6-v1a1* is lokaal een negatief verhang ('omhoogstromend water') waargenomen ter hoogte van vluchthaven IJzendoorn (zie Figuur 2.13).



Figuur 2.13 De Waal ter hoogte van IJzendoorn. Van belang zijn de twee aangetakte plassen aan weerszijde van de hoofdgeul.

Uit bestudering van de door FM2PROF gemaakte profielen (m.n. "waal_1_40147.826") blijkt dat de 'Main Section Width' – de breedte waarover de zomerbedruwheid geldt – aanzienlijk groter is dan bij omliggende profielen. Op dit stuk is een breedte van 250-300 meter normaal, terwijl dit profiel een breedte heeft van 635 meter (zie Figuur 2.14).



Figuur 2.14 Dwarsprofiel waal_1_40147.826

Hierdoor is er lokaal een breder en gladder profiel dat vlak daarna weer smaller wordt. We zien hier ook een plotseling afname van de stroomsnelheid met een factor 2. Een dergelijke afname in kinetische energie moet gepaard gaan een toename in potentiële energie dus opstuwung. Die lokale opstuwung zien we, met kennis van nu, ook terug in de rapportage (Berends, Domhof, & Visser, 2022). In bepaalde omstandigheden zien we zelfs dat dit kan leiden tot een kleine en tijdelijke omkeer van het verhang.

De reden dat de zomerbedbreedte hier zo breed is, heeft te maken met twee ontwerpkeuzes in FM2PROF ten aanzien van het bepalen van de zomerbedbreedte en het bepalen van bergend volume.

De zomerbedbreedte wordt in principe gelijk genomen aan de sectiebreedte uit het Baseline-polygoon. Er worden echter een paar checks uitgevoerd die nagaan of daarmee een valide SOBEK 3 profiel aangemaakt kan worden. Een van die checks is dat de zomerbedbreedte niet kleiner mag zijn dan de kleinste stroomvoerende breedte. Deze check bij invoering van *sobek-rijn-j22_6-v1a1* toegevoegd, omdat bleek dat SOBEK 3 de zomerbedruwheid negeert als de zomerbedbreedte kleiner is dan de kleinste breedte. Dat leidde in de pilot tot flinke lokale opstuwung – een aanzienlijk groter probleem dan wat we nu zien. Bij dit profiel is de zomerbedbreedte zo groot, omdat de kleinste stroomvoerende breedte groot is.

De vervolgvraag is waarom de stromende breedte zo groot is ter hoogte van dit profiel. De oorzaak hiervan is dat verschillende 2D cellen in de aangetakte plas op de eerste tijdstap in de 2D berekening het stromingscriterium overschrijden. Omdat de plas dieper is dan de rivier zelf, hebben we daardoor veel stroomvoering laag in het profiel.

Omdat deze profielen het gevolg zijn van de wijze waarop profielen worden gemaakt is er geen pasklare oplossing.

- **Forceren van een smaller profiel.** Als er dwarsprofielpunten (ZW punten) aanwezig zijn met een breedte van de sectie, wordt de zomerbedsectie door de validiteitscontrole niet kunstmatig vergroot. Dit kan, in theorie, op zo'n manier worden gedaan dat de geometrie zelf niet significant verandert. Het voordeel hiervan is dat de gladde zomerbedruwheid niet over de gehele breedte wordt opgelegd. Het nadeel is dat de veel ruwere winterbedruwheid over een significant deel van de breedte wordt opgelegd waardoor de gemiddelde ruwheid ter plaatse van het profiel veel ruwer is dan omliggende profielen. Dit leidt ook tot opstuwung, maar door een ander proces.
- **Aanpassen van de stroomvoeringscriteria.** Men kan ook argumenteren dat de aangetakte plassen (zie Figuur 2.13) laag in het profiel helemaal niet meestromend behoren te zijn. Door andere criteria mee te nemen om stroomvoering te bepalen – bijvoorbeeld de richting van de stroming of waterstandsafhankelijkheid van berging – kan dit mogelijk worden verholpen.

Wij adviseren geen handmatige aanpassing door te voeren, noch een smallere zomerbedbreedte te forceren. De duurzamere oplossing is om aanvullende stroomvoercriteria te bestuderen in het FM2PROF programma – in samenhang met andere in dit rapport benoemde opmerkingen.

2.2 Aanpassingen aan de schematisatie

2.2.1 Uitsluiten van profiel *Twentekanaal_0.000*

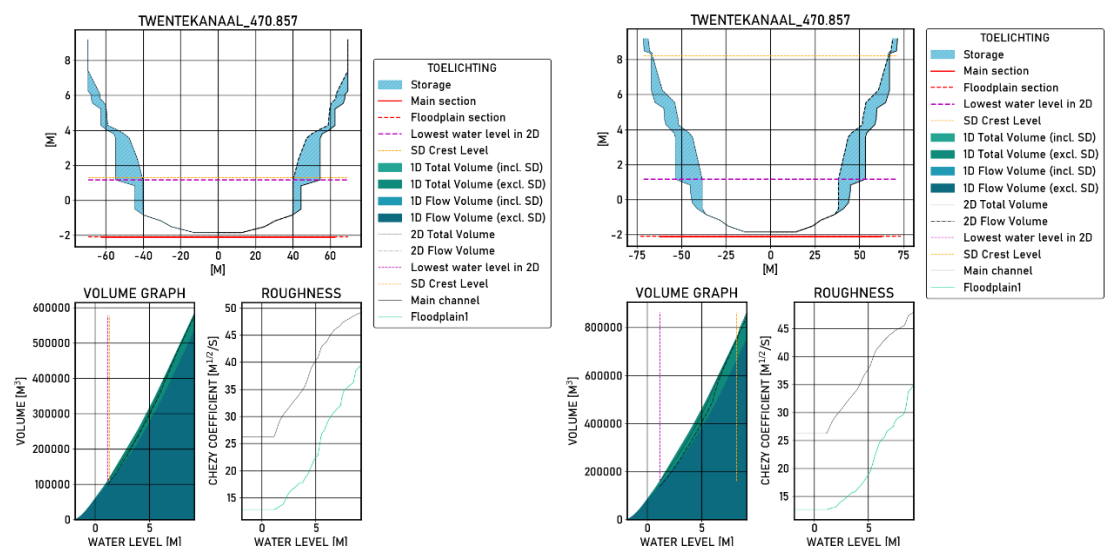
De dwarsdoorsnede *Twentekanaal_0.000*, gegenereerd met FM2PROF, zorgt ervoor dat het model crasht en vereist een handmatige aanpassing om het model toch stabiel te kunnen draaien.

De reden hiervoor is dat het bodemniveau hoog is, omdat het zeer dicht bij het Eefde Sluiscomplex wordt gegenereerd. Daarnaast leiden negatieve laterale onttrekkingen op deze locatie tot negatieve dieptes. Om dit te voorkomen is een handmatige aanpassing gebruikt in *v1a1* in de vorm van het invoeren van een Preissmanslot in het profiel. Deze handmatige oplossing heeft echter niet de voorkeur.

Daarom is bij het genereren van nieuwe profielen is de locatie *Twentekanaal_0.000* in het invoerbestand *BranchRuleFile*³ van FM2PROF invoerbestand uitgesloten. Hierdoor is de lengte van de profiellocatie *Twentekanaal_470.86* aangepast van 470.86 naar 706.29, omdat dit dwarsprofiel door het ontbreken van *Twentekanaal_0.000* een groter gebied beschrijft.

Door het uitsluiten van profiel *Twentekanaal_0.000* verandert de geometrie van het profiel *Twentekanaal_470.86*. Deze neemt deels geometrische karakteristieken over van het voormalig profiel *Twentekanaal_0.000*. Dit resulteert in een aan weerszijde 2 meter breder profiel met hogere volumes en lagere weerstandswaarden dan in *sobek-rijn-j22_6-v1a1*.

Vervolgens is voor alle standaardberekeningen de nieuwe aanpassing doorgerekend en zijn er geen bijzonderheden aangetroffen. Bij alle standaardberekeningen is de simulatie zonder crashes verlopen met een maximale afwijking voor de maximale waterstand en afvoer in de orde van 10^{-5} en daarmee niet significant geacht.



Figuur 2.15 Vergelijking van *Twentekanaal_470.86* tussen voor (links) en na (recht) het uitsluiten van *Twentekanaal_0.000*.

2.2.2 Update naar SOBEK 3.7.25

In het *sobek-rijn-j22_6-v1a1* model hebben meerdere objecten een aangepaste naam ten opzichten van het Rijntakken 2D D-HYDRO model. Dit komt doordat er vanuit SOBEK 3.7.19 een restrictie van de maximale lengte van de namen wordt opgelegd. In januari 2023 is de SOBEK versie 3.7.25 uitgebracht waar deze restrictie niet meer van toepassing is en de naamgeving tussen 1D en 2D dus gelijk getrokken kan worden.

Daarnaast heeft SOBEK 3.7.25 de optie *VolumeTable* in het *.md1d* bestand. Met deze optie worden de reketijden significant korter (Berends, Domhof, & Visser, 2022). Zie onderstaand testblok voor meer informatie over deze optie.

³ Dit is een invoerbestand van het hulpprogramma 'GenerateCrossSectionLocationFile', waarmee op basis van de 1D schematisatie automatisch dwarsprofiellocaties worden vastgesteld. Met dit invoerbestand kan worden afgeweken van de regel om in principe op elk rekenpunt een dwarsprofiel te leggen.

Door deze update zijn restart files, die gemaakt zijn met een oudere software versie, niet meer geldig. Het gebruik van oude restart files zal leiden tot een crash van de modelberekening.

Volumetabel optie

Tijdens simulatie berekent SOBEK op basis van de dwarsprofielen en de berekende waterstand het watervolume per rekencel. Deze berekening is relatief zwaar.

Als de volumetabeloptie aanstaat, wordt tijdens de initialisatie van de berekening per rekenpunt een volumetabel opgezet. Deze tabel wordt tijdens de simulatie als *look-up table* gebruikt om bij een gegeven waterstand het bijbehorende volume in de knoop te berekenen.

Deze optie bespaart rekentijd, omdat voor het bepalen van het volume in een knoop de som van het totale oppervlak maal de halve taklengte per in- en uitgaande tak moet worden bepaald. Deze gegevens komen nu in een tabel te staan, die ook nog eens equidistant is. Hierdoor is geen zoekalgoritme nodig is.

Deze berekening is veel sneller, maar minder exact doordat tussen de steunpunten in een lineaire interpolatie wordt uitgevoerd. Dit heeft vooral effect bij een grote afstand tussen steunpunten (*VolumeTableIncrement*). Wij raden een afstand van 1 cm aan.

Deze update omvat twee aanpassingen:

- Naamgeving van objecten die door beperkingen in eerdere SOBEK versies niet gelijk kon zijn aan 2D nu overeenkomstig maken met 2D.
- Toevoegen van de nieuwe optie *VolumeTable* aan Flow1D.md1d bestand waarmee modellen aanzienlijk sneller kunnen rekenen.

Voor 33 objecten (structures, boundary conditions, lateral locations) bleek dat de namen in 1D niet overeenkwamen met de naamgeving gebruikt in het Rijn 2D model. Deze zijn in alle desbetreffende bestanden aangepast, zowel dflow1d als RTC. Na deze aanpassing draait de som stabiel in SOBEK 3.7.25, met dezelfde uitkomsten als voorheen. De lijst met de aangepaste objectnamen is opgenomen in Bijlage A.

In het Flow1D.md1d bestand zijn de onderstaande regels toegevoegd om gebruik te maken van de optie *VolumeTables*. Vervolgens is lokaal een validatiesom gedraaid (D_6000) met een tijdstap van 5 minuten en simulatieperiode van 35 dagen. Met deze optie aan bleek de simulatie ongeveer 10 seconde sneller te zijn dan wanneer deze niet aan stond (zie Tabel 2.3).

```
[VolumeTable]
  UseVolumeTables      = 1
  WriteVolumeTables    = 1
  ReadVolumeTables     = 1
  VolumeTableFile      = output/storage.nc
  VolumeTableIncrement = 0.01
  ExtraHeight          = 0.0
```

Tabel 2.3 Rekensnelheid SOBEK versie en met/zonder optie VolumeTables voor een validatie som D_6000

SOBEK 3.7.19	SOBEK 3.7.25 (zonder VolumeTables)	SOBEK 3.7.25 (met VolumeTables)
45 s	40 s	30 s

Vervolgens is voor alle standaardberekeningen de nieuwe aanpassing doorgerekend en zijn er geen bijzonderheden aangetroffen. Bij alle standaardberekeningen is de simulatie zonder crashes verlopen met een maximale afwijking voor de maximale waterstand in de orde van 10^{-5} en afvoer in de orde van 10^{-3} en daarmee niet significant geacht.

Belangrijk: wanneer gebruik wordt gemaakt van Restartfiles dienen deze opnieuw aangemaakt te worden in SOBEK 3.7.25. Restartfiles uit oudere SOBEK 3-versies zijn niet meer bruikbaar na deze update.

Belangrijk: De VolumeTable functionaliteit wordt nog niet ondersteund in DeltaShell (de grafische interface (GUI) van SOBEK 3). Dit model kan daardoor alleen via de DIMR gedraaid worden.

2.2.3 Openen van Reevediep

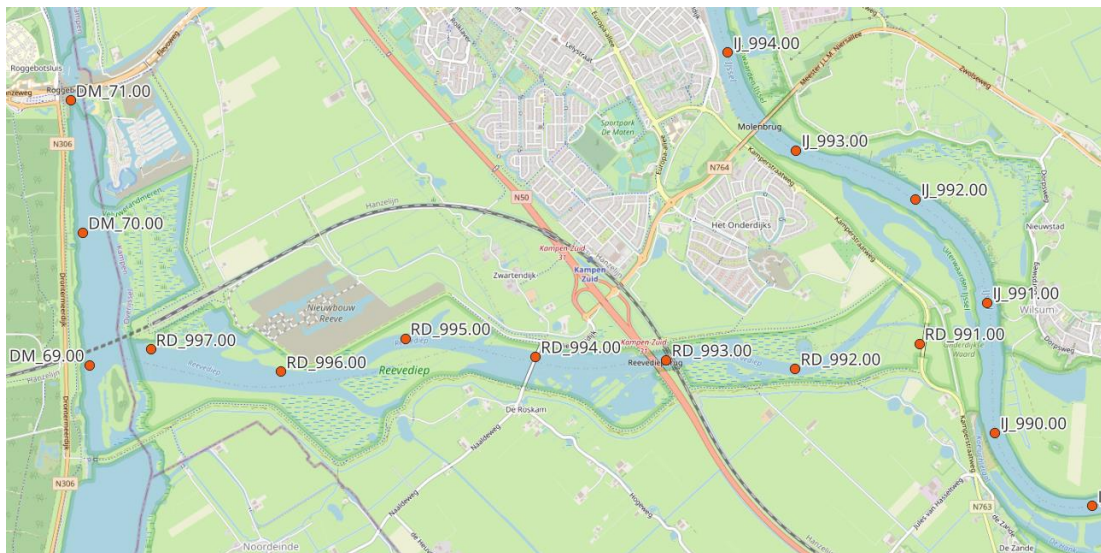
Het Reevediep is een bypass vanuit de IJssel bij Kampen naar het Drontermeer. Het project is in 2019 opgeleverd waarbij de verbinding met de IJssel vooralsnog dicht is. Deze verbinding wordt pas in de loop van 2023 actief (bij hoge afvoeren) net als de verbinding met het Vossemeer door verwijdering van de Roggebotsluis (Kosters, Spruyt, & Niesten, 2021).

Vorig jaar is in *sobek-rijn-j22_6-v1a1* het Reevediep al opgenomen in de schematisatie (zie Figuur 2.16), maar doordat deze in werkelijkheid nog dicht was, is de bypass modelmatig afgesloten door de inlaatdrempel een hoogte van 99 m+NAP. Hierdoor kan er in de simulatie geen water vanuit de IJssel richting het Reevediep stromen. Voor *sobek-rijn-j22_6-v1a2* is het de wens om de verbinding tussen de IJssel en Reevediep te openen zodat deze mee kan stromen bij hoge afvoeren. Hiervoor dient de bestaande overlaat verlaagd te worden. Het 1D model wijkt hierin af van *dflow2d-rijn-j22_6-v1a*.

Daarnaast dient de Roggebotsluis verwijderd te worden uit de schematisatie. De functie van de Roggebotsluis is reeds vervangen door de Reevesluis die zich ten zuiden van de Roggebotsluis bevindt. De Reevesluis is geen onderdeel van de SOBEK schematisatie. Het schut- en spuiverlies van de Reevesluis kan worden opgelegd op de knoop "Vossemeer".

Deze update omvat twee aanpassingen:

- Het verlagen van de inlaatdrempel naar 1.5 m+NAP (Paarlberg & Kater, 2018).
- Het verwijderen van de Roggebotsluis en bijbehorende lateralen. De Roggebotsluis bevindt zich nabij de uitvoerlocatie *DM_71.00* (zie Figuur 2.16). Samen met de Roggebotsluis zijn ook de lateralen *VS_Sluis_Roggebotsluis_lozing* en *VS_Spuijsluis_Roggebot* verwijderd omdat deze zonder de sluis geen functie meer hebben. In de validatiesommen stond de afvoer op deze lateralen standaard op $0 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.



Figuur 2.16 Uitvoerlocaties Reevediep en Reevemeer. De inlaatdrempel bevindt zich bij uitvoerpunt RD_991.00 ter hoogte van Wilsum.

Na het openen is een kleine test uitgevoerd om te zien dat het Reevediep inderdaad meestroomt. De standaardsommen laten voor afvoeren groter dan $6000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (te Lobith) een toename in de waterstand in het Reevediep zien t.o.v. de gesloten situatie. Voor de afvoeren $6000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ en $8000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ is de waterstandsverhoging enkele centimeters waar deze bij een afvoer groter dan $10.000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ meer dan een meter wordt. Vanaf dit afvoerniveau zal het Reevediep/Reevemeer pas echt meestromen. De maximale waterstandstoename wordt gevonden bij de uitvoerlocatie RD_991.00 welke zich het dichtste bij de inlaatdrempel bevindt (zie Tabel 2.4). In Tabel 2.5 is de toename van afvoer door het Reevediep weergegeven.

Op de IJssel is er waterstandsverlaging zichtbaar door het openen van het Reevediep. Deze varieert van enkele millimeters, bovenstrooms van de inlaatdrempel tot zo'n 30 cm bij uitvoerlocatie IJ_992.00 (twee rivierkilometers benedenstrooms van de inlaat). Het waterstand verlagend effect neemt toe bij grotere afvoeren. In bijlage B is de waterstandsverlaging op de IJssel weergegeven. De afname van de afvoer op de benedenstroomse locaties van het inlaatpunt is gelijk aan de afvoer die wordt gemeten in het Reevediep/Drontermeer.

Er zijn geen validatiesommen beschikbaar van *dflow2d-rijn-f22_6-v1a* met een open Reevediep, omdat het Reevediep in het 2D model dicht staat. Daarom kunnen deze resultaten niet vergeleken worden met 2D. Een beperkte validatie van de afvoer door het Reevediep is uitgevoerd in paragraaf 4.2.2.

Tabel 2.4 Toename van maximale waterstand door het openen van het Reevediep (m) op uitvoerlocaties Reevediep (RD) en Reevemeer (DM).

Afvoer (m^3s^{-1})	6000	8000	10000	13000	16000
Uitvoerpunt					
RD_991.00	0	0	1,16	1,57	2,08
RD_992.00	0,03	0,11	0,77	1,22	1,74
RD_993.00	0,03	0,11	0,74	1,18	1,68

Afvoer (m ³ s ⁻¹)	6000	8000	10000	13000	16000
Uitvoerpunt					
RD_994.00	0,03	0,11	0,70	1,12	1,61
RD_995.00	0,03	0,11	0,62	1,04	1,50
RD_996.00	0,03	0,11	0,51	0,91	1,39
RD_997.00	0,03	0,11	0,47	0,85	1,32
DM_70.00	0,03	0,11	0,45	0,81	1,26
DM_71.00	0,03	0,11	0,41	0,78	1,22

Tabel 2.5 Toename van afvoer door het openen van het Reevediep (m³s⁻¹) op uitvoerlocaties Reevediep (RD) en Reevemeer (DM)

Afvoer (m ³ s ⁻¹)	6000	8000	10000	13000	16000
Uitvoerpunt					
RD_991.00	0	0	70	153	296
RD_992.00	0	0	70	153	296
RD_993.00	0	0	70	153	296
RD_994.00	0	0	70	153	296
RD_995.00	0	0	70	153	296
RD_996.00	0	0	70	153	296
RD_997.00	0	0	70	153	296
DM_70.00	0	0	70	153	296
DM_71.00	0	0	70	153	296

2.2.4 Locatie afvoer Lobith

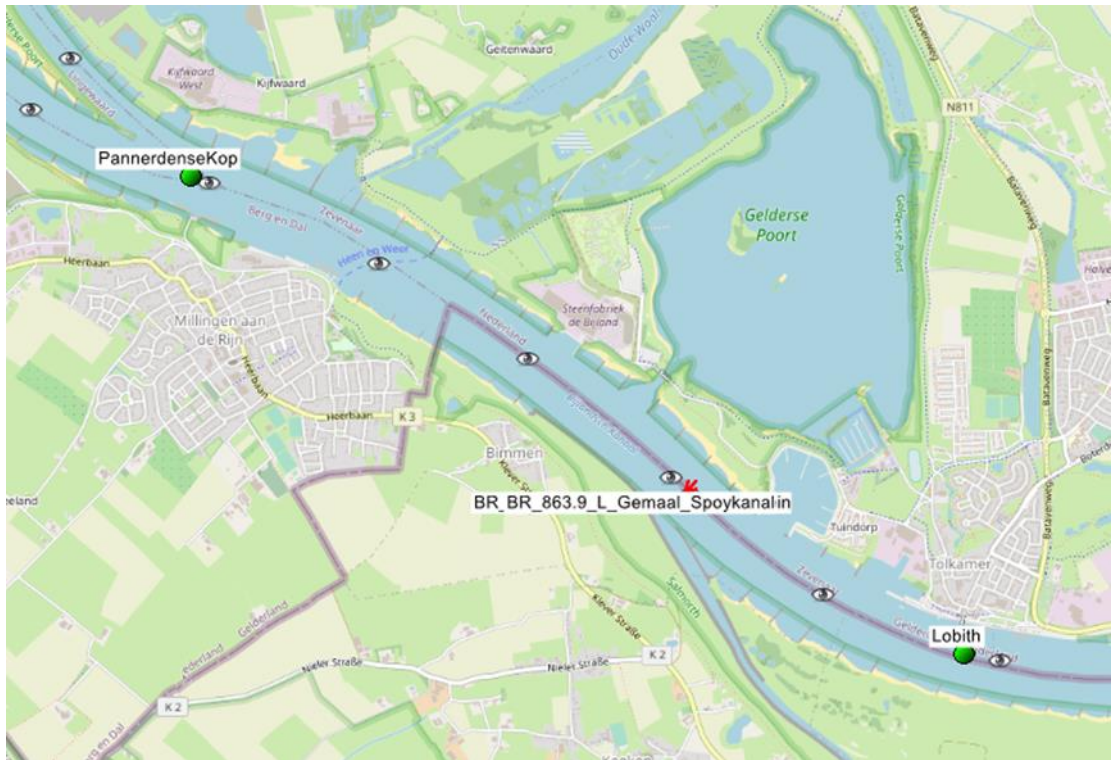
In *sobek-rijn-j22_6-v1a1* worden zowel de waterstanden als afvoeren representatief voor Lobith uitgelezen vanaf uitvoerlocatie *BR_862.2_R_LMW-H_Lobith*. In de schematisatie liggen benedenstrooms van dit punt twee lateralen aangetakt op de tak *Bovenrijn* (*BR_863.9_L_Gemaal_Kellener-Altrhein* en *BR_863.9_L_Gemaal_Spoykanal* zie Figuur 2.17).

Deze lateralen zijn echter wel onderdeel van de afvoer bij *BR_862.2_R_LMW-H_Lobith*, omdat in de praktijk alle afvoermetingen bij Lobith *benedenstrooms* van deze lateralen gedaan worden.

De twee lateralen worden (samen met een derde: *RH_852.4_L_Gemaal_Kalflack*) bij de vertaling van de afvoer bij Lobith naar Dornick verrekend. Bij stationaire sommen wordt de afvoer van de lateralen afgetrokken van de afvoer bij Lobith met als gevolg een lagere afvoer op de rand bij Dornick. In *dflowfm2d-rijn-j22_6-v1a* is er een extra uitvoerlocatie, *Lobith-totaal* toegevoegd benedenstrooms van de twee lateralen om zo een uitvoerlocatie te hebben die overeenkomt met de praktijk. In het 1D model ontbreekt het uitvoerpunt *Lobith-totaal* bij rkm *BR_863.00*.

De locatie van deze twee lateralen benedenstrooms van *BR_862.2_R_LMW-H_Lobith* kan bij operationeel gebruik in RWSOS-Rivieren tot problemen leiden.

De RWsOS-variant van het model (zie paragraaf 2.3) wordt afgeknipt bij *BR_862.2_R_LMW-H_Lobith*, waarbij de afvoerrandvoorwaarde bij Lobith door het integrale Rijntakken (met het Duitse deel van de Rijn) wordt bepaald. In dit integrale model worden ook de twee lateralen meegenomen. Hierdoor bestaat de mogelijkheid op dubbeltellingen wanneer de twee lateralen benedenstrooms van *LMW-Lobith* aantakken.



Figuur 2.17 Schematisatie sobek-rijn-j22_6-v1a1. De lateralen *BR_863.9_L_Gemaal_Kellener-Altrhein* en *BR_863.9_L_Gemaal_Spoykanal* takken aan op de *Bovenrijn*. Beide lateralen liggen op dezelfde locatie waardoor maar een lateraal op de kaart is gelabeld.

In overleg is er voor gekozen voor een pragmatische oplossing door de lateralen te verplaatsen naar bovenstrooms van *BR_862.2_R_LMW-H_Lobith*. Deze lateralen takken daardoor nu aan op de *DuitseRijn* (chainage 14270) in plaats van de *BovenRijn*. Hiermee wijkt de locatie van deze lateralen in SOBEK af van de locatie in *dflowfm2d-rijn-j22_6-v1a* en *Baseline*. Het wordt niet aanbevolen deze aanpassing ook in het 2D model door te voeren. Er is hiervoor gekozen vanwege de volgende overwegingen:

- Door het verplaatsen van de twee lateralen bovenstrooms van *BR_862.2_R_LMW-H_Lobith* klopt de afvoer en waterstand zonder een extra uitvoerpunt toe te voegen. Tevens kan een extra uitvoerpunt weer tot verwarring leiden.
- Bij de vertaling naar het RWsOS-Rivieren model worden deze lateralen dan automatisch afgeknipt en verwijderd uit het model. Hierdoor bestaat er geen kans meer op dubbeltelling.

Het effect van deze aanpassingen op de standaardsommen laat zien dat door het verplaatsen van de twee lateralen bovenstrooms van *LMW-Lobith* er verschillen in afvoer zichtbaar zijn tussen *LMW-Lobith* en *BR_864.00* (zie Tabel 2.6). Dit is precies het verschil van de twee lateralen die instromen. Het effect op de waterstand blijkt verwaarloosbaar klein. Op andere locaties is er geen effect van deze maatregel te zien op de afvoer en waterstand.

Tabel 2.6 Verandering van afvoer (in m^3s^{-1}) door verplaatsen van lateralen BR_863.9_L_Gemaal_Kellener-Altrhein en BR_863.9_L_Gemaal_Spoykanal

Afvoer (m^3s^{-1})	6000	8000	10000	13000	16000
Uitvoerpunt					
BR_862.2_R_LMW-H_Lobith	+3.51	+3.79	+4.07	+4.86	+5.16
BR_863.00	+3.51	+3.79	+4.07	+4.86	+5.16
BR_863.9_R_LMW-H_Lobith-haven	+3.51	+3.79	+4.07	+4.86	+5.16
BR_864.00	+3.51	+3.79	+4.07	+4.86	+5.16

2.3 RWsOS variant

Naast de basis variant wordt er ook een variant voor RWsOS opgeleverd: *sobek-rijn-j22_6-v1a2-rwsos*. De volledige aanpassingen ten opzichte van de basisvariant zijn beschreven in bijlage D, en omvatten onder meer:

- De tak *DuitseRijn* is uit het model geknipt. De knoop *Lobith* is nu de bovenstroomse rand van het model.
- Takken in het Ketelmeer verwijderd als aangegeven in Bijlage E. Hierdoor zijn er drie knopen die een open rand vormen. Deze randvoorwaarden worden hernoemt naar: *Kattendiep*, *Ketelhaven_1* en *Ketelhaven_2*.
- Op de open randen zijn de volgende constante afvoeren als tijdserie opgelegd:
 - Lobith: $2000 m^3s^{-1}$.
 - Hardinxveld en Krimpen_ad_1ek: $0.5 m+NAP$
 - Ketelbrug: $-0.2 m+NAP$
- Bepaalde configuratie-instellingen zijn gewijzigd. Zo schrijft de rwsos-variant restart files weg.

3 Kalibratie

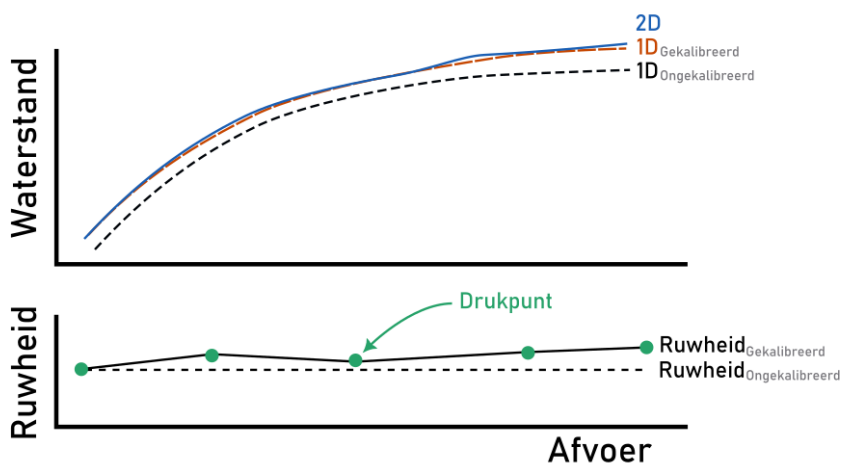
3.1 Methode

3.1.1 Algemene methode voor kalibratie & validatie

Omdat het 1D model wordt gebouwd als een afgeleid model van het 2D model (zie paragraaf 1.1), is het doel van de kalibratie van het 1D model is om de resultaten van het 2D model over het gehele afvoerbereik⁴ te reproduceren. We bereiken dat door de bodemruwheid van het zomerbed⁵ zo aan te passen dat de fout tussen het 1D en 2D model geminimaliseerd wordt. Het aanpassen van de zomerbedruwheid wordt programmatisch gedaan door het programma OpenDA, dat beschikt over een krachtig optimalisatiealgoritme⁶.

De fout tussen 1D en 2D wordt uitgedrukt middels de zogenaamde kostfunctie. Invoer van deze kostfunctie is de waterstandsfout op LMW stations en de afvoerfout op het Pannerdensch Kanaal en IJssel benedenstreams van de splitsingspunten Pannerdensch Kop respectievelijk IJsselkop.

De kalibratiesom bestaat uit een langzaam, monotoon stijgende afvoerrand en QH relaties op de benedenranden. Deze afvoerrand is gelijk aan de FM2PROF afleidsom. Hierdoor wordt er voor elke afvoer één waterstand berekend, en wordt een quasi-stationaire QH relatie benaderd. Uit pilotonderzoek is gebleken dat het kalibreren van het 1D model op zo'n quasi-stationaire QH relatie ook goede resultaten geeft bij dynamische sommen (Berends, Domhof, & Visser, 2021). Figuur 3.1 geeft een schematisch overzicht van de methodiek; door de ruwheid aan te passen op enkele drukpunten ('afvoerniveaus') wordt een ruwheidsfunctie gezocht die leidt tot het kleinste kostfunctie tussen 1D en 2D.



Figuur 3.1 Schematisch overzicht van de kalibratiemethode. De ruwheidsfunctie (onder paneel) wordt op enkele drukpunten (in dit rapport zijn dat met name 'afvoerniveaus', maar dit zou ook het aantal locaties kunnen zijn) aangepast.

⁴ Hiermee bedoelen we van zeer laag tot extreem hoog. De hoogste afvoer waarmee gerekend wordt is dermate hoog, dat in werkelijkheid de dijken vermoedelijk overstroomd zijn. Hoewel dit fysisch onrealistisch is – zowel het 1D als 2D model hebben hun modelgrens bij de dijken en kunnen overstrooming dus niet simuleren – is het doel om 1D en 2D ook gelijk te laten extrapoleren – tot (en voorbij) het punt waarin in werkelijkheid de dijken overstroomd raken.

⁵ Dit is de 'Main' sectie van het ruwheidsveld.

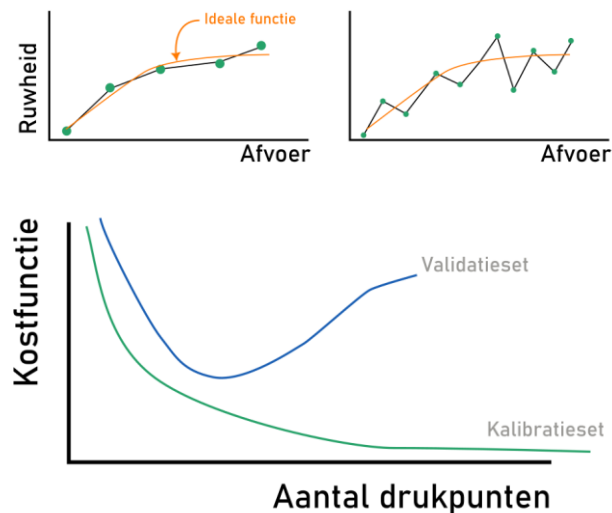
⁶ We maken gebruik van het zogenaamde. Dud-algoritme. De volledige configuratie van dit algoritme en de kostfunctie is onderdeel van de oplevering van het model.

Hierbij moet wel worden opgemerkt dat Figuur 3.1 een versimpelde weergave is. In werkelijkheid wordt het gehele ruwheidsveld (alle afvoerniveaus, alle locaties) afgeregeld om de gehele kostfunctie (waterstand en afvoeren, voor het hele afvoerbereik) te minimaliseren.

Een andere manier om tegen deze manier van kalibratie aan te kijken, is dat we zoeken naar een ideale ruwheidsfunctie die onder alle omstandigheden (niet alleen kalibratie, maar ook alle validatiesommen) de fout minimaliseert. De vorm van deze functie is onbekend: kalibratie is een manier om deze te benaderen. We benaderen de ideale vorm middels een zogenaamde 'stuksgewijs lineaire functie' door lineaire interpolatie tussen de drukpunten van de functie (het onderste paneel van Figuur 3.1 beschrijft zo'n functie).

Door meer drukpunten toe te voegen, kan de functie een complexere vorm krijgen. Door meer drukpunten toe te voegen, kan tijdens kalibratie een nauwkeuriger resultaat worden verkregen. Echter zit hier een limiet aan. Bij te hoge complexiteit kan overparametrisatie plaatsvinden. De omstandigheden van de kalibratiesom wordt dan heel precies nagebootst ten koste van de nauwkeurigheid in validatie. Een schematische illustratie hiervan is gegeven in Figuur 3.2. Dit fenomeen is welbekend in het afleiden van statistische modellen. Uit onderzoek (Domhof, 2018) bleek dat dit fenomeen niet zo extreem aanwezig is bij stromingsmodellen, maar dat er wel een punt is waarbij meer drukpunten leidt tot geringe toename of verslechtering van de validatie.

De validatie die wordt uitgevoerd in hoofdstuk 4 is een zogenaamde kruis- of alfavalidatie (Berends, Diermanse, & de Jong, 2021). Dat wil zeggen dat er wordt gevalideerd onder gelijke omstandigheden: geen systeemverandering, geen extrapolatie en dezelfde manier om foutstatistieken te bepalen. Deze validatietest is geschikt om te testen op overparametrisatie. Het effect van veranderingen in de kalibratiemethodiek zoals het toevoegen van een extra drukpunt kan daardoor worden getoetst.



Figuur 3.2 Het toevoegen van drukpunten (figuur boven, rechts) om de kalibratiesom nauwkeuriger te benaderen kan leiden tot een ruwheidsfunctie die precies is afgestemd op de kalibratiesom, maar verder van de ideale functie afwijkt dan de som met minder drukpunten (figuur links).

3.1.2 Kalibratie sobek-rijn-j22_6-v1a2

Ondanks dat *sobek-rijn-j22_6-v1a2* geringe verschillen kent ten opzichte van *sobek-rijn-j22_6-v1a1* is wel een herkalibratie uitgevoerd. De reden hiervoor is tweeledig. Ten eerste is het de huidige werkwijze (zie paragraaf 1.1) om na een aanpassing in de schematisatie een herkalibratie uit te voeren. Daarnaast is onderzocht of de aanpassingen aan de kalibratiemethode kan leiden tot beter resultaat (zie paragraaf 2.1.3), en onderdeel van dat onderzoek was een kalibratie volgens de huidige werkwijze. In de toekomst kan echter overwogen worden onder welke voorwaarden een herkalibratie kan worden overgeslagen (aanbeveling in paragraaf 5.2).

Op basis van het onderzoek beschreven in paragraaf 2.1.3 zijn geen veranderingen doorgevoerd in de kalibratiemethode. Deze is dus gelijk aan hoe *sobek-rijn-j22_6-v1a1* is gekalibreerd. Het model wordt met OpenDA gekalibreerd op een 2D modelresultaat met een geleidelijk stijgende afvoer. Er wordt gebruik gemaakt van 5 afvoerniveaus waarmee de waterstanden in de gehele tijdserie van de kalibratiesom worden geoptimaliseerd. Er wordt gebruik gemaakt van de 2D kalibratiesom waarmee ook het *sobek-rijn-j22_6-v1a1* is gekalibreerd. Dit betekent ook dat er enkele aanpassingen nodig zijn in het model:

- De randvoorwaarden gelijkstellen aan het *dflowfm2d-rijn-j22-v1a* model.
- De overlaat voor het Reevediep dichtzetten. Dit lijkt tegenstrijdig met de opening van het Reevediep (paragraaf 2.2.3). De reden hiervoor is dat er geen kalibratie- en validatiesimulaties met het 2D model gemaakt zijn waarin het Reevediep open staat.

3.2 Resultaten kalibratie

De gemodelleerde waterstanden in de kalibratiesom zijn vergelijkbaar tussen het *sobek-rijn-j22_6-v1a1* en het *sobek-rijn-j22_6-v1a2* model (zie Tabel 3.1 en Bijlage C voor de resultaten op alle LMW-stations). Er zijn verschillen tot maximaal 1 cm waarneembaar gemiddeld over de tak. Er zijn geen modelaanpassingen geweest die deze verschillen, al zijn deze klein, kunnen verklaren. Daarom is de kalibratie in detail onderzocht.

Uit dit onderzoek bleek dat de kalibratie met OpenDA geen deterministische en altijd volledig unieke oplossing geeft. De precieze reden hiervoor – het DuD algoritme of de stdev parameter voor observatie – is niet duidelijk. Daardoor zal een herkalibratie, ook met een identiek model, kleine verschillen laten zien. Met deze kennisname kan gesteld worden dat het hergekalibreerde model vergelijkbaar is met *sobek-rijn-j22_6-v1a1*. Uit het onderzoek kwamen wel enkele andere potentiële verbeterpunten naar voren:

- Begin de kalibratiesom op een lager en/of een langduriger lage afvoer zodat de som goed en volledig initialiseert. Dit kan voor een betere kalibratie in het zeer lage domein zorgen ($< 600 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ bij Lobith).
- Laat de afvoer geleidelijker oplopen zodat er nog meer sprake is van stationaire stroming.
- Laat de afvoer tot verder dan $16.000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ oplopen. Momenteel eindigt de afvoerreeks op een plateau van $16.000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ waardoor de kalibratie op de tijdserie op dit afvoerniveau relatief veel gewicht krijgt. Door het plateau weg te nemen en de afvoer verder te laten oplopen kan het omliggende afvoerdomein mogelijk beter gekalibreerd worden.

Tabel 3.1 Gemiddelde afwijking (bias) en standaardafwijking voor alle uitvoerpunten, en voor enkel de LMW locaties met het geheerlibreerde model in vergelijking met het sobek-rijn-j22_6-v1a1 model.

	Alle uitvoerpunten		LMW locaties	
	sobek-rijn-j22_6-v1a1	sobek-rijn-j22_6-v1a2	sobek-rijn-j22_6-v1a1	sobek-rijn-j22_6-v1a2
Bovenrijn	-0.02±(0.08)	-0.03±(0.08)	-0.01±(0.09)	-0.02±(0.09)
Waal	-0.03±(0.08)	-0.03±(0.08)	-0.04±(0.06)	-0.04±(0.06)
Pannerdensch Kanaal	0.00±(0.07)	-0.01±(0.07)	-0.00±(0.06)	0.00±(0.06)
Nederrijn	-0.00±(0.08)	-0.01±(0.08)	0.02±(0.06)	0.02±(0.07)
Lek	0.02±(0.05)	0.02±(0.06)	0.00±(0.04)	0.00±(0.04)
IJssel	-0.01±(0.09)	0.00±(0.08)	-0.05±(0.17)	-0.04±(0.17)

4 Validatie

4.1 Resultaten validatiesommen

Validatie is uitgevoerd door de veertien standaardsommen (vijf dynamische en negen stationaire sommen) met *sobek-rijn-j22_6-v1a2* door te rekenen en te vergelijken met de resultaten van *dflow2d-rijn-j22_6-v1a*. Een samenvatting van de gemiddelde resultaten per validatiesom zijn weergegeven in Tabel 4.1. In [Bijlage C](#) staan de resultaten in meer detail.

De validatiesommen laten vergelijkbare resultaten zien tussen *sobek-rijn-j22_6-v1a1* (vergelijk [Tabel 2.2](#) en voor de resultaten op alle LMW-stations) en *sobek-rijn-j22_6-v1a2*. Dit is conform verwachting gezien de geringe modelaanpassingen en de kleine verschillen in de kalibratie. Bij enkele stationaire standaardsommen is de bias, net als in de validatieresultaten van *sobek-rijn-j22_6-v1a1* ([Tabel 2.2](#)), opvallend groter dan bij de dynamische standaardsommen. De reden hiervoor is dat afwijkingen niet gemiddeld worden over meerdere afvoeren, en dat het verschil tussen 1D en 2D op een specifieke afvoer groter is dan de gemiddelde afwijking (zie bijvoorbeeld [Figuur 2.4](#)).

Bij deze resultaten wordt de kanttekening geplaatst dat hier wordt vergeleken met het *dflow2d-rijn-j22_6-v1a* model, waar het Reevediep niet in geopend is. Deze resultaten zijn daardoor niet representatief voor situaties waarin het Reevediep meestroomt. In [paragraaf 4.2.3](#) wordt een vergelijking gemaakt tussen 1D en 2D van de afvoerverdeling bij het Reevediep o.b.v. de afleidsom

Tabel 4.1: Gemiddelden van de bias en de standaardafwijking bij alle LMW stations in de validatiesommen met het sobek-rijn-j22_6-v1a2 model. De rood gemarkeerde afwijkingen zijn niet representatief, omdat deze sterk worden beïnvloedt door het station IJ_879.6_R_LMWH_Hondsbroeksche-Pleij-IJ, die in het 2D model buiten de hoofdgeul ligt en daardoor 4.3 m afwijkt van het 1D model. Dit station is geen kalibratiestation, en is dus niet gebruikt om ruwheden af te regelen.

	BR	WL	PK	NR	LE	IJ
Kalibratie	-0.02 ±(0.09)	-0.04 ±(0.06)	0.00 ±(0.06)	0.02 ±(0.07)	0.00 ±(0.04)	-0.04 ±(0.17)
D_6000	0.03 ±(0.04)	0.01 ±(0.04)	0.03 ±(0.05)	0.06 ±(0.08)	0.03 ±(0.05)	0.03 ±(0.13)
D_8000	0.02 ±(0.05)	-0.03 ±(0.09)	0.05 ±(0.04)	0.10 ±(0.13)	0.07 ±(0.11)	0.04 ±(0.09)
D10000	-0.05 ±(0.12)	-0.07 ±(0.11)	0.02 ±(0.09)	0.05 ±(0.18)	0.04 ±(0.12)	0.05 ±(0.09)
D13000	-0.06 ±(0.10)	-0.04 ±(0.10)	-0.00 ±(0.08)	0.01 ±(0.12)	0.00 ±(0.07)	0.03 ±(0.10)
D16000	-0.08 ±(0.08)	-0.04 ±(0.08)	-0.00 ±(0.08)	0.03 ±(0.11)	0.01 ±(0.08)	0.02 ±(0.09)
S_600	0.04 ±(0.00)	-0.03 ±(0.00)	-0.17 ±(0.00)	-0.04 ±(0.00)	-0.03 ±(0.00)	-0.35 ±(0.00)
S_1020	0.03 ±(0.00)	0.02 ±(0.00)	-0.01 ±(0.00)	-0.00 ±(0.00)	0.00 ±(0.00)	-0.20 ±(0.00)
S_2000	0.04 ±(0.00)	-0.05 ±(0.00)	-0.02 ±(0.00)	0.00 ±(0.00)	0.00 ±(0.00)	-0.16 ±(0.00)
S_4000	-0.01 ±(0.00)	-0.04 ±(0.00)	-0.04 ±(0.00)	0.06 ±(0.00)	0.07 ±(0.00)	-0.08 ±(0.00)
S_6000	0.03 ±(0.00)	0.02 ±(0.00)	0.09 ±(0.00)	0.10 ±(0.00)	0.02 ±(0.00)	0.14 ±(0.00)
S_8000	-0.11 ±(0.00)	-0.19 ±(0.00)	-0.04 ±(0.00)	-0.16 ±(0.00)	-0.05 ±(0.00)	-0.03 ±(0.00)
S10000	-0.21 ±(0.00)	-0.14 ±(0.00)	-0.04 ±(0.00)	0.03 ±(0.00)	0.03 ±(0.00)	0.03 ±(0.00)
S13000	-0.01 ±(0.00)	0.05 ±(0.00)	-0.03 ±(0.00)	0.04 ±(0.00)	-0.02 ±(0.00)	-0.04 ±(0.00)
S16000	-0.08 ±(0.00)	-0.08 ±(0.00)	0.02 ±(0.00)	0.06 ±(0.00)	0.00 ±(0.00)	0.04 ±(0.00)

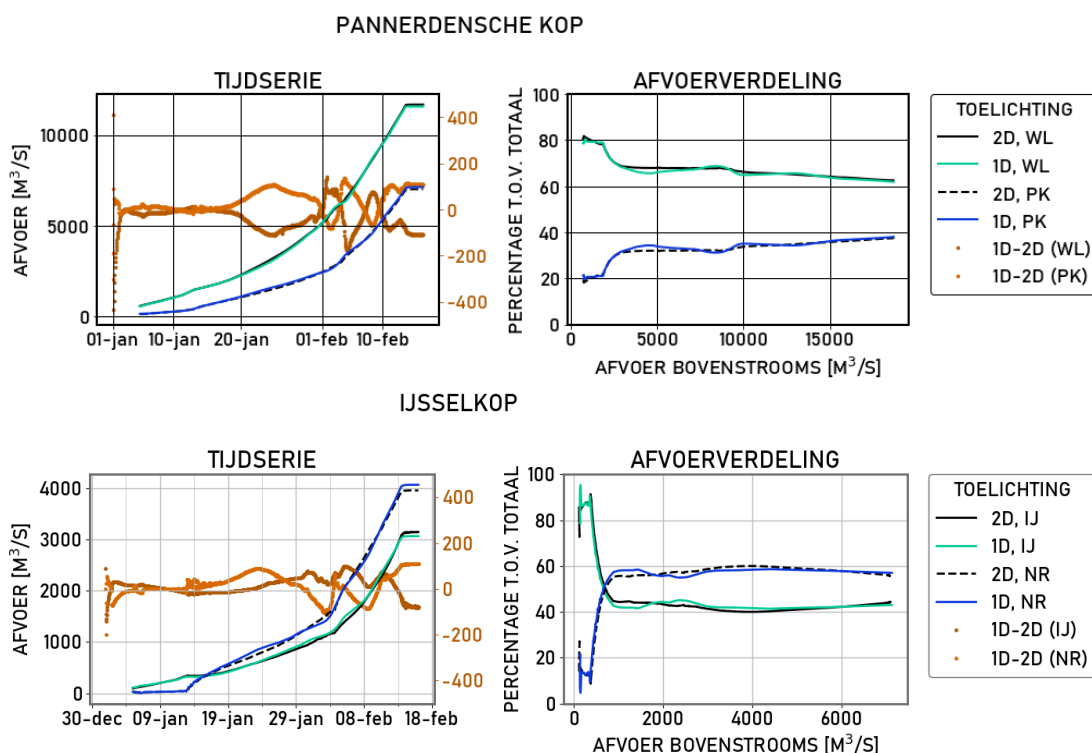
4.2 Analyse verschillen tussen 1D en 2D modelresultaten

In paragraaf 2.1.3 is onderzocht of de overeenkomst tussen de 1D en 2D modelresultaten verbeterd kon worden voor specifieke locaties en/of afvoerniveaus. Voor deze specifieke casussen bleek een verbetering niet mogelijk zonder subjectieve handmatige aanpassingen of grote of complexe softwareaanpassingen aan FM2PROF of SOBEK. Naast eerder onderzochte verschillen worden hieronder andere opvallende verschillen tussen de 1D en 2D modelresultaten opgesomd.

4.2.1 Afvoerverdeling op de Pannerdensche Kop en IJsselkop rond $Q_{\text{Lobith}} = 4.000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$

Het gekalibreerde model laat in de kalibratiesom met geleidelijk toenemende afvoer relatief grote afwijkingen in de afvoerverdeling op de Pannerdensche Kop en de IJsselkop zien. Er gaat ten opzichte van het 2D model te veel afvoer naar respectievelijk het Pannerdensch Kanaal en de Nederrijn. Deze afvoerverschillen kunnen zorgen voor onnauwkeurigheden in de gekalibreerde ruwheden en de gemodelleerde waterstanden. Omdat er bij een Lobith-afvoer van $3.800 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ reeds een kalibratieniveau ligt, is het onwaarschijnlijk dat de verschillen in de afvoerverdeling in dit domein gereduceerd kunnen worden door verdere kalibratie.

Onderzocht kan worden in hoeverre de schematisatie van de zomerkade rondom de splitsingspunten Pannerdensche Kop en IJsselkop deze afwijking beïnvloedt – en of een andere instelling van zomerdijkhoogte, transitiehoogte of volume achter de zomerkade kan leiden tot een betere afvoerverdeling.

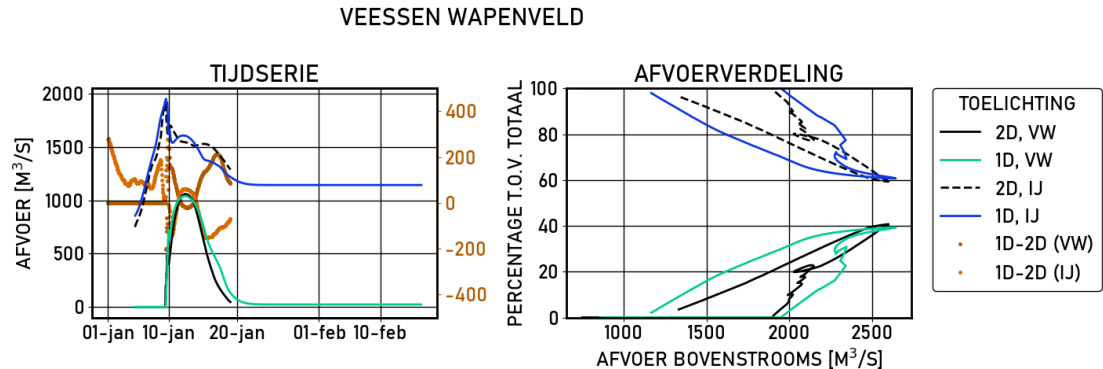


Figuur 4.1: Afvoerverdeling op de Pannerdensche Kop (boven) en de IJsselkop (beneden) met het gekalibreerde sobek-rijn-j22_v6_v1a2 model.

4.2.2 Afvoer door Hoogwatergeul Veessen-Wapenveld

De hoogwatergeul Veessen-Wapenveld en het Reevediep gaan meestromen wanneer de inlaatdrempels worden overschreden. Voor accurate modelresultaten in de geulen en in de IJssel is het belangrijk dat de afvoer door Veessen-Wapenveld en het Reevediep accuraat is. Er blijkt echter een verschil tussen *sobek-rijn-j22_6-v1a2* en het 2D model (Figuur 4.2).

Bij Veessen-Wapenveld is er met name een verschil zichtbaar aan het einde van de hoogwatergolf. In 2D stroomt Veessen-Wapenveld sneller leeg, wat een verschil van $180 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ veroorzaakt. Bij de piek van de afvoergolf komt de afvoerverdeling wel goed overeen, met orde 40% van de IJssel-afvoer dat via Veessen-Wapenveld stroomt. In paragraaf 4.2.4 wordt onderzocht of deze afvoerverdeling kan worden verbeterd door afregeling van kunstwerkparameters.



Figuur 4.2: Afvoer door Veessen-Wapenveld in de dynamische validatiesom D16000 gemodelleerd met sobek-rijn-j22_6-v1a2 en met het 2D model en de verschillen tussen deze twee modellen.

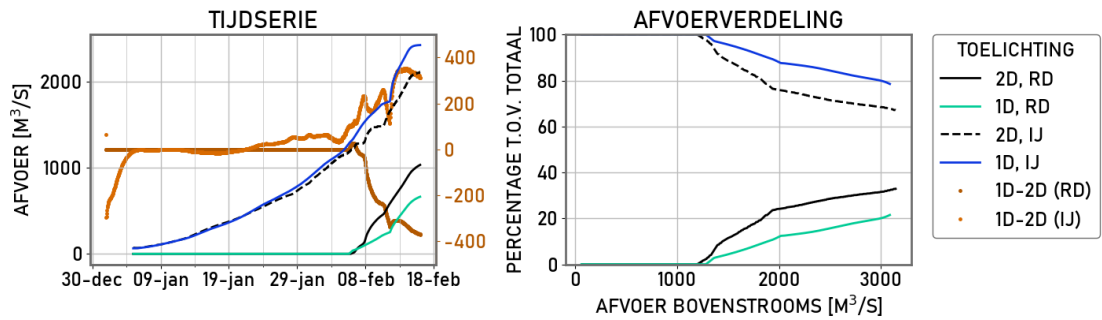
4.2.3 Afvoer door Reevediep

In *dflow2d-rijn-j22_6-v1a* staat het Reevediep nog dicht (*sobek-rijn-j22_6-v1a2* kijkt op dit vlak dus af van haar 2D bronmodel, zie ook paragraaf 2.2.3). Daarom kan op basis van de validatiesommen geen inzicht worden gekregen in de afvoerverdeling door het Reevediep.

Om toch inzicht te krijgen in deze afvoerverdeling hebben we de FM2PROF afleidsom gedraaid met het gekalibreerde 1D model (Figuur 4.3). Dit is een simulatie die vergelijkbaar is met de kalibratiesimulatie, maar waarbij alle kunstwerken open staan – zie paragraaf 2.4.2 uit Berends, Domhof & Visser (2022) voor meer achtergrond over deze simulatie. Figuur 4.3 toont de resultaten van deze som. Uit deze resultaten blijkt dat door het Reevediep in het 1D model aanzienlijk minder (tot 15% van de IJsselafvoer, $400 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) afvoer gaat dan in het 2D model. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat het model is gekalibreerd met een dicht Reevediep en dat de kalibratie niet robuust is tegen dergelijke grote systeemveranderingen. In paragraaf 4.2.4 wordt onderzocht of deze afvoerverdeling kan worden verbeterd door afregeling van kunstwerkparameters.

Bij deze resultaten worden twee kanttekeningen gezet. Ten eerste is deze som is uitgevoerd met de afleidsom. Deze heeft niet-realistische randvoorwaarden op de benedenstroomse rand. Het verdient aanbeveling om bij toekomstige actualisaties waarbij het Reevediep ook in het 2D model is geopend, deze vergelijking tevens te maken bij de standardsommen. Ten tweede heeft RWsOS variant *sobek-rijn-j22_6-v1a2-rwsos* andere randvoorwaarden benedenstrooms van het Reevediep. Daardoor wijken de resultaten die hier gepresenteerd zijn mogelijk af voor toepassing in die versie van het model.

REEVEDIEP



Figuur 4.3: Afvoer door het Reevediep in de FM2PROF afleidsom (dflow2d-rijn-j22_6-w1) en in sobek-rijn-j22_6-v1a2 met dezelfde randvoorwaarden als de afleidsom en de verschillen tussen deze twee modellen.

4.2.4 Potentie afregelen van afvoerverdeling Reevediep en Veessen-Wapenveld

Gelet op het belang van de hoogwatergeul Veessen-Wapenveld en Reevediep tijdens hoge afvoeren, is er een verkenning uitgevoerd naar mogelijkheden om de afvoerverdeling in 1D dichter bij 2D te krijgen. Hiervoor zijn twee mogelijkheden: het afregelen van de ruwheden van de takken, of het afregelen van de inlaatkunstwerken.

Het meekalibreren van de ruwheid van Veessen-Wapenveld en het Reevediep wordt op basis van ervaring gezien als een uitdaging. Door de relatief korte lengte van de takken en mogelijke niet-verdronken kunstwerken (waardoor de takken bovenstrooms niet hydraulisch verbonden zijn) is de gevoeligheid van de afvoerverdeling voor ruwheid vermoedelijk erg laag. Zelfs als er wel genoeg gevoeligheid is, is er een grote kans dat het kalibratieprobleem niet uniek is op te lossen, omdat de afvoerverdeling afhangt van de ratio van weerstand op de IJssel en de nevengeul. Dezelfde ratio kan mogelijk bereikt worden door verschillende combinaties van ruwheden.

Als alternatief kan de afvoerverdeling over de IJssel en respectievelijk Veessen-Wapenveld en het Reevediep worden verbeterd door de inlaatcoëfficiënten van de inlaatkunstwerken aan te passen. Dit hebben we als verkenning getest.

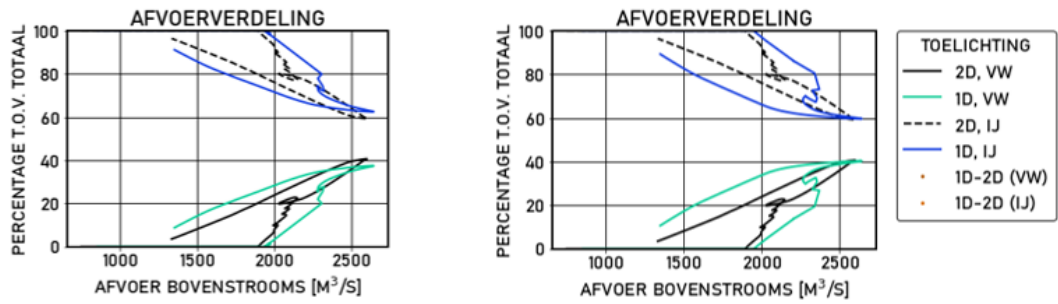
Om de gevoeligheid van de afvoerverdeling tot deze parameter te testen, passen we de *dischargecoeff* modelparameter aan. Deze verhogen en verlagen we van 1,0 naar respectievelijk 1,2 en 0,8. Bij de afvoerverdeling van Veessen-Wapenveld zien we grote verschillen in de orde van $100 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Figuur 4.4). Bij een hogere *dischargecoeff* wordt de piekafvoer nauwkeuriger gemodelleerd in 1D. Bij een lagere *dischargecoeff* wordt de piekafvoer door Veessen-Wapenveld onderschat in 1D, maar gedurende het verloop (Figuur 4.4) van de afvoergolf beter overeen met het verloop in 2D. Door de gevoeligheid van de afvoerverdeling over de IJssel en Veessen-Wapenveld ten aanzien van de *dischargecoeff* is de parameter mogelijk wel geschikt als kalibratieparameter voor het verbeteren van de afvoerverdeling.

Bij de afvoerverdeling voor het Reevediep zien we zeer beperkte verschillen in de orde van $5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Figuur 4.5; geen zichtbare verschillen). Voor het verbeteren van de afvoerverdeling over de IJssel en het Reevediep is deze *dischargecoeff* modelparameter daarmee geen geschikte kalibratieparameter. Er wordt aanbevolen om daarom ook naar andere oorzaken te zoeken, zoals de breedte van de inlaat en het kalibreren met een open Reevediep (zie aanbeveling 5 in paragraaf 5.2).

VEESSEN WAPENVELD

Dischargecoëff = 0,8

Dischargecoëff = 1,2

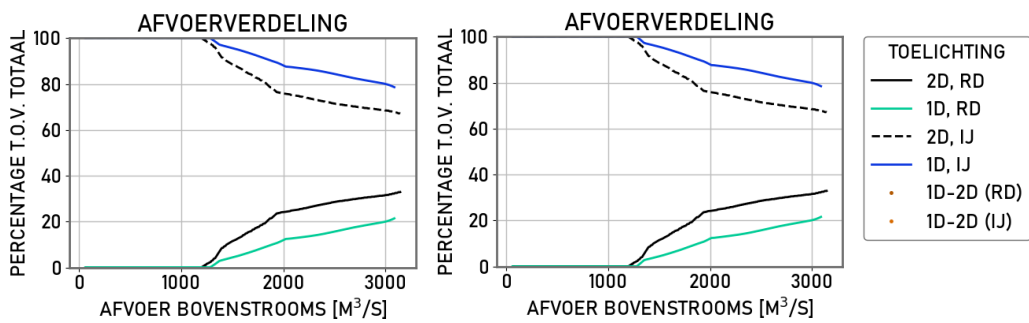


Figuur 4.4 Afvoer door Veessen-Wapenveld in de dynamische validatiesom D16000 gemodelleerd met sobek-rijn-j22_6-v1a2 en met het 2D model met een lagere en hogere inlaatcoëfficiënt.

REEVEDIEP

Dischargecoëff = 0,8

Dischargecoëff = 1,2



Figuur 4.5 Afvoer door het Reevediep in de FM2PROF afleidsom (dflow2d-rijn-j22_6-w1) en in sobek-rijn-j22_6-v1a2 met een lagere en hogere inlaatcoëfficiënt.

5 Conclusie en aanbevelingen

5.1 Conclusies

Er is een update gedaan van het zesde generatie sobek model van de Rijn. Hierdoor is het versienummer gewijzigd van *sobek-rijn-j22_6-v1a1* naar *sobek-rijn-j22_6-v1a2*. In versie v1a2 is het Reevediep geopend en is overgestapt naar SOBEK versie 3.7.25. Van dit model is een variant gemaakt voor RWSoS: *sobek-rijn-j22_6-v1a2-rwsos*. Het 1D model is gebaseerd op *dflowfm2d-rijn-j22_6-v1a*. De kalibratie- en validatieresultaten komen overeen met *sobek-rijn-j22_6-v1a1* en worden als volgt samengevat:

- Berekende waterstanden wijken, gemiddeld over de Rijntakken, af van 2D resultaten in de orde van enkele centimeters. Lokaal, en op specifieke afvoeren kan dit verschil oplopen tot enkele decimeters. Uit onderzoek blijkt dat deze verschillen optreden rondom het vollopen van de uiterwaarden, en langs gebieden met nevengeulen of plassen die bij hoge afvoer meestromen, maar bij lage afvoer vooral bergend zijn.
- De afvoerverdeling op de IJsselkop en Pannerdensch kop is tot op enkele procenten vergelijkbaar tussen 2D en 1D, met maximale verschillen tot ca. 200 m³s⁻¹.
- De afvoerverdeling IJssel-Reevediep en IJssel-Veessen Wapenveld wijkt in 1D tot 15% t.o.v. de IJsselafvoer af van de afvoerverdeling in het 2D model. Met name het Reevediep laat verschillen zien tussen 1D en 2D: de afvoer door het Reevediep is tot 400 m³s⁻¹ kleiner in het 1D model dan in het 2D model onder geteste omstandigheden. Hierbij wordt opgemerkt dat deze testen niet zijn uitgevoerd met de gebruikelijke standaardsommen.

5.1.1 Onderzoek naar het verkleinen van verschillen in resultaten tussen 1D en 2D

Er is een viertal onderzoeken uitgevoerd naar waargenomen verschillen in modelresultaten tussen het 1D model *sobek-rijn-j22_6-v1a1* en het 2D model *dflowfm2d-rijn-j22_6-v1a* waar het SOBEK model van is afgeleid. Geen van de onderzoeken heeft geleid tot aanpassingen in de modelschematisatie of in de modelkalibratie. De belangrijkste conclusies uit de onderzoeken zijn:

- De onderschatting van de waterstanden in het 1D model bij Waal rivierkilometer 920-940 wordt veroorzaakt doordat in de dwarsprofielen het volume achter de zomerkade als stromend wordt geclassificeerd. In 2D is er sprake van circulaire stroming (neren) binnen de uiterwaard, waardoor wel aan het stromingscriterium van FM2PROF wordt voldaan, maar deze uiterwaarde in werkelijkheid niet bijdraagt aan de afvoercapaciteit. Om te zorgen dat neren geen rol meer spelen bij de beoordeling van stroomvoering, is een aanpassing aan FM2PROF nodig.
- De grote verschillen tussen 1D en 2D in het traject Pannerdensch Kop – Nijmegen worden veroorzaakt door een incorrecte schematisatie van de nevengeul Nijmegen-Lent. Doordat deze lage afvoeren bergend is, wordt deze in het dwarsprofiel ook als zodanig geclassificeerd. SOBEK 3 kent echter niet de optie om het bergend volume om te zetten naar stromend volume wanneer bij hogere afvoeren de instroomdrempel van Nijmegen-Lent wordt overschreden. Dit zorgt voor een significante overschatting van de waterstanden in 1D bij hogere afvoeren. Ook op andere locaties, bijvoorbeeld bij de Millingerwaard en de Rhederlaag, zorgt de classificatie van volume als berging voor een overschatting van de waterstanden in 1D.

- Dwarsprofielen ter hoogte van IJzendoorn hebben te veel stroomvoering onderin het profiel doordat een aangetakte plas wordt geclassificeerd als meestromend door FM2PROF.
- Een extra kalibratieniveau in het gestuwde domein zorgt niet voor een verbetering van de modelresultaten.
- De afvoerverdeling IJssel - Veessen-Wapenveld komt goed overeen op de piek van een dynamische som, maar verschilt tijdens in- en uitstromen. Het 1D model stroomt sneller in, en langzamer uit.
- De afvoerverdeling IJssel - Reevediep wijkt significant af (15% van IJsselafoer, of 400 m³s⁻¹) tussen 1D en 2D. Hierdoor stroomt er bij hoog water in het model minder afvoer door de bypass dan het 2D model simuleert. We adviseren dit bij een volgende actualisatie te adresseren (zie aanbeveling 5c).
- De afvoerverdeling bij Veessen-Wapenveld is beperkt gevoelig voor de afvoercoëfficiënt van het inlaatwerk, waardoor de afvoerverdeling mogelijk kan worden verbeterd. De inlaatrempel bij het Reevediep is niet gevoelig voor de afvoercoëfficiënt en kan niet worden afgeregeld hierop.

5.1.2 Modelaanpassingen en herkalibratie (changelog)

De update van *sobek-rijn-j22_6-v1a1* naar *sobek-rijn-j22_6-v1a2* omvat de volgende aanpassingen:

- De stabiliteit van het model is verbeterd door het uitsluiten van het de dwarsdoorsnede *Twentekanaal_0.000*.
- Het model is geüpdatet naar SOBEK versie 3.7.25:
 - De naamgeving van kunstwerken en lateralen is gelijkgetrokken aan het 2D model.
 - Er wordt nu gebruik gemaakt van de optie *VolumeTables*. De rekentijd van het model is hierdoor verkort.
- Het Reevediep is opengezet en Roggebotsluis verwijderd.
- Het geüpdatete model is net als de vorige modelversie ge(her)kalibreerd, op modeluitvoer van *dflowfm2d-rijn-j22_6-v1a*. Omdat in deze 2D modelsimulaties het Reevediep dicht stond, is voor de kalibratie het Reevediep ook in het 1D model dichtgezet. De kalibratie heeft niet geleid tot significante veranderingen in het model en in de modelresultaten. Echter, uit de analyse van de afvoerverdeling IJssel-Reevediep concluderen we dat de kalibratie niet robuust is tegen de opening van het Reevediep (zie 5.1.1) waardoor kalibratie met een open Reevediep voor toekomstige actualisaties wordt aangeraden (zie 5.2)..

5.2 Aanbevelingen

In dit rapport zijn een aantal zaken naar voren gekomen die aandacht verdienen bij de toepassing van het model. Aanbevolen wordt om deze zaken te onderzoeken. Dit betreft aanpassingen aan de methode om de profielen af te leiden, en aanpassingen aan de kalibratiemethode.

- 1 Onderzoek of er aanvullende stromingscriteria in FM2PROF kunnen worden toegevoegd:
 - a Herkennen van waterstandsafhankelijke (dynamische) ratio tussen berging & stroming, voor onderzoek naar:
 - i. Andere classificatie van bergend en stromend volume achter de zomerkade (paragraaf 2.1.1).
 - ii. Opties om meestroomeffect van aangetakte plassen te modelleren (paragraaf 2.1.2 en 2.1.4)
 - b Richtingsafhankelijke stroomvoering, waardoor enkel cellen die stromen in de richting van de rivier meetellen als stroomvoerend (paragraaf 2.1.4)

- 2 Onderzoek of andere de instellingen van de zomerkades bij lokale profielen de afvoerverdeling op de de Pannerdensch Kop en de IJsselkop kunnen verbeteren rondom $4000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (paragraaf 4.2.1).
- 3 Onderzoek of de afvoer door Veessen-Wapenveld en het Reevediep kan worden verbeterd door kalibratie (paragraaf 4.2.2).
- 4 Onderzoek of een andere afvoerrandvoorwaarde in de kalibratiesom tot een betere kalibratie kan leiden (paragraaf 3.2):
 - a Begin de kalibratiesom op een lager en/of een langduriger lage afvoer zodat de som goed en volledig initialiseert. Dit kan voor een betere kalibratie in het zeer lage domein zorgen ($< 600 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ bij Lobith).
 - b Laat de afvoer geleidelijker oplopen zodat er nog meer sprake is van stationaire stroming.
 - c Laat de afvoer tot verder dan $16.000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ oplopen. Momenteel eindigt de afvoerreeks op een plateau van $16.000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, waardoor de kalibratie op de tijdserie op dit afvoerniveau relatief veel gewicht krijgt. Door het plateau weg te nemen en de afvoer verder te laten oplopen, kan het omliggende afvoerdomein mogelijk beter gekalibreerd worden.
- 5 Potentiële verbeteringen aan de kalibratiemethode die tijdens deze actualisatie naar boven kwamen zijn:
 - a Het hoogste afvoerniveau beter de afvoerverdeling van $16.000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ laten reflecteren (paragraaf 2.1.3)
 - b Een toets of herkalibratie nodig is toevoegen aan de procedure
 - c Kalibratie met een open Reevediep en afregeling van de kunstwerkparameters van de overlaat bij Reevediep en inlaatkunstwerk van Veessen-Wapenveld (paragraaf 4.2).
 - d Groter gewicht toekennen aan de afvoer tijdens kalibratie, om zo de afvoerverdeling te verbeteren.

Deze aanbevelingen zijn als volgt vastgelegd in de volgsystemen:

- Aanbeveling 1 als issue #43 van FM2PROF⁷
- Aanbeveling 2 als issue SITOPS1D-114
- Aanbeveling 3 als SITOPOS1D-106
- Aanbeveling 4 als SITOPS1D-115
- Aanbevelingen 5 als SITOPS1D-148, SITOPS1D-137, SITOPS1D-136 en SITOPS1D-106, SITOPS1D-157

Voor gebruik in RWsOS heeft deze versie de volgende aanvullende aanbevelingen:

- Met het openen van het Reevediep en het verwijderen van de Roggebotsluis zijn er tevens geen lateralen meer om het schutverlies van de Roggebotsluis te modelleren (*VS_Roggebotsluis_lozing* en *VS_Spuisluis_Roggebot*). De functie van de Roggebotsluis is overgenomen door de Reevesluis, die geen onderdeel uitmaakt van *sobek-rijn-j22_6-v1a2*. Het schut- en spuiverlies van de Reevesluis kan eventueel worden opgelegd als randvoorwaarde op de knoop *Vossemeer*.

Tot slot is tijdens het schrijven van dit rapport gebleken dat aanvullende visualisatie op modelresultaten wenselijk is:

- Het kunnen produceren van verschilplots van ruweidsvelden om verschillen tussen (her)kalibraties inzichtelijker te maken. Dit is opgenomen als issue #67 van FM2PROF.

⁷ De issues van FM2PROF zijn openbaar en te vinden op <https://github.com/Deltares/Fm2Prof/issues>

- Het kunnen kiezen welke afvoeren worden weergegeven in verhanglijnen. Dit is opgenomen als issue #65 van FM2PROF
- Het opnemen van rivierkilometers in dwarsprofielfiguren. Dit is opgenomen als issue #68 van FM2PROF.

6 Referenties

- Berends, K. D., Domhof, B., & Visser, A. J. (2022). *Ontwikkeling zesde-generatie Rijntakken model 1D*. Deltarres: 11208053-003-ZWS-0006.
- Berends, K. D., Fujisaki, A., & Domhof, B. (2021). *Pilot zesde generatie 1D SOBEK model voor de Maas : toepassing FM2PROF*. rapport Deltares, Deltares, Delft.
- Berends, K., Diermanse, F., & de Jong, J. (2021). *Naar een conceptuele basis voor omgaan met onzekerheid in stromingsmodellen van Rijkswaterstaat*. Deltares, rapport 11206813-018-ZWS-0003.
- Berends, K., Domhof, B., & Visser, A. (2021). *Pilot zesde generatie 1D SOBEK model voor de Rijn: Modelopzet, kalibratie en validatie o.b.v. FM2PROF*. 11206813-004-ZWS-0002: Deltares.
- Berends, K., Domhof, B., & Visser, T. (2022). *Ontwikkeling zesde-generatie Rijntakkenmodel*. Deltares: 11208053-003-ZWS-0006.
- Domhof, B. (2018). *Discharge and location dependency of calibrated main channel roughness: case study on the river Waal and IJssel*. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184006038>: University of Twente.
- Kosters, A. (2023). *Werkplan MAD 09 2023 - Rijn; Hydraulica schematisaties zoet en zout*. Deltares: 11208053-000-ZWS-0037.
- Kosters, A., Spruyt, A., & Niesten, I. (2021). *Ontwikkeling zesde-generatie Rijntakken model. Modelbouw, kalibratie en validatie*. Deltares: 11206813-003-ZWS-0006.
- Paarlberg, A., & Kater, E. (2018). *Reevediep fase 2 - optimalisatie inlaatdrempel en verkenning systeemwerking*.

A Verschil naamgeving 1D – 2D (sobek-rijn-j22_6-v1a1)

Short_name gebruikt in <i>sobek-rijn-j22_6-v1a1</i>	Long_name gebruikt in 2D of ≥ Sobek_v3.7.25
LE_946.9_L_ST_Stuw-Hagestein-zuidboog	LE_946.9_L_ST_Stuw-Hagestein-vizierboog-zuid
LE_946.9_R_ST_Stuw-Hagestein-noordboog	LE_946.9_R_ST_Stuw-Hagestein-vizierboog-noord
NR_891.5_R_ST_Stuw-Driel-noordboog	NR_891.5_R_ST_Stuw-Driel-vizierboog-noord
NR_922.3_R_ST_Stuw-Amerongen-noordboog	NR_922.3_R_ST_Stuw-Amerongen-vizierboog-noord
NR_922.3_L_ST_Stuw-Amerongen-zuidboog	NR_922.3_L_ST_Stuw-Amerongen-vizierboog-zuid
LE_950.6_R_Sluis_Koninginnensluis-Vreesw	LE_950.6_R_Sluis_Koninginnensluis-Vreeswijk
LE_986.6_L_RWZI_Nieuw-Lekkerland-buitend	LE_986.6_L_RWZI_Nieuw-Lekkerland-buitendijks
WL_933.2_L_RWZI_Bommelerwaard-Oost-buite	WL_933.2_L_RWZI_Bommelerwaard-Oost-buitendijks
BO_957.8_L_Gemaal_Altena-Land-van-Heusde	BO_957.8_L_Gemaal_Altena-Land-van-Heusden-en-Altana
AR_61.9_L_Gemaal_Prinses-Marijkesluizen-	AR_61.9_L_Gemaal_Prinses-Marijkesluizen-lozing
AR_62.2_L_Gemaal_Prinses-Marijkesluizen-	AR_62.2_L_Gemaal_Prinses-Marijkesluizen-onttrekking
AR_70.8_C_Sluis_Prins-Bernhardsluis-noor	AR_70.8_C_Sluis_Prins-Bernhardsluis-noord
AR_62.2_L_Sluis_Prinses-Marijkesluizen-I	AR_62.2_L_Sluis_Prinses-Marijkesluizen-lozing
AR_61.9_L_Sluis_Prinses-Marijkesluizen-o	AR_61.9_L_Sluis_Prinses-Marijkesluizen-onttrekking
IJ_935.2_L_Gemaal_vd-Feltz-Voorsterbeek-	IJ_935.2_L_Gemaal_vd-Feltz-Voorsterbeek-Lage-Leiding
IJ_943.9_R_Gemaal_Ankersmit-Overijssels-	IJ_943.9_R_Gemaal_Ankersmit-Overijssels-kanaal
IJ_948.8_L_Gemaal_vd-Feltz-Toevoerkanaal	IJ_948.8_L_Gemaal_vd-Feltz-Toevoerkanaal-Terwolde
IJ_977.7_L_Gemaal_Veluwe-Grote-wetering-	IJ_977.7_L_Gemaal_Veluwe-Grote-wetering-Wapenveld
IJ_980.0_R_Gemaal_Katerveer-Zwolle-zuid-	IJ_980.0_R_Gemaal_Katerveer-Zwolle-zuid-en-polder-Vijf-marken
IJ_990.1_L_Gemaal_Adsum-Laag-en-hoog-Zal	IJ_990.1_L_Gemaal_Adsum-Laag-en-hoog-Zalk
WL_877.1_R_RWZI_Millingen-Gendt-buitendi	WL_877.1_R_RWZI_Millingen-Gendt-buitendijks
WL_883.4_L_Gemaal_Hollandsch-Duitsch-Het	WL_883.4_L_Gemaal_Hollandsch-Duitsch-Het-Meertje
IJ_885.7_L_Gemaal_Velperwaarden-Rozendaa	IJ_885.7_L_Gemaal_Velperwaarden-Rozendaalsebeek-Beekhuizerbeek
IJ_889.0_L_Gemaal_Rheden-Beekhuizerbeek-	IJ_889.0_L_Gemaal_Rheden-Beekhuizerbeek-Oost
IJ_901.8_R_Gemaal_Bevermeer-Broekhuizerw	IJ_901.8_R_Gemaal_Bevermeer-Broekhuizerwater
IJ_911.6_L_Inlaat_sluis-Dieren-Apeldoorn	IJ_911.6_L_Inlaat_sluis-Dieren-Apeldoorns-kanaal

IJ_918.3_L_Gemaal_van-Sytsema-Leuvenheim	IJ_918.3_L_Gemaal_van-Sytsema-Leuvenheimse-beek
IJ_925.9_L_Gemaal_Colenbrander-Oekense-b	IJ_925.9_L_Gemaal_Colenbrander-Oekense-beek-Rhienderense-beek
IJ_927.7_R_Gemaal_Helbergen-Vierakkerse-	IJ_927.7_R_Gemaal_Helbergen-Vierakkerse-laak-Berkel
NR_887.6_L_Gemaal_Drielsedijk-Arnhem-zui	NR_887.6_L_Gemaal_Drielsedijk-Arnhem-zuid
NR_908.0_R_Inlaat_Grebbesluis-Valleikana	NR_908.0_R_Inlaat_Grebbesluis-Valleikanaal
IJ_879.6_R_LMW-H_Hondsbroeksche-Pleij-IJ	IJ_879.6_R_LMW-H_Hondsbroeksche-Pleij-IJssel
IJ_881.1_R_LMW-H_Westervoort-IJsseldijke	IJ_881.1_R_LMW-H_Westervoort-IJsseldijkerwaard

B Waterstandsverlaging op de IJssel

Deze tabel is achtergrond bij paragraaf 2.2.3.

Tabel B.1 De verlaging van de maximale waterstand bij stationaire standaardsommen ten gevolge van het openen van het Reevediep (m). Negatieve waarden betreft dus een waterstandstoename.

Uitvoerlocatie	6000 m ³ s ⁻¹	8000 m ³ s ⁻¹	10000 m ³ s ⁻¹	13000 m ³ s ⁻¹	16000 m ³ s ⁻¹
IJ_980	0.00	0.00	0.02	0.05	0.10
IJ_980.8_R_LMW-H_Katerveer	0.00	0.00	0.02	0.06	0.11
IJ_981	0.00	0.00	0.02	0.06	0.11
IJ_982	0.00	0.00	0.02	0.06	0.12
IJ_983	0.00	0.00	0.02	0.06	0.12
IJ_984	0.00	0.00	0.02	0.07	0.13
IJ_985	0.00	0.00	0.02	0.07	0.14
IJ_986	0.00	0.00	0.03	0.09	0.17
IJ_987	0.00	0.00	0.03	0.10	0.19
IJ_988	0.00	0.00	0.04	0.11	0.21
IJ_989	0.00	0.00	0.04	0.14	0.24
IJ_990	0.00	0.00	0.05	0.16	0.27
IJ_991	0.00	0.00	0.06	0.18	0.30
IJ_992	0.00	0.00	0.05	0.18	0.31
IJ_993	0.00	0.00	0.04	0.18	0.30
IJ_994	0.00	0.00	0.04	0.17	0.29
IJ_994.5_L_LMW-H_Kampen-bovenhaven	0.00	0.00	0.02	0.17	0.28
IJ_995	0.00	0.00	0.02	0.16	0.27
IJ_996	0.00	0.00	0.01	0.15	0.25
IJ_997	0.00	0.00	0.00	0.15	0.25
IJ_998	0.00	0.00	-0.02	0.14	0.23
IJ_999	0.00	0.00	-0.02	0.13	0.23

C Resultaten

C.1 Dynamische sommen

C.1.1 Tabellen

Tabel C.2 Gemiddeld verschil (bias) in m gedurende de kalibratiesom en gedurende de dynamische sommen

	Kalibratie	D6000	D8000	D10000	D13000	D16000
BR_862.2_R_LMW-H_Lobith	0.01	0.03	0.04	0	0.03	0.04
BR_863.9_R_LMW-H_Lobith-haven	-0.06	0.04	0.02	-0.09	-0.13	-0.18
BR_867.2_L_LMW-H_Pannerdensche-kop	-0.02	0.02	-0.01	-0.08	-0.07	-0.1
WL_884.9_L_LMW-H_Nijmegen-haven	0	0.04	0.02	-0.03	0.01	0.01
WL_901.4_R_LMW-H_Dodewaard	0	0.06	0.01	-0.02	0.02	0.01
WL_913.3_R_LMW-H_Tiel-Waal	-0.07	-0.02	-0.07	-0.11	-0.06	-0.06
WL_926.1_L_LMW-H_Sint-Andries-Waal-g6	-0.18	-0.08	-0.16	-0.23	-0.23	-0.25
WL_934.8_L_LMW-H_Zaltbommel	0.01	0.05	0.02	-0.02	0.03	0.03
WL_951.8_R_LMW-H_Vuren	-0.01	0.01	0.02	-0.02	0.01	0.01
PK_871.8_L_LMW-H_Pannerden	-0.02	0	0.01	-0.07	-0.06	-0.03
PK_876.4_L_LMW-H_Looveer-g6	0.01	0.05	0.09	0.07	0.04	0.01
PK_878.5_R_LMW-H_IJsselkop	0	0.03	0.06	0.06	0.01	0
NR_891.2_R_LMW-H_Driel-boven	0.05	0.11	0.13	0.1	0.09	0.1
NR_891.7_R_LMW-H_Driel-beneden	0	0.06	0.05	0.01	0	0
NR_908.1_L_LMW-H_Grebbe	0.01	0.03	0.1	0.05	-0.01	0.01
NR_922.0_R_LMW-H_Amerongen-boven	0.03	0.05	0.12	0.06	0.01	0.06
NR_922.5_R_LMW-H_Amerongen-beneden	-0.01	0.03	0.12	0.04	-0.03	0
LE_939.8_L_LMW-H_Culemborg-brug	-0.01	0.02	0.11	0.05	-0.01	0.01
LE_946.6_R_LMW-H_Hagestein-boven	0	0.03	0.1	0.05	0.01	0.02
LE_947.1_R_LMW-H_Hagestein-beneden	0	0.03	0.11	0.04	-0.01	0.01
LE_971.6_R_LMW-H_Schoonhoven	0	0.02	0.03	0.05	0.01	0
LE_988.7_R_LMW-H_Krimpen-aan-de-Lek-g6	0.02	0.03	0.02	0.01	0	0.01
IJ_1001.3_L_LMW-H_Keteldiep	0.05	0.09	0.1	0.09	0.03	0

	Kalibratie	D6000	D8000	D10000	D13000	D16000
IJ_881.1_R_LMW-H_Westervoort-IJsseldijkerwaard	0.03	0.04	0.07	0.05	0.02	0.04
IJ_890.7_L_LMW-H_De-Steeg	-0.02	-0.01	0.04	0	-0.06	-0.03
IJ_903.0_R_LMW-H_Doesburg-brug	-0.01	-0.02	0.02	-0.01	0	0.01
IJ_929.3_L_LMW-H_Zutphen-noord	0	-0.01	0.03	0.05	0.02	0.02
IJ_931.2_R_LMW-H_Eefde-beneden	0.04	0	0.05	0.09	0.08	0.08
IJ_945.0_R_LMW-H_Deventer	0	-0.01	0.01	0.03	0.03	0.03
IJ_957.1_R_LMW-H_Olst	0.01	-0.02	0.02	0.03	-0.03	-0.02
IJ_965.2_R_LMW-H_Wijhe	0	-0.01	0.01	0.01	-0.03	-0.03
IJ_980.8_R_LMW-H_Katerveer	0.01	0	0.01	0.02	0.03	0.01
IJ_994.5_L_LMW-H_Kampen-bovenhaven	0.01	0.01	0	-0.01	-0.03	-0.09

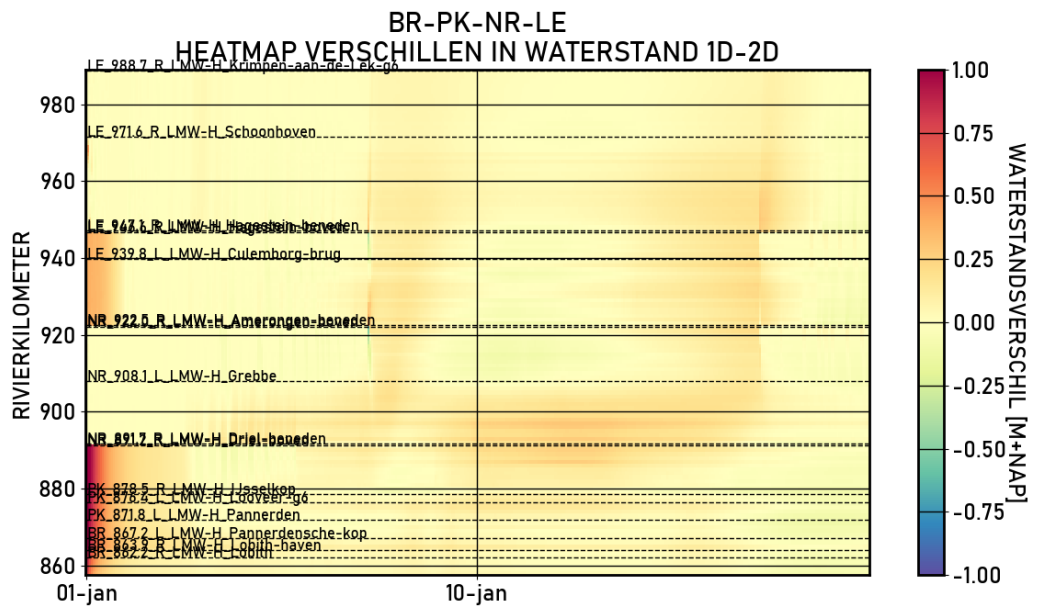
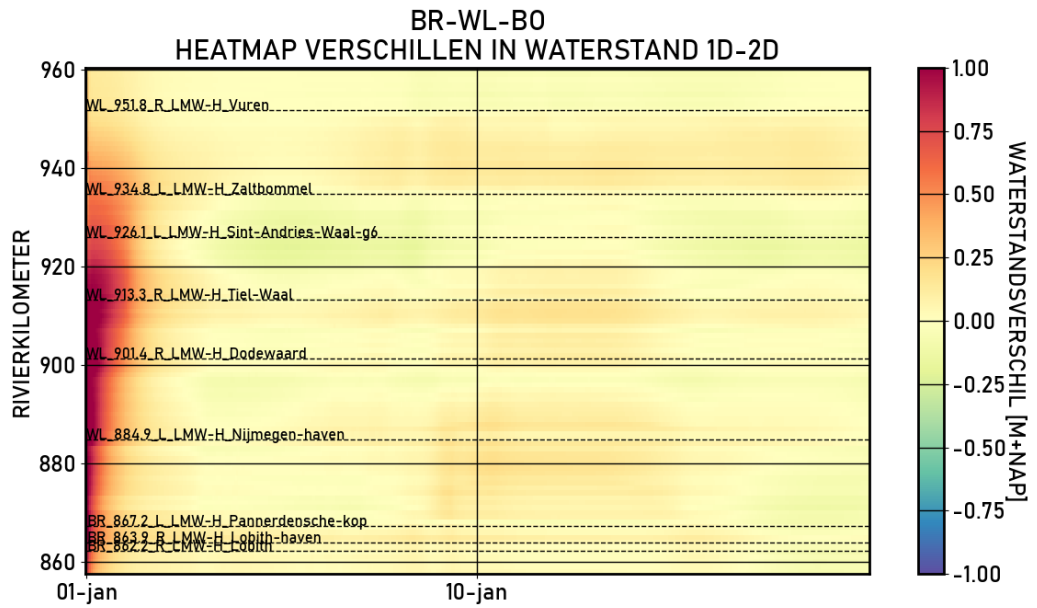
Tabel C.3 Standaardafwijking in m voor de kalibratie en dynamische sommen

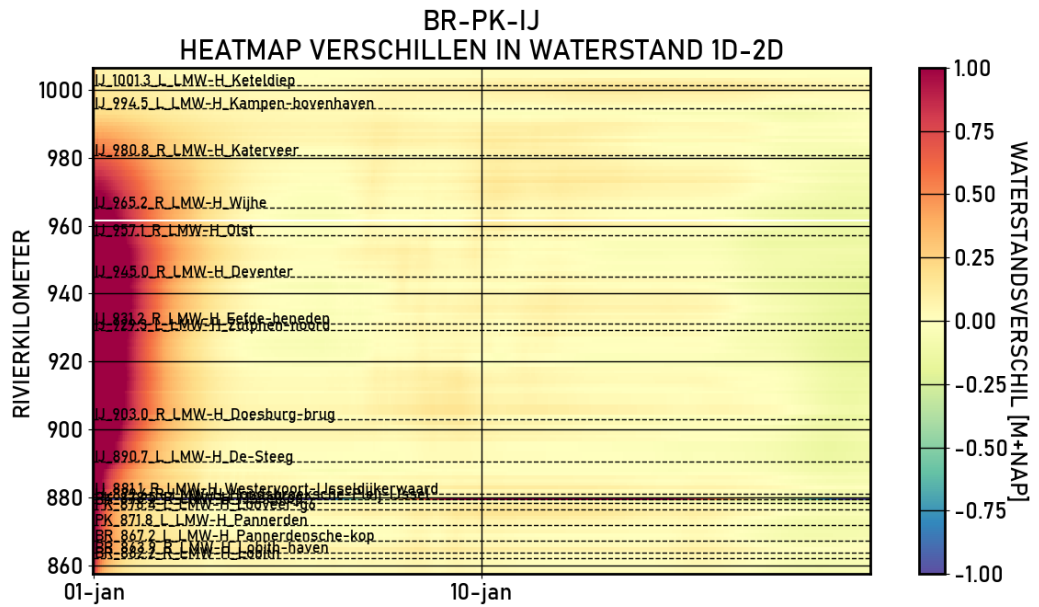
	Kalibratie	D6000	D8000	D10000	D13000	D16000
BR_862.2_R_LMW-H_Lobith	0.04	0.04	0.04	0.08	0.08	0.08
BR_863.9_R_LMW-H_Lobith-haven	0.13	0.04	0.06	0.17	0.12	0.08
BR_867.2_L_LMW-H_Pannerdenschekop	0.09	0.04	0.06	0.13	0.09	0.07
WL_884.9_L_LMW-H_Nijmegen-haven	0.05	0.03	0.05	0.09	0.09	0.08
WL_901.4_R_LMW-H_Dodewaard	0.06	0.05	0.09	0.1	0.1	0.08
WL_913.3_R_LMW-H_Tiel-Waal	0.07	0.04	0.08	0.11	0.11	0.09
WL_926.1_L_LMW-H_Sint-Andries-Waal-g6	0.11	0.06	0.13	0.16	0.12	0.09
WL_934.8_L_LMW-H_Zaltbommel	0.06	0.03	0.11	0.12	0.12	0.1
WL_951.8_R_LMW-H_Vuren	0.03	0.01	0.06	0.08	0.07	0.06
PK_871.8_L_LMW-H_Pannerden	0.07	0.05	0.04	0.13	0.09	0.11
PK_876.4_L_LMW-H_Looveer-g6	0.05	0.06	0.04	0.08	0.07	0.07
PK_878.5_R_LMW-H_IJsselkop	0.05	0.05	0.04	0.08	0.08	0.07
NR_891.2_R_LMW-H_Driel-boven	0.09	0.1	0.12	0.17	0.12	0.11
NR_891.7_R_LMW-H_Driel-beneden	0.08	0.09	0.13	0.19	0.13	0.12

	Kalibratie	D6000	D8000	D10000	D13000	D16000
NR_908.1_L_LMW-H_Grebbe	0.04	0.06	0.11	0.18	0.11	0.1
NR_922.0_R_LMW-H_Amerongen-boven	0.07	0.08	0.15	0.19	0.12	0.11
NR_922.5_R_LMW-H_Amerongen-beneden	0.06	0.08	0.15	0.19	0.1	0.1
LE_939.8_L_LMW-H_Culemborg-brug	0.05	0.06	0.15	0.16	0.08	0.08
LE_946.6_R_LMW-H_Hagestein-boven	0.06	0.06	0.15	0.16	0.1	0.1
LE_947.1_R_LMW-H_Hagestein-beneden	0.04	0.07	0.15	0.15	0.09	0.09
LE_971.6_R_LMW-H_Schoonhoven	0.04	0.03	0.07	0.1	0.08	0.08
LE_988.7_R_LMW-H_Krimpen-aan-de-Lek-g6	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03
IJ_1001.3_L_LMW-H_Keteldiep	0.06	0.04	0.03	0.03	0.08	0.08
IJ_881.1_R_LMW-H_Westervoort-IJsseldijkerwaard	0.05	0.04	0.03	0.08	0.07	0.07
IJ_890.7_L_LMW-H_De-Steeg	0.14	0.05	0.03	0.07	0.08	0.1
IJ_903.0_R_LMW-H_Doesburg-brug	0.03	0.05	0.03	0.04	0.06	0.06
IJ_929.3_L_LMW-H_Zutphen-noord	0.03	0.06	0.02	0.03	0.05	0.05
IJ_931.2_R_LMW-H_Eefde-beneden	0.04	0.06	0.03	0.05	0.06	0.06
IJ_945.0_R_LMW-H_Deventer	0.03	0.06	0.03	0.05	0.07	0.05
IJ_957.1_R_LMW-H_Olst	0.03	0.06	0.04	0.04	0.07	0.07
IJ_965.2_R_LMW-H_Wijhe	0.03	0.06	0.04	0.07	0.11	0.1
IJ_980.8_R_LMW-H_Katerveer	0.03	0.05	0.04	0.07	0.07	0.07
IJ_994.5_L_LMW-H_Kampen-bovenhaven	0.03	0.03	0.03	0.05	0.05	0.09

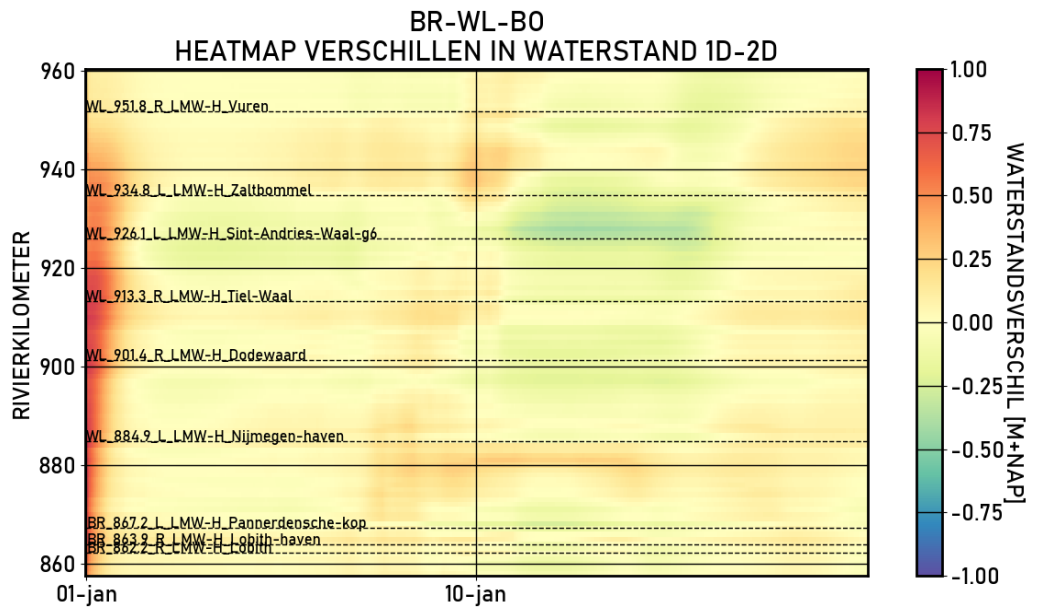
C.1.2 Heatmaps

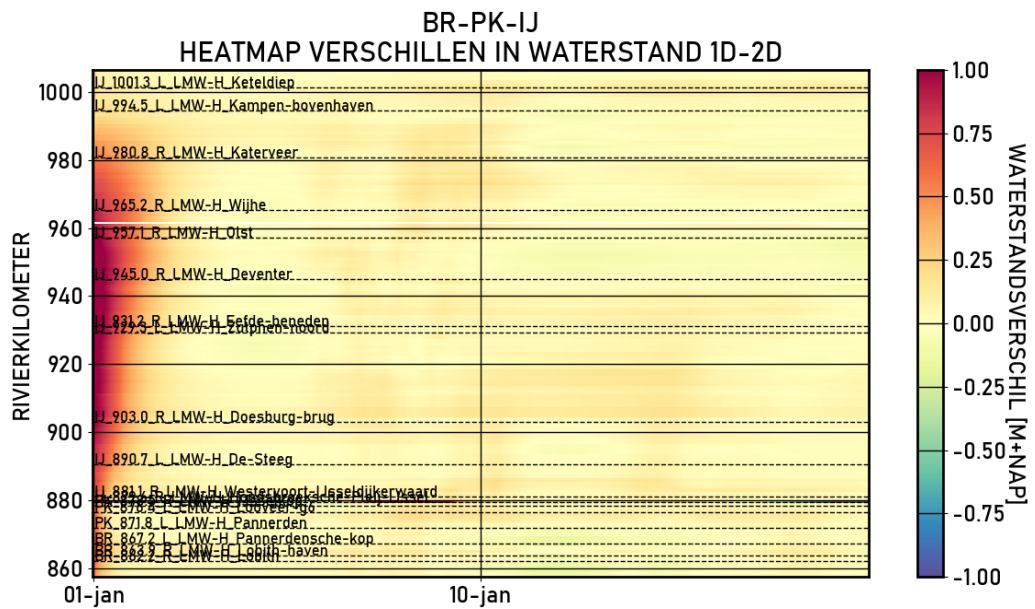
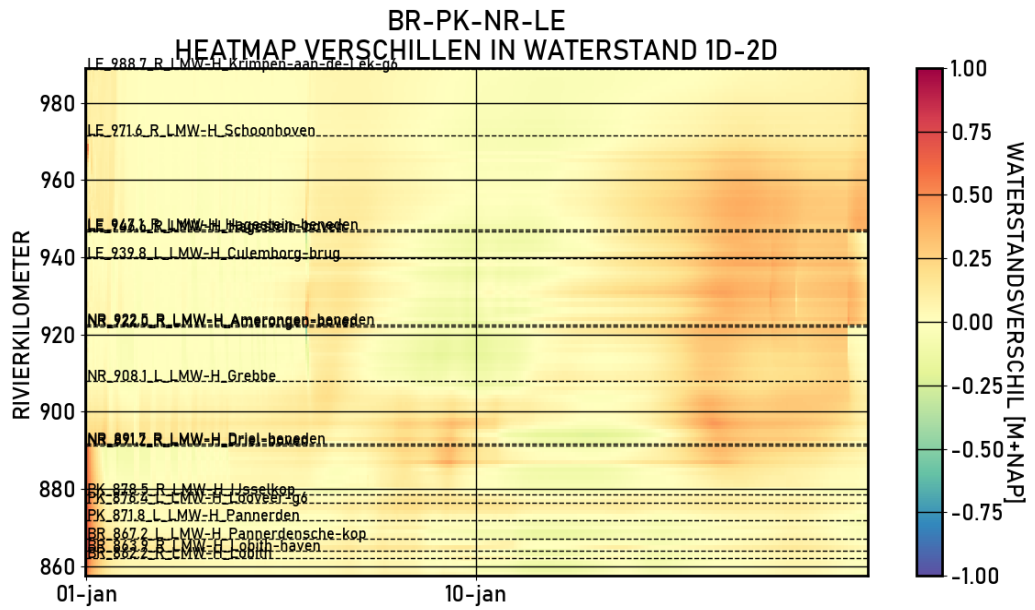
Een heatmap is een driedimensionale weergave van een simulatieresultaat. Langs de twee assen staan tijd en ruimte (rivierkilometer). De kleur geeft het verschil met 2D aan. Op deze manier kan voor elke som gekeken worden waar en wanneer verschillen optreden met 2D. Hierdoor zijn heatmaps nuttige analyse instrumenten. Let hierbij op de dat de inspeelperiode (ongeveer tot en met 7 januari) is in deze figuren niet eruit geknipt. Dit is puur visueel - de inspeelperiode wordt niet meegenomen in de bepaling van statistieken.

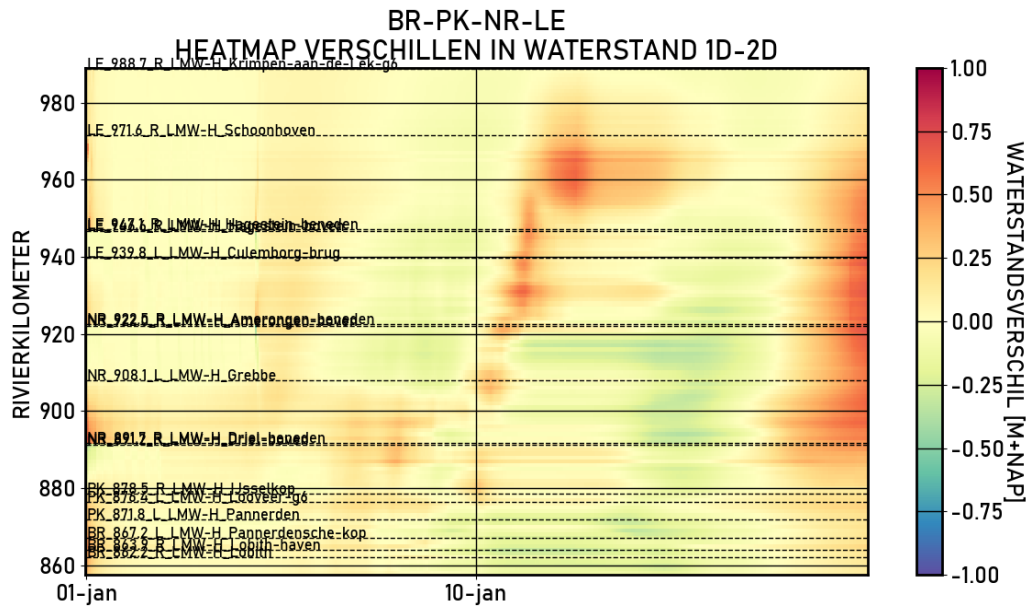
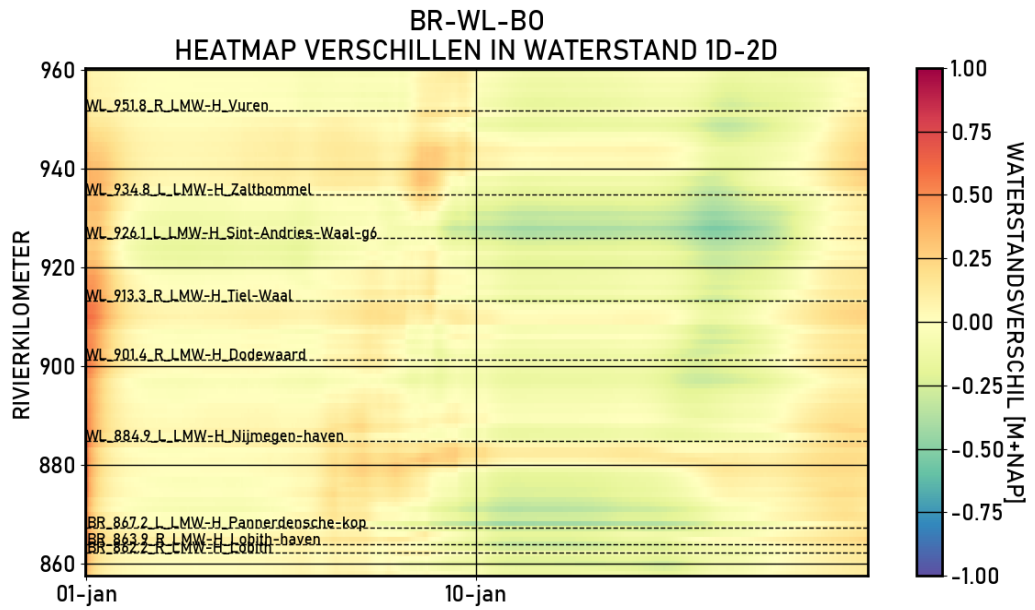


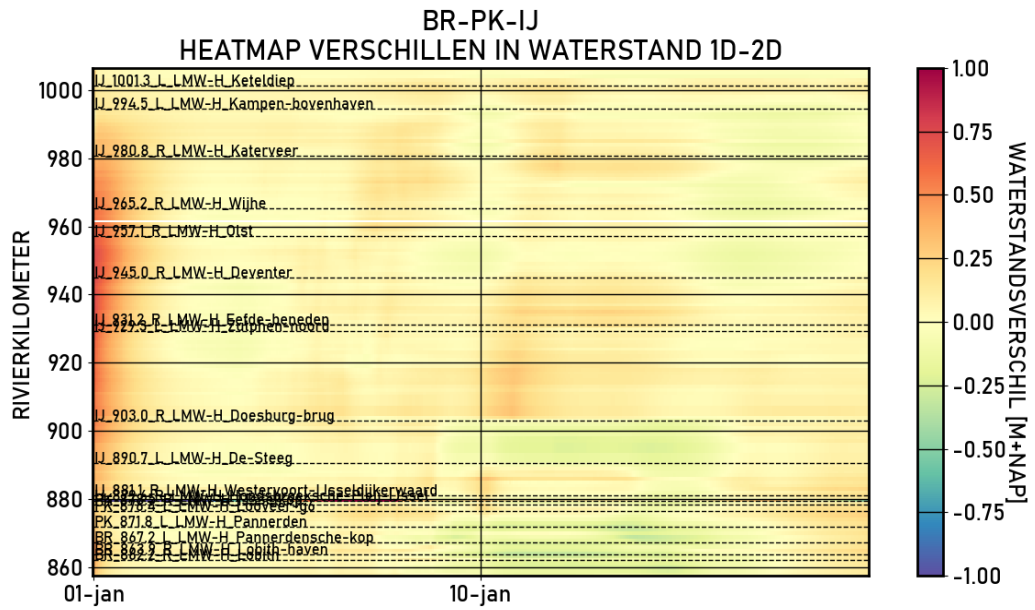


C.1.2.2. D8000

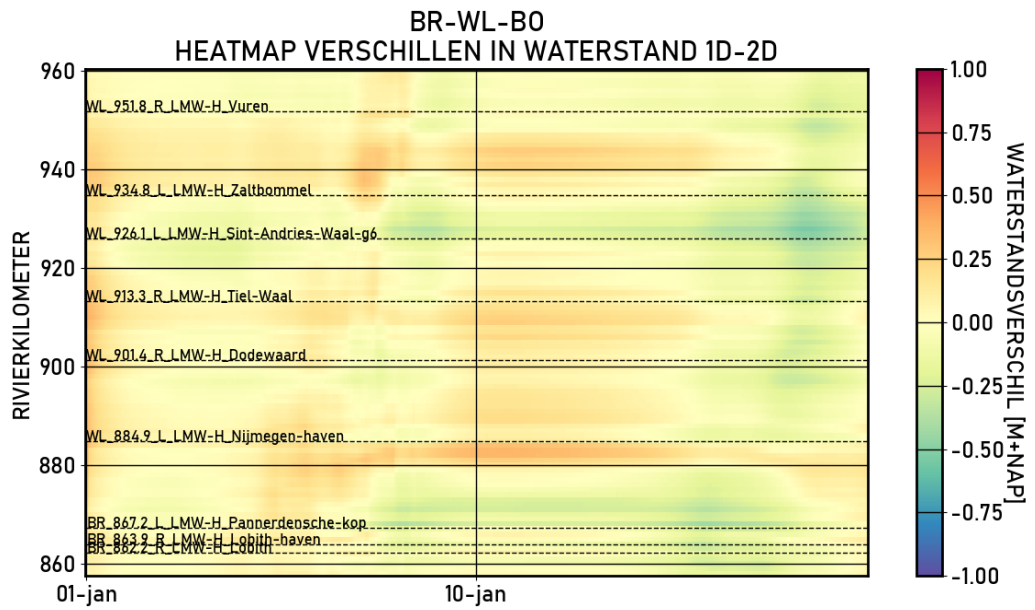


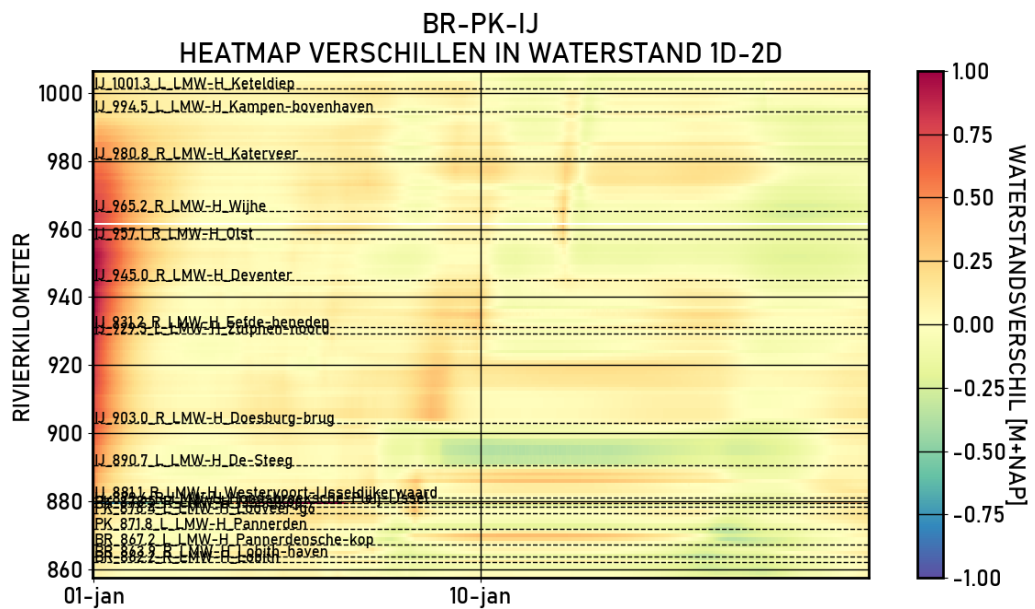
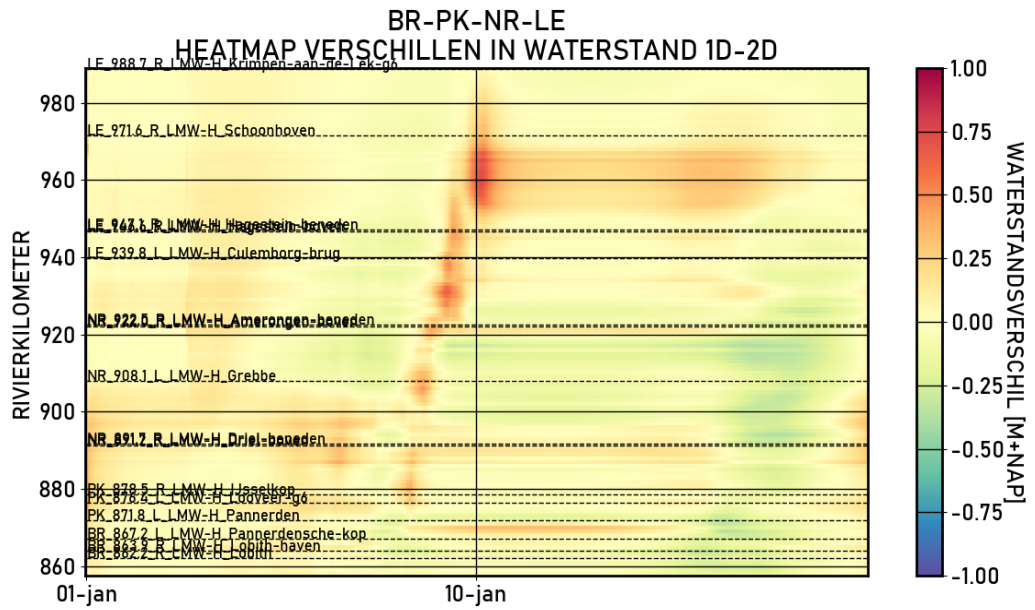


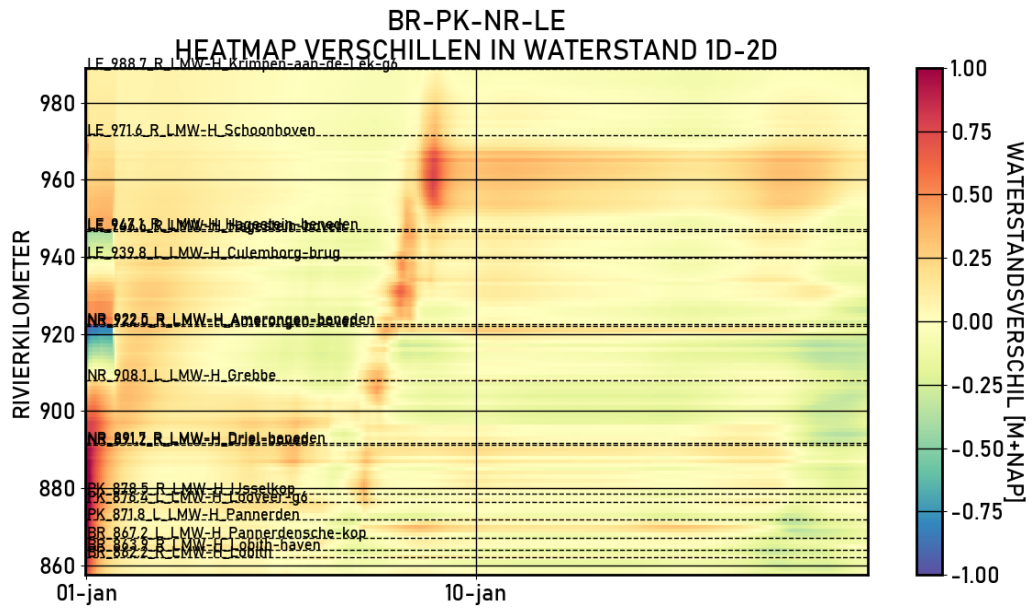
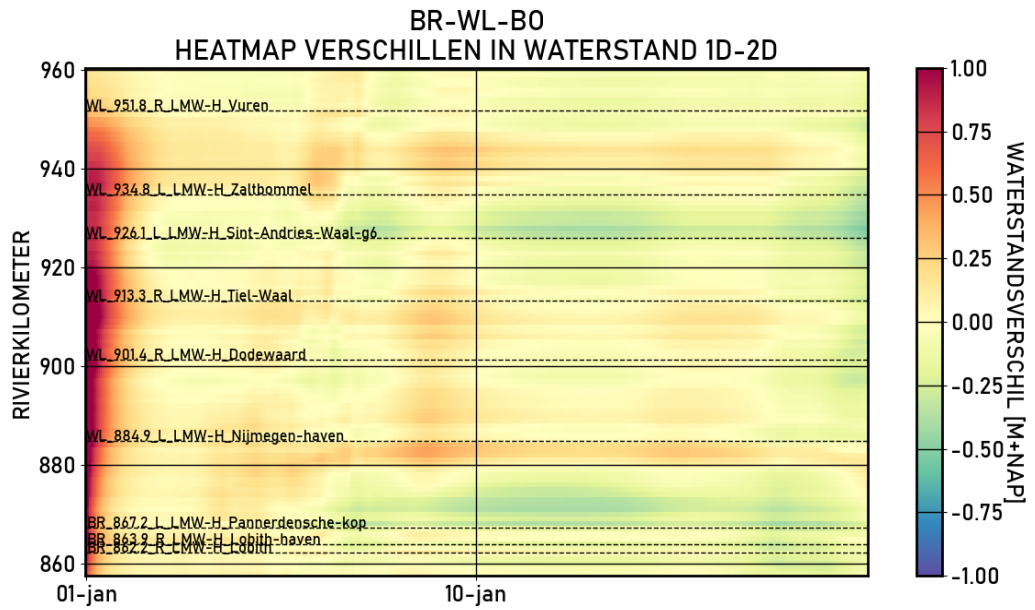




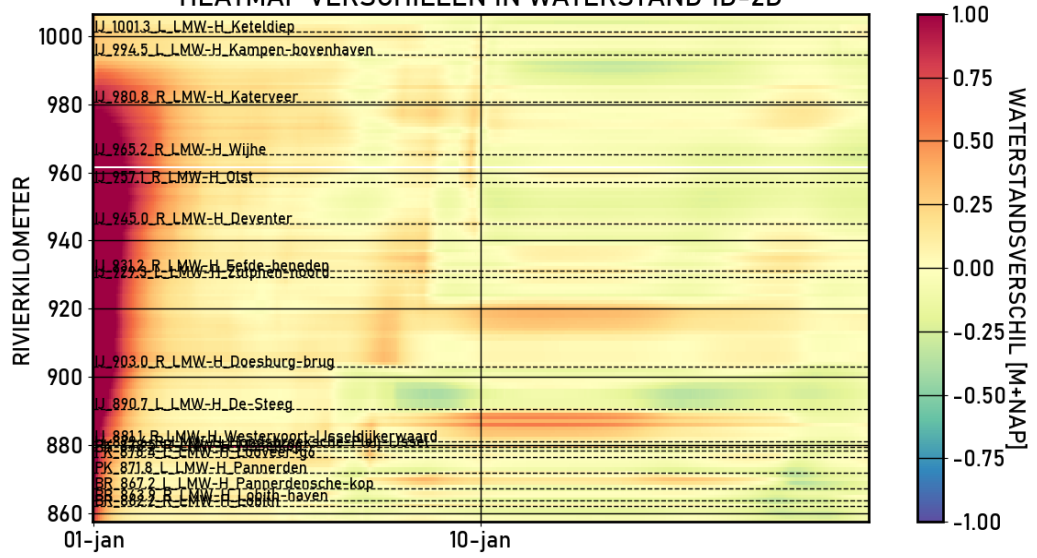
C.1.2.4. D13000







BR-PK-IJ
HEATMAP VERSCHILLEN IN WATERSTAND 1D-2D



C.2 Stationaire sommen

C.2.1 Tabellen

Tabel C.4 Gemiddeld verschil (bias) in m voor de kalibratie en de stationaire sommen

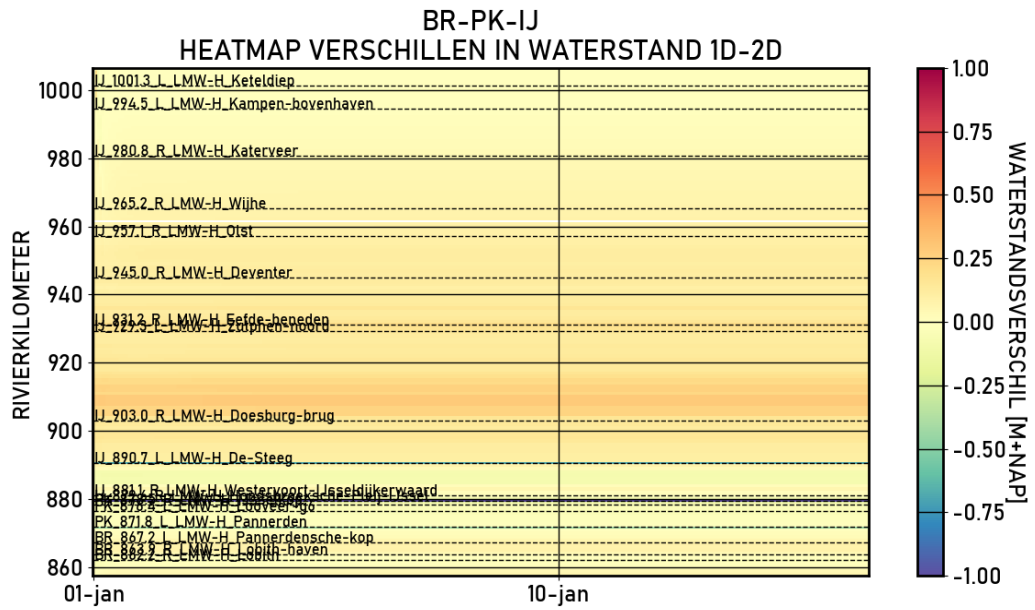
	Kalibratie	S_600	S_1020	S_2000	S_4000	S_6000	S_8000	S10000	S13000	S16000
BR_862.2_R_LMW-H_Lobith	0.01	-0.01	-0.02	0.02	0	0.03	-0.04	-0.09	0.11	0.09
BR_863.9_R_LMW-H_Lobith-haven	-0.06	0.04	0.02	0.05	0.01	0.04	-0.15	-0.32	-0.14	-0.21
BR_867.2_L_LMW-H_Pannerdenschekop	-0.02	0.08	0.08	0.06	-0.03	0.03	-0.15	-0.21	-0.01	-0.12
WL_884.9_L_LMW-H_Nijmegen-haven	0	0	0.05	-0.05	-0.01	0.03	-0.09	-0.12	0.12	0.02
WL_901.4_R_LMW-H_Dodewaard	0	-0.02	0.05	-0.03	-0.02	0.11	-0.16	-0.07	0.12	-0.03
WL_913.3_R_LMW-H_Tiel-Waal	-0.07	-0.07	0.01	-0.06	-0.09	0.02	-0.22	-0.19	0.06	-0.08
WL_926.1_L_LMW-H_Sint-Andries-Waal-g6	-0.18	-0.05	-0.02	-0.16	-0.16	-0.05	-0.4	-0.35	-0.17	-0.33
WL_934.8_L_LMW-H_Zaltbommel	0.01	-0.02	0.03	-0.02	0.02	0.04	-0.2	-0.07	0.14	-0.02
WL_951.8_R_LMW-H_Vuren	-0.01	-0.02	-0.01	0	0	-0.01	-0.05	-0.06	0.05	-0.05
PK_871.8_L_LMW-H_Pannerden	-0.02	-0.44	0.01	-0.02	-0.06	0.04	-0.09	-0.18	-0.01	0.08
PK_876.4_L_LMW-H_Looveer-g6	0.01	-0.03	-0.03	-0.03	-0.01	0.13	0.01	0.05	-0.03	-0.01
PK_878.5_R_LMW-H_IJsselkop	0	-0.03	-0.02	-0.01	-0.05	0.11	-0.03	0.01	-0.05	0
NR_891.2_R_LMW-H_Driel-boven	0.05	-0.03	-0.02	-0.05	0.01	0.26	-0.16	0.09	0.12	0.11
NR_891.7_R_LMW-H_Driel-beneden	0	-0.03	0	0.07	-0.07	0.17	-0.26	-0.02	0.03	0.01
NR_908.1_L_LMW-H_Grebbe	0.01	-0.03	0	0	0.1	0.04	-0.13	0.03	-0.01	0.04
NR_922.0_R_LMW-H_Amerongen-boven	0.03	-0.03	0	0	0.14	0.04	-0.14	0.05	0.08	0.1
NR_922.5_R_LMW-H_Amerongen-beneden	-0.01	-0.08	0.01	-0.01	0.12	0.02	-0.14	0	0	0.02
LE_939.8_L_LMW-H_Culemborg-brug	-0.01	-0.08	0.01	0	0.07	0.03	-0.04	0.01	-0.02	0.01
LE_946.6_R_LMW-H_Hagestein-boven	0	-0.08	0.01	0	0.09	0.03	-0.06	0.04	0	-0.01
LE_947.1_R_LMW-H_Hagestein-beneden	0	0	0	0	0.07	0.02	-0.06	0	-0.03	0.01
LE_971.6_R_LMW-H_Schoonhoven	0	0	0	0	0.04	-0.01	-0.05	0.1	-0.06	-0.03
LE_988.7_R_LMW-H_Krimpen-aan-de-Lek-g6	0.02	0	0	0.01	0.06	0.01	-0.04	0.02	-0.01	0.04
IJ_1001.3_L_LMW-H_Keteldiep	0.05	0	0.01	0.01	0.05	0.13	0.09	-0.06	-0.07	-0.02
IJ_881.1_R_LMW-H_Westervoort	0.03	0.01	0.01	0.03	-0.02	0.08	-0.05	-0.01	0.02	0.11

	Kalibratie	S_600	S_1020	S_2000	S_4000	S_6000	S_8000	S10000	S13000	S16000
IJsseldijkerwaard										
IJ_890.7_L_LMW-H_De-Steeg	-0.02	-0.69	0.06	-0.03	-0.09	0.01	-0.06	-0.08	-0.15	0.12
IJ_903.0_R_LMW-H_Doesburg-brug	-0.01	0.14	0.1	-0.04	-0.09	-0.04	-0.06	-0.01	0.02	0.04
IJ_929.3_L_LMW-H_Zutphen-noord	0	0.17	0.15	-0.03	-0.11	0.01	-0.02	0.04	-0.05	0.06
IJ_931.2_R_LMW-H_Eefde-beneden	0.04	0.21	0.17	-0.02	-0.1	0.02	0.02	0.15	0.01	0.13
IJ_945.0_R_LMW-H_Deventer	0	0.11	0.14	-0.03	-0.13	-0.01	-0.07	0.09	-0.01	0.02
IJ_957.1_R_LMW-H_Olst	0.01	0.09	0.12	-0.02	-0.15	-0.02	-0.06	0.04	-0.11	0.01
IJ_965.2_R_LMW-H_Wijhe	0	0.07	0.11	-0.01	-0.14	-0.01	-0.12	0.06	-0.12	-0.05
IJ_980.8_R_LMW-H_Katerveer	0.01	0.03	0.06	0.01	-0.12	-0.02	-0.09	0.06	-0.02	-0.08
IJ_994.5_L_LMW-H_Kampen-bovenhaven	0.01	0.01	0.02	0.02	-0.01	-0.02	-0.09	-0.08	-0.11	-0.24

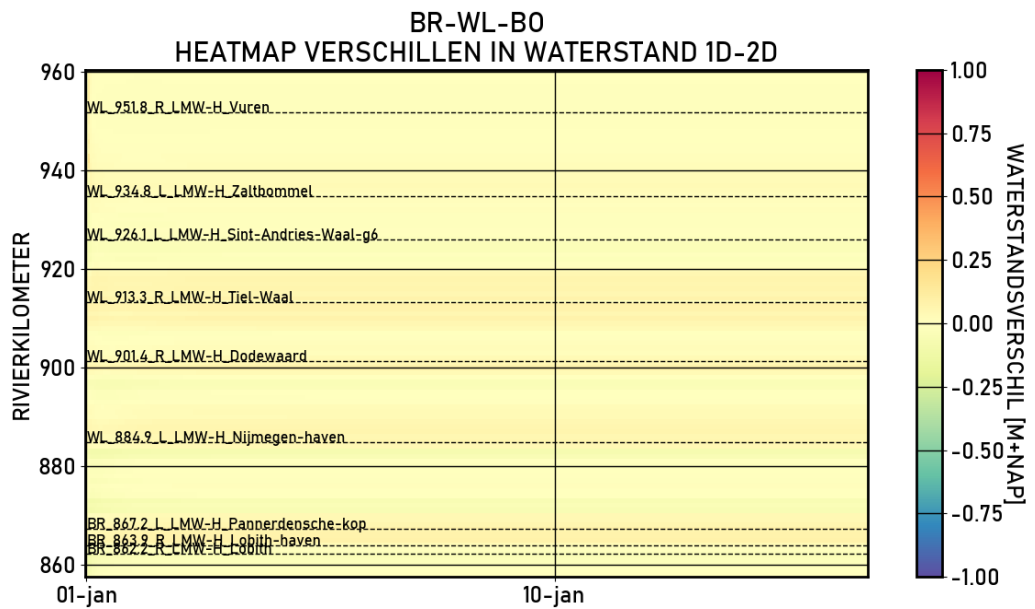
Tabel C.5 Standaardafwijking in m voor de kalibratie en stationaire sommen

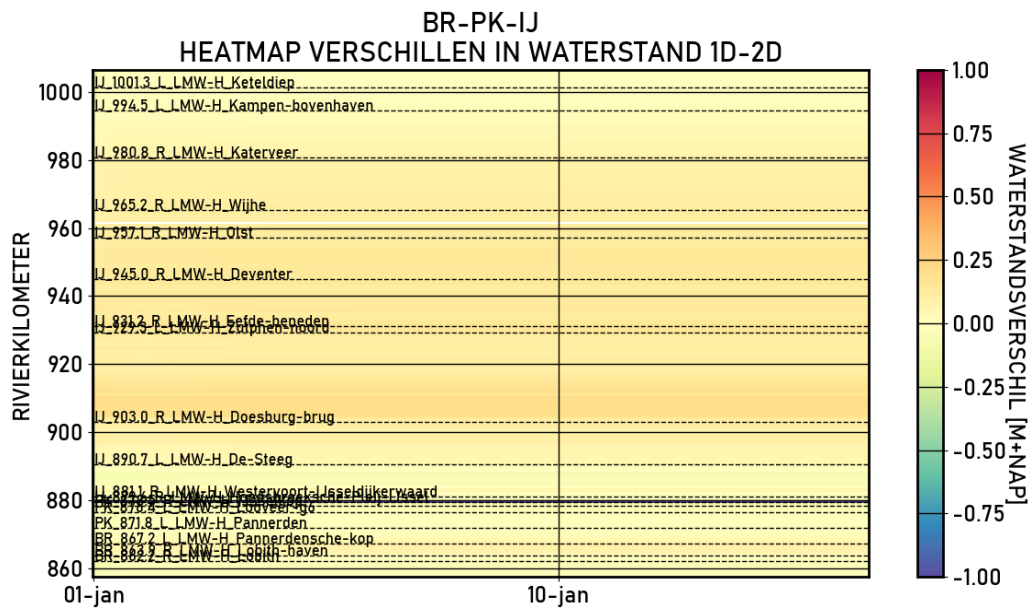
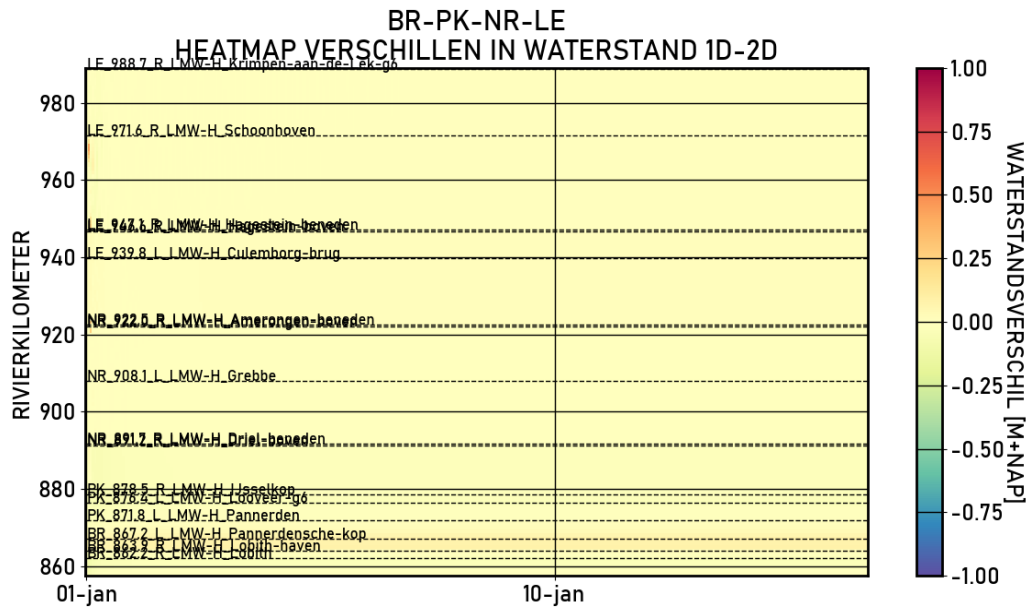
	Kalibratie	S_600	S_1020	S_2000	S_4000	S_6000	S_8000	S10000	S13000	S16000
BR_862.2_R_LMW-H_Lobith	0.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR_863.9_R_LMW-H_Lobith-haven	0.13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR_867.2_L_LMW-H_Pannerdenschekop	0.09	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WL_884.9_L_LMW-H_Nijmegen-haven	0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WL_901.4_R_LMW-H_Dodewaard	0.06	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WL_913.3_R_LMW-H_Tiel-Waal	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WL_926.1_L_LMW-H_Sint-Andries-Waal-g6	0.11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WL_934.8_L_LMW-H_Zaltbommel	0.06	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WL_951.8_R_LMW-H_Vuren	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PK_871.8_L_LMW-H_Pannerden	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PK_876.4_L_LMW-H_Looveer-g6	0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PK_878.5_R_LMW-H_IJsselkop	0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NR_891.2_R_LMW-H_Driel-boven	0.09	0	0	0	0	0	0	0	0	0

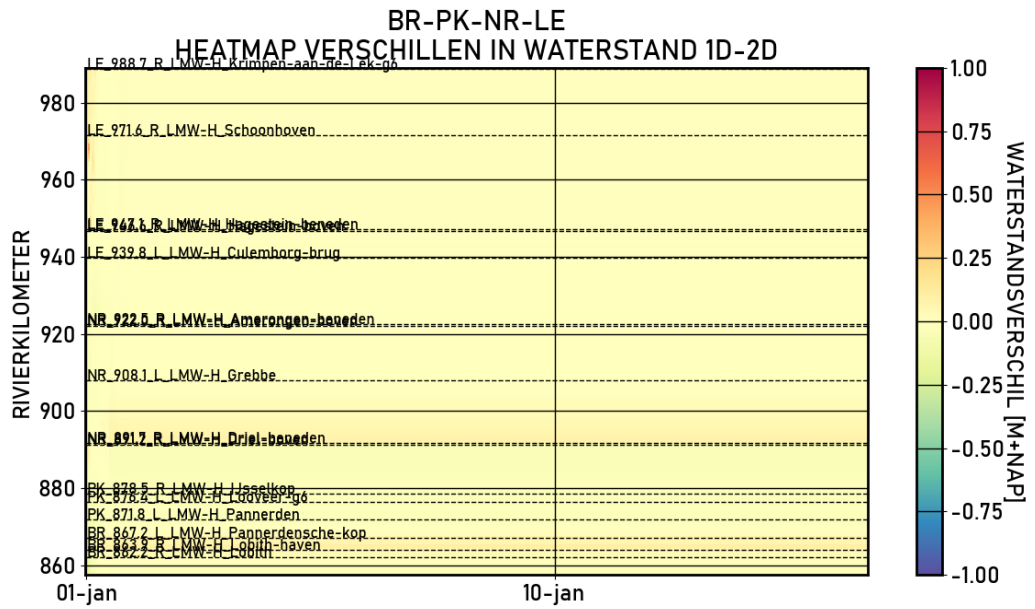
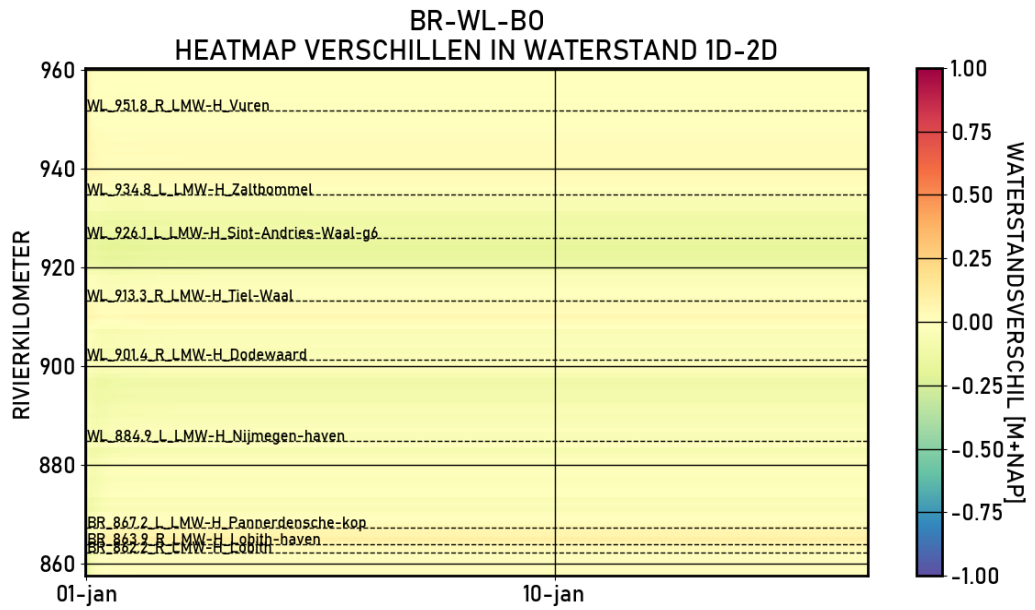
	Kalibratie	S_600	S_1020	S_2000	S_4000	S_6000	S_8000	S10000	S13000	S16000
NR_891.7_R_LMW-H_Driel-beneden	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NR_908.1_L_LMW-H_Grebbe	0.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NR_922.0_R_LMW-H_Amerongen-boven	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NR_922.5_R_LMW-H_Amerongen-beneden	0.06	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LE_939.8_L_LMW-H_Culemborg-brug	0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LE_946.6_R_LMW-H_Hagestein-boven	0.06	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LE_947.1_R_LMW-H_Hagestein-beneden	0.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LE_971.6_R_LMW-H_Schoonhoven	0.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LE_988.7_R_LMW-H_Krimpen-aan-de-Lek-g6	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IJ_1001.3_L_LMW-H_Keteldiep	0.06	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IJ_881.1_R_LMW-H_Westervoort-IJsseldijkerwaard	0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IJ_890.7_L_LMW-H_De-Steeg	0.14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IJ_903.0_R_LMW-H_Doesburg-brug	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IJ_929.3_L_LMW-H_Zutphen-noord	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IJ_931.2_R_LMW-H_Eefde-beneden	0.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IJ_945.0_R_LMW-H_Deventer	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IJ_957.1_R_LMW-H_Olst	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IJ_965.2_R_LMW-H_Wijhe	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IJ_980.8_R_LMW-H_Katerveer	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IJ_994.5_L_LMW-H_Kampen-bovenhaven	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0

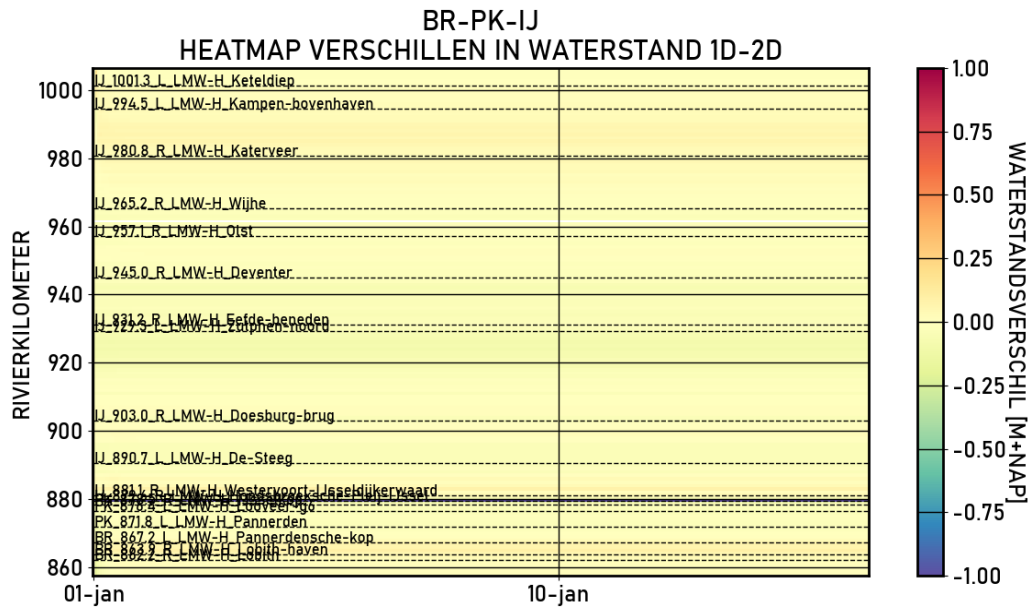


C.2.2.2. S 1020

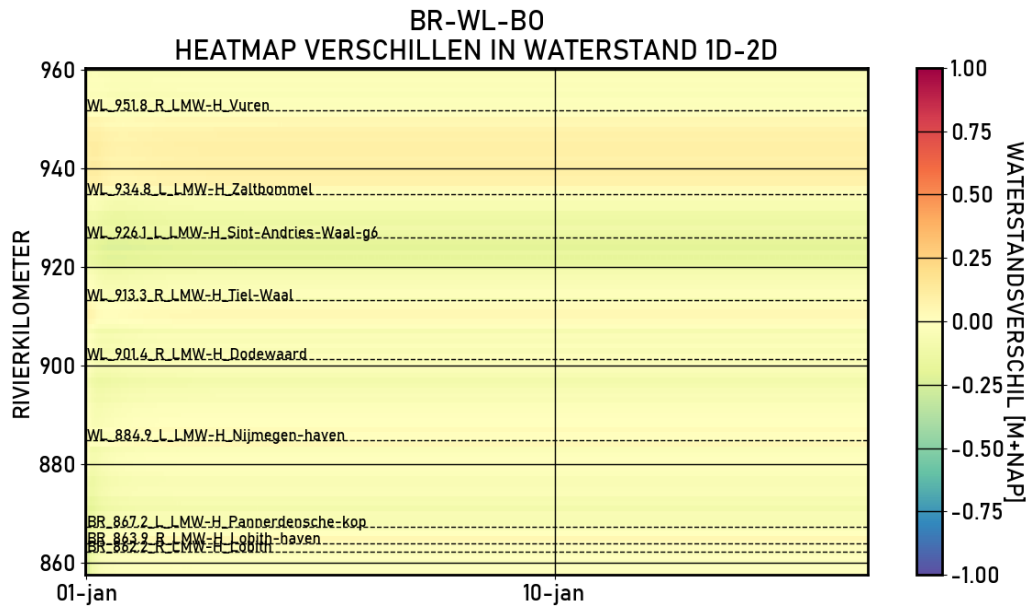


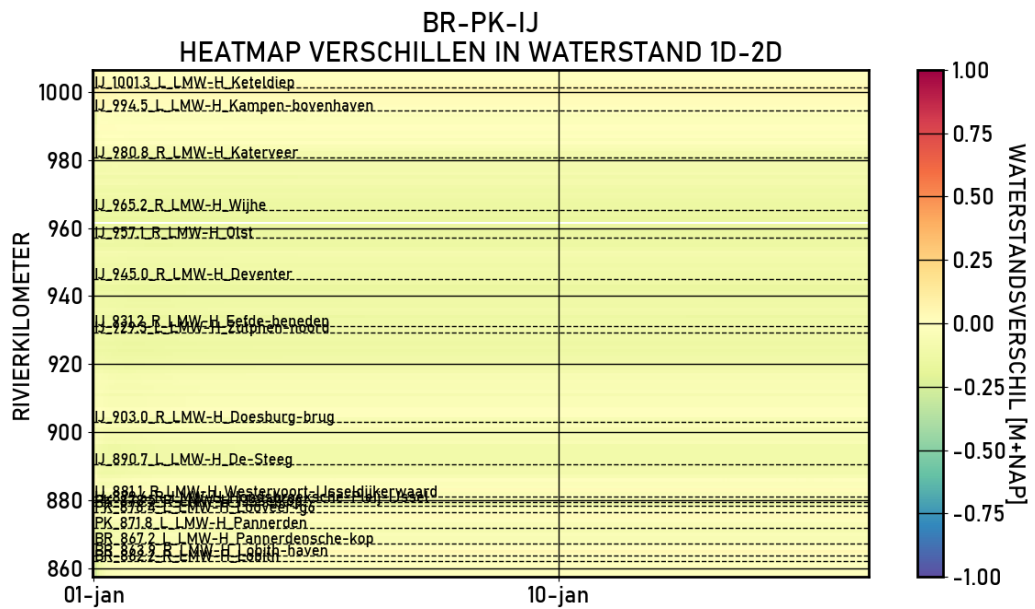
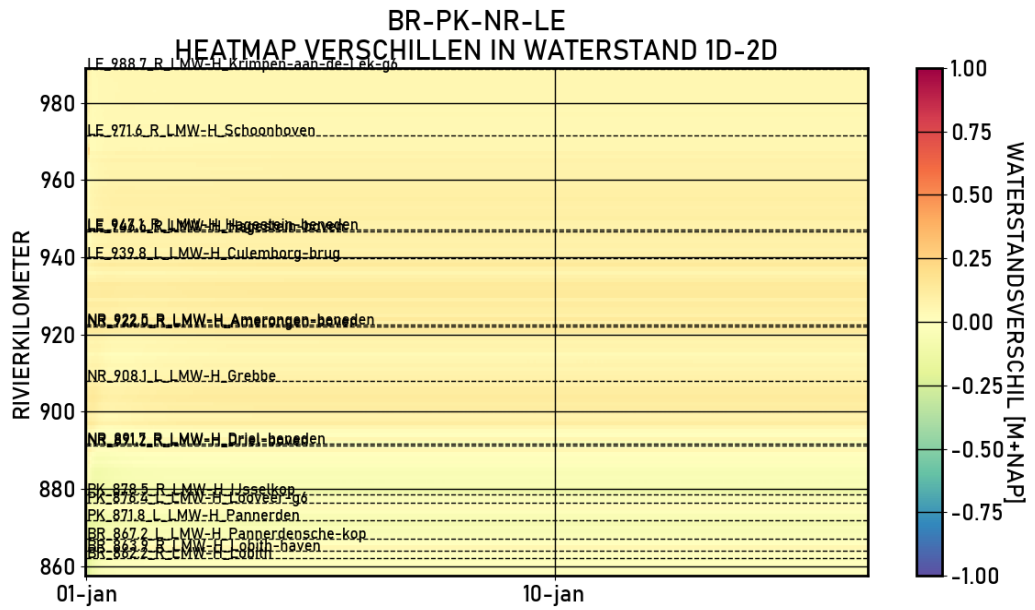


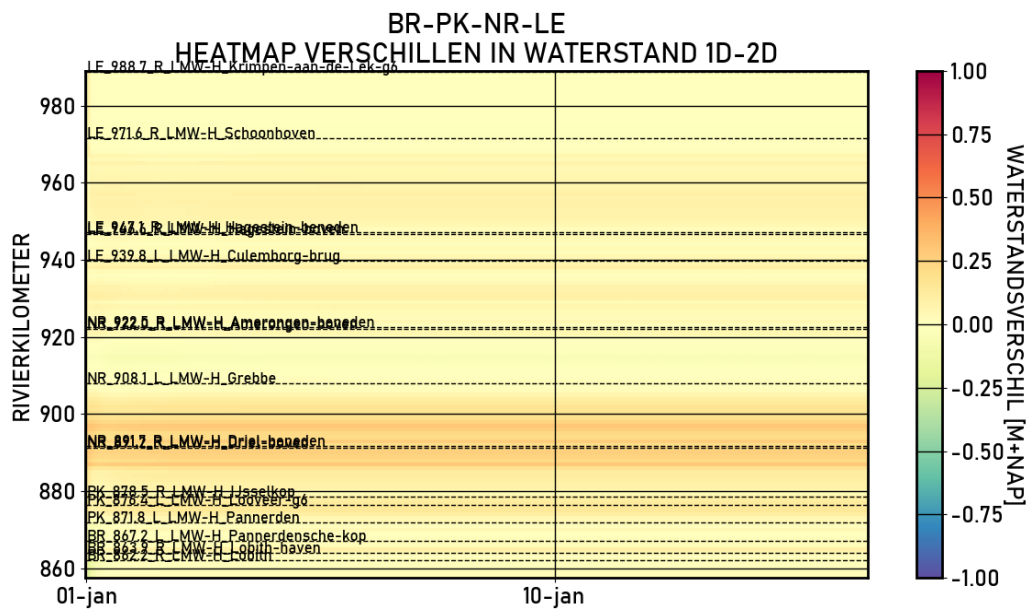
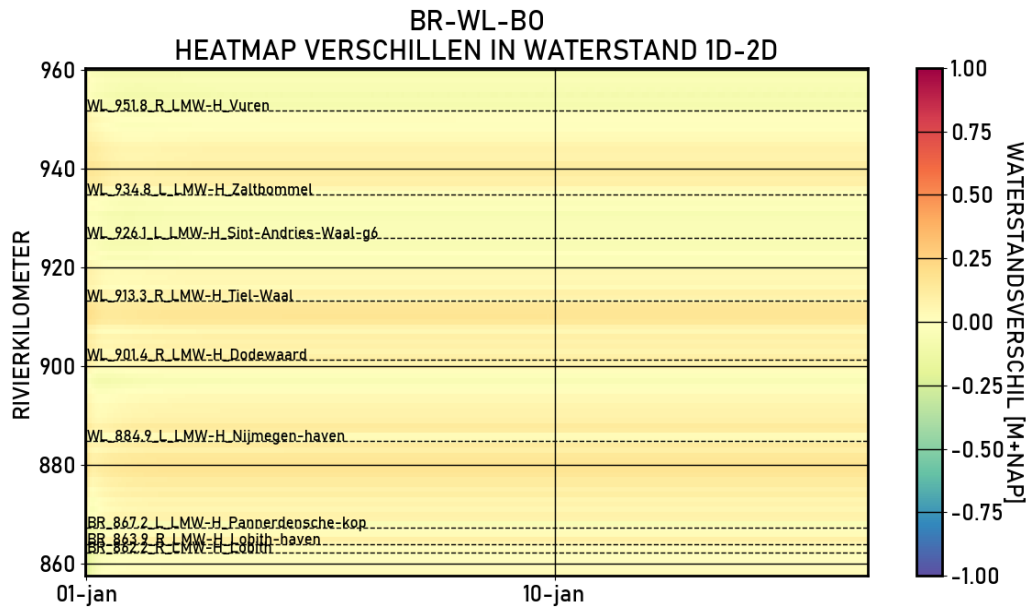


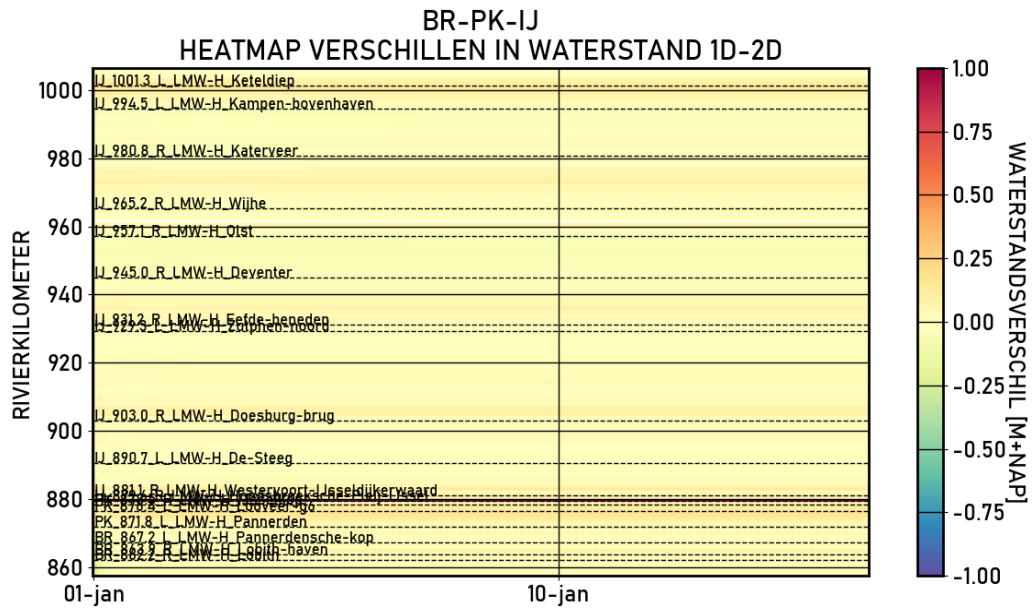


C.2.2.4. S 4000

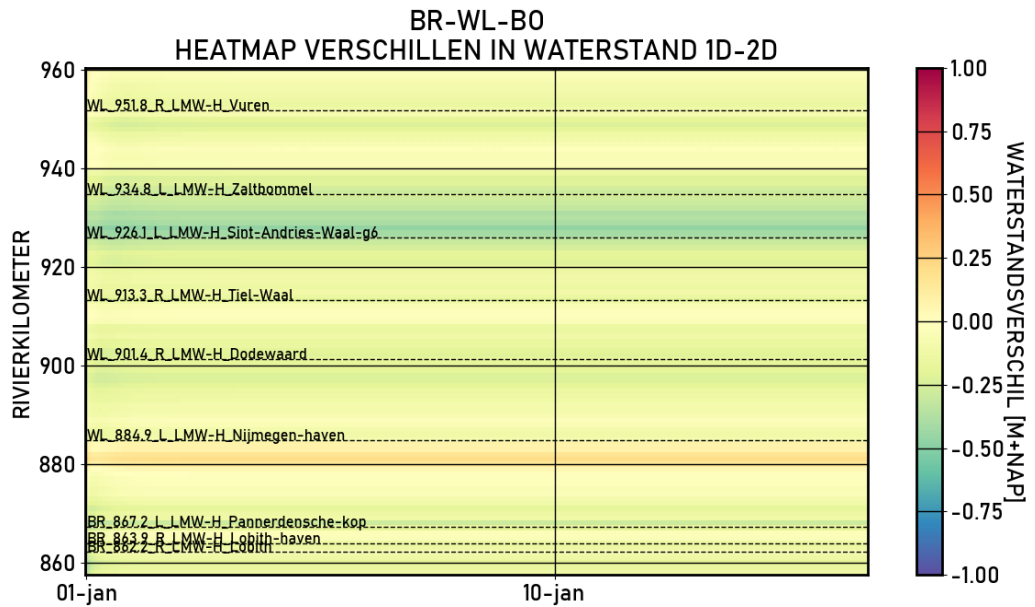


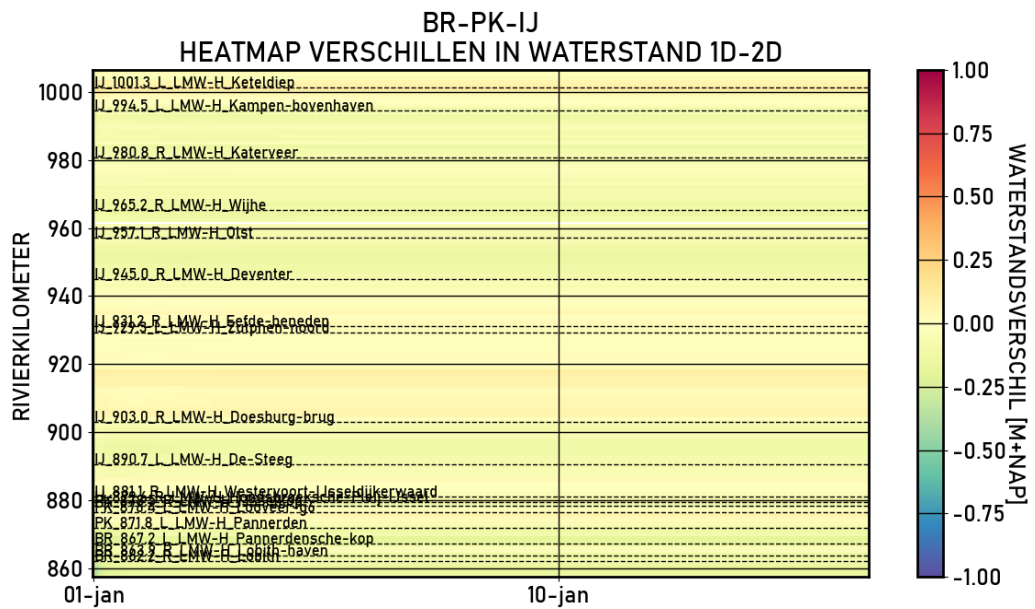
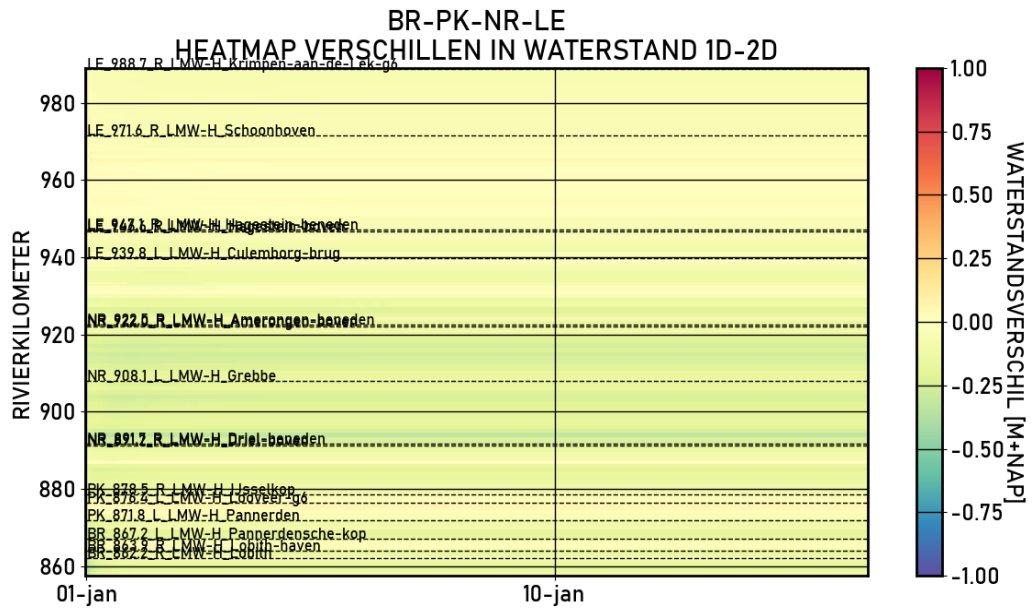


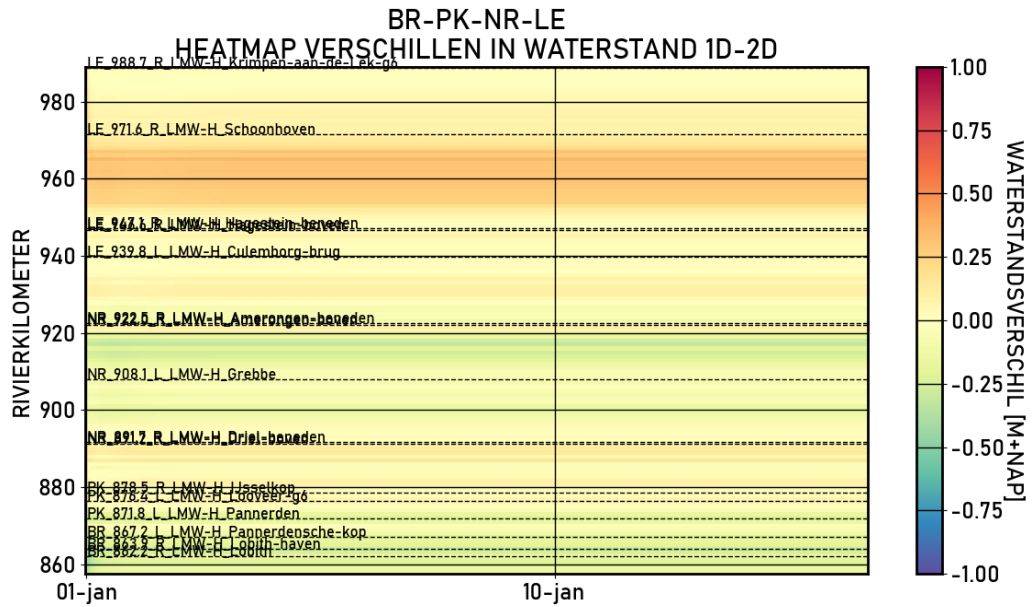
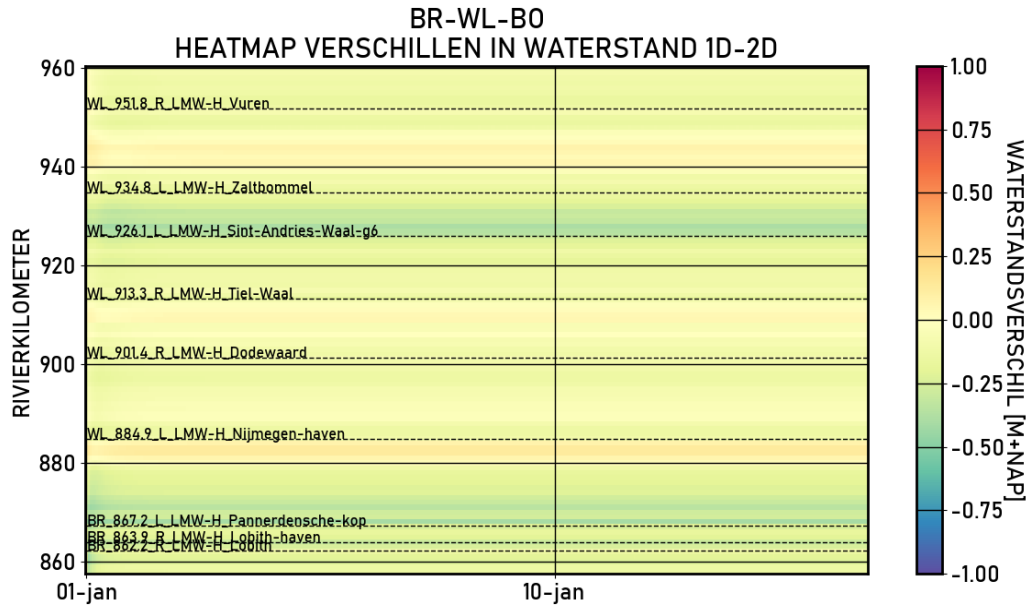


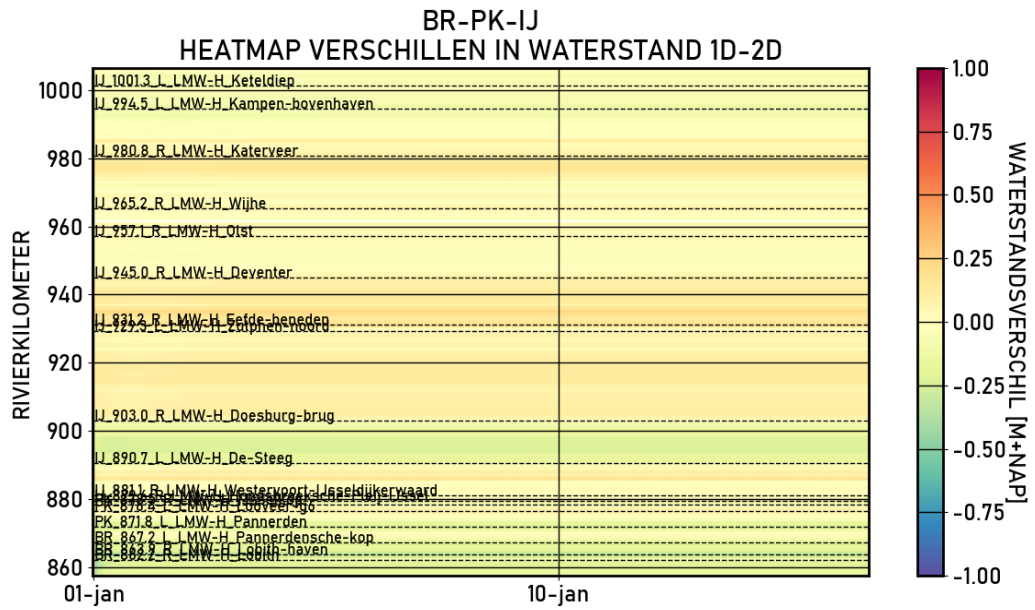


C.2.2.6. S 8000

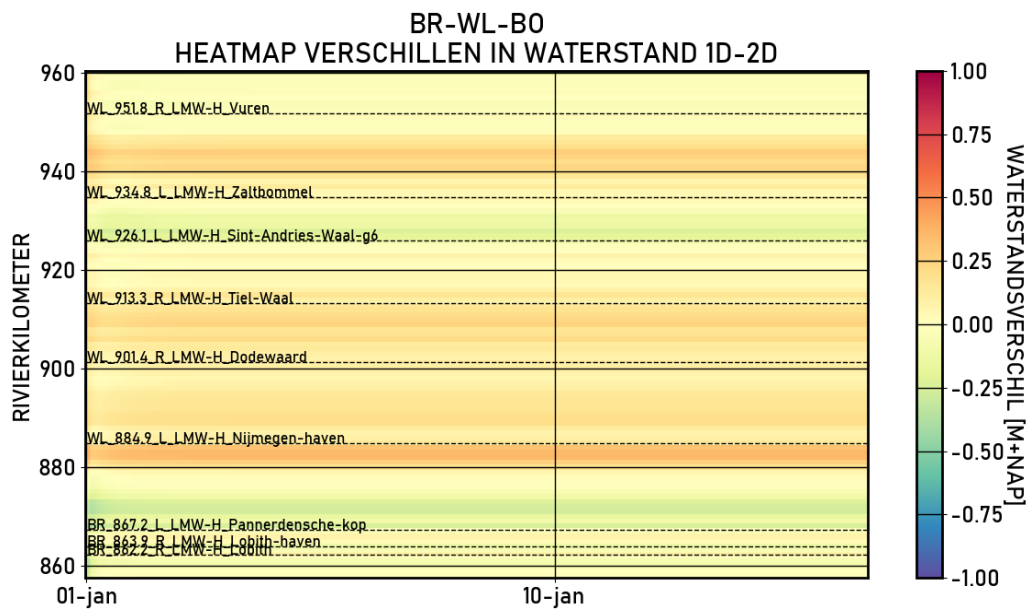


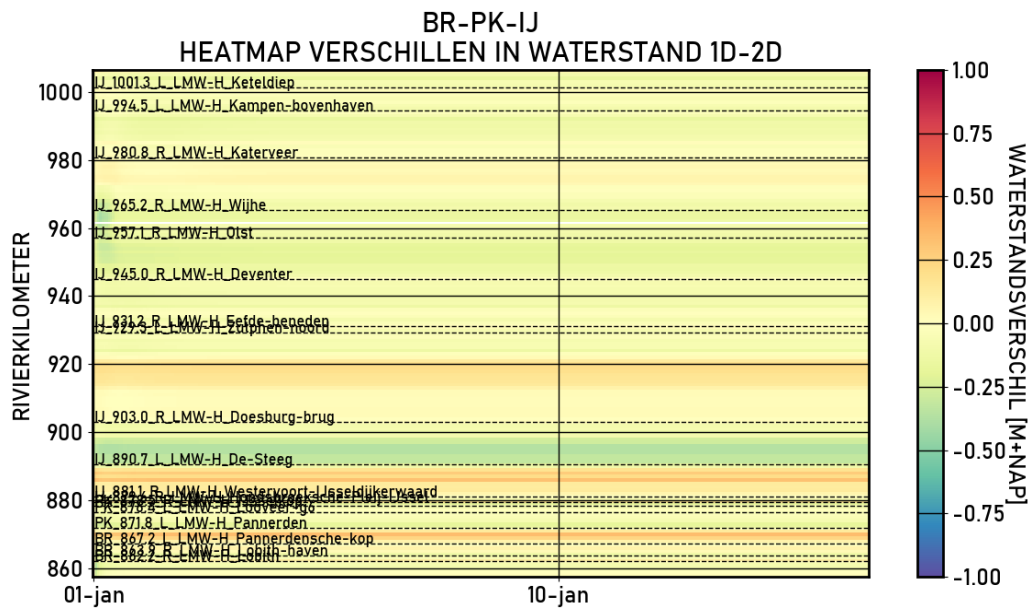
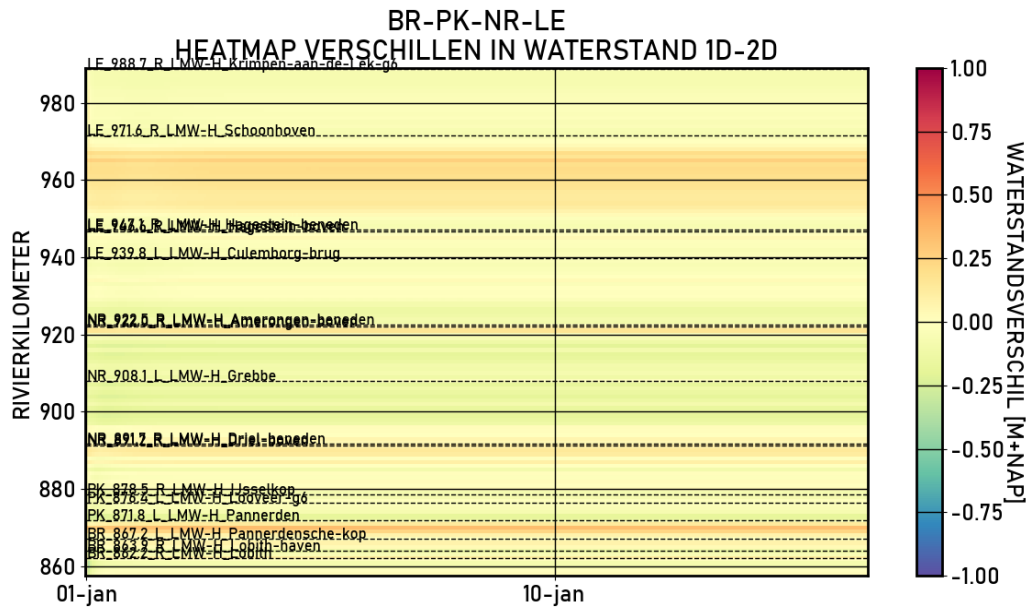




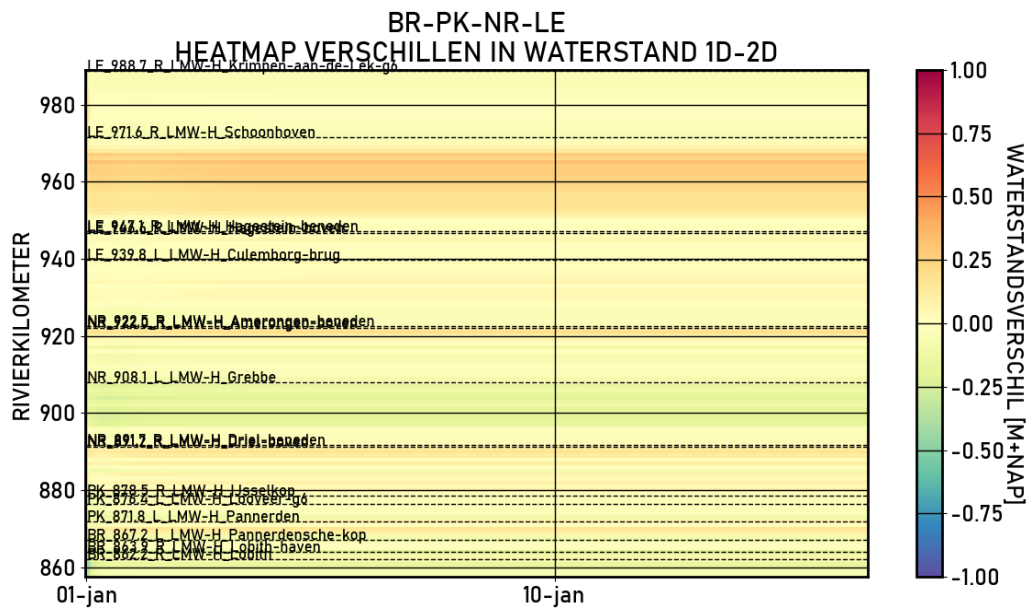
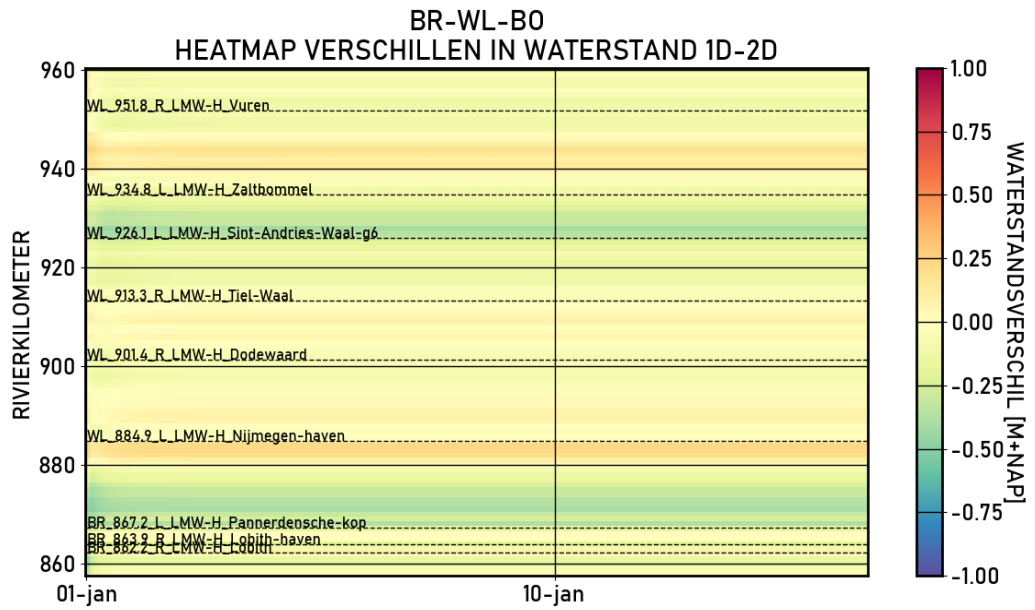


C.2.2.8. S 13000

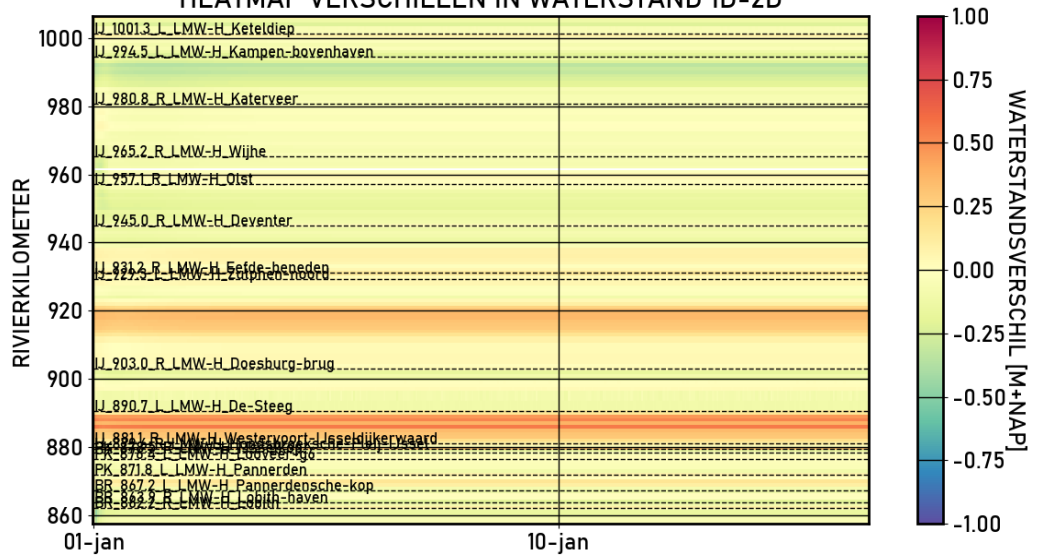




C.2.2.9. S 16000



BR-PK-IJ HEATMAP VERSCHILLEN IN WATERSTAND 1D-2D



D Aanpassingen voor RWsOS

Deze bijlage beschrijft welke aanpassingen moeten worden gedaan aan het basis 1D model om de variant te maken, die binnen RWsOS gebruikt wordt. De paragrafen E.1 en E.2 zijn deels overgenomen uit de memo “11200564-000-ZWS-0012”, getiteld “Requirements SOBEK3 models for use in RWsOS-Rivieren” d.d. 30 juni 2017, van Matthijs den Toom aan Aukje Spruyt. Paragraaf E.3. beschrijft de aanpassingen aan de schematisatie.

Algemene aanpassingen

D.1.1 Restart read and write

Delft-FEWS maakt gebruik van restart files. In het *.md1d bestand moeten de parameters *UseRestart* en *WriteRestart* op '1' (=true) staan. Onder 'AdvancedOptions', zet "CacheMode" op "Read".

D.1.2 Randvoorwaarden en lateralen

Zowel randvoorwaarden als lateralen worden door Delft-FEWS als een tijdserie opgelegd. Leg bij alle lateralen een afvoer van $0 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ op. Leg op de randen een tijdserie op met een standaardwaarde van -0.2 m (Ketelmeerranden), 0.5 m (Krimpen a/d Lek & Hardinxveld), $0 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Eefde) en $2000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Lobith, zie E.3).

D.1.3 Uitvoertijdstep

Delft-FEWS leest de uitvoer enkel per uur. Zet de uitvoertijdstep (MapOutputTimeStep en HisOutputTimeStep) op 3600 s.

D.1.4 Uitvoerparameters

De volgende uitvoerparameters moeten op "Current" staan. Alle overige moeten op "None".

ResultsNodes/Grid points

- Water level
- Water depth

ResultsObservations/Observation points

- Water level (op)
- Discharge (op)
- Velocity (op)

ResultsBranches/Reach segments

- Discharge
- Velocity
- Flow area
- Subsection parameters (*FP1, *FP2, *Main. Bijvoorbeeld ChezyFP1).

ResultsStructures/Structures

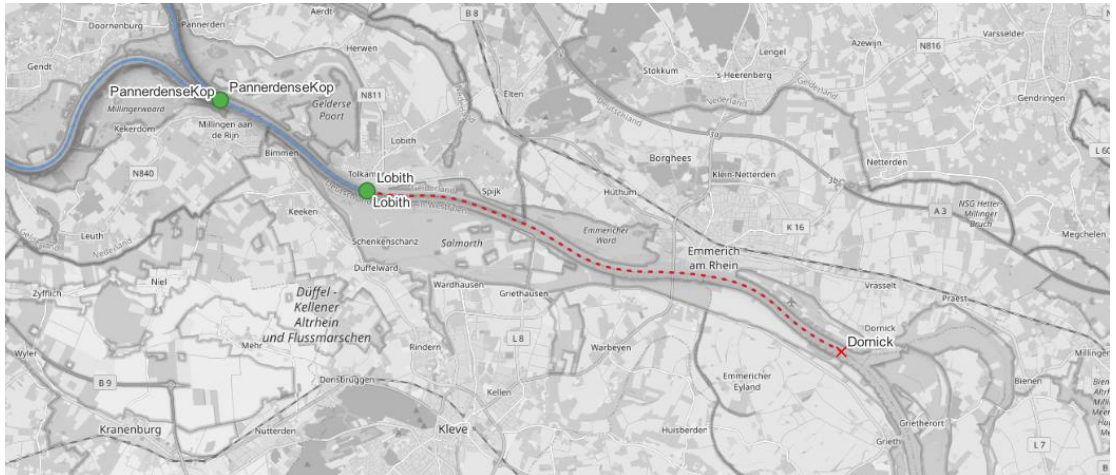
- Crest level (s)
- Crest width (s)
- Gate lower edge level (s)
- Gate Opening height (s)

D.2 Aanpassing aan de schematisatie

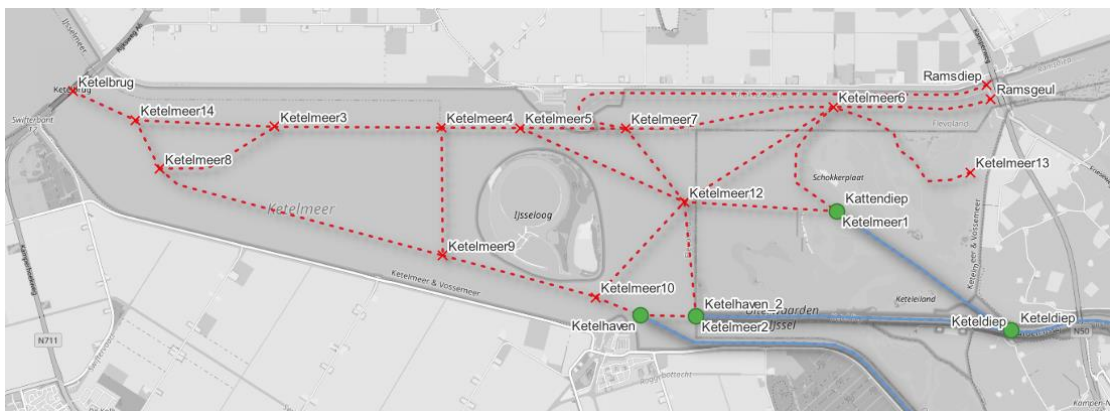
Het basis model (sobek-rijn-j22_v1a) heeft dezelfde modelranden als het 2D model (dflowfm2d-rijn-j22_6). De RWsOS variant (sobek-rijn-j22_v1a-rwsos) heeft een aangepaste schematisatie, die gebruikt kan worden binnen de configuratie van RWsOS-Rivieren.

De schematisatie verschilt op de volgende punten van het basismodel:

- 1 De tak *DuitseRijn* tussen de knopen Dornick en Lobith wordt verwijderd (Figuur D.1). Hierdoor wordt Lobith de bovenrand van het model, in plaats van Dornick.
- 2 De takken in het Ketelmeer worden grotendeels verwijderd (Figuur D.2). Hierdoor vervalt de knoop Ketelbrug als benedenrand. De benedenrand op het Ketelmeer wordt nu gevormd door drie knopen: Ketelhaven, Ketelhaven 2 (zie punt 3) en Kattendiep (zie punt 3). Alle drie de randen worden binnen RWSOS geforceerd met de databron "Ketelhaven".
- 3 Hernoemen van de knoop "Ketelmeer2" naar "Ketelhaven2". Hernoemen van de knoop "Ketelmeer1" naar "Kattendiep".



Figuur D.1 Verwijdering van de tak *DuitseRijn*. De rode elementen zijn wel aanwezig in het basismodel, maar niet in de RWSOS variant.



Figuur D.2 Verwijderde takken in het ketelmeer. De rode elementen zijn wel aanwezig in het basismodel, maar niet in de RWSOS variant.

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

Deltares

www.deltares.nl