

## Jaarlijkse actualisatie modellen Maas 2024

sobek-maas-j23\_6-v1a2



**Jaarlijkse actualisatie modellen Maas 2024**  
sobek-maas-j23\_6-v1a2

**Auteur(s)**  
Matthijs Gensen

## Jaarlijkse actualisatie modellen Maas 2024

sobek-maas-j23\_6-v1a2

<b>Opdrachtgever</b>	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
<b>Contactpersoon</b>	de heer W. de Lange
<b>Referenties</b>	-
<b>Trefwoorden</b>	-

### Documentgegevens

<b>Versie</b>	1.0
<b>Datum</b>	17-07-2024
<b>Projectnummer</b>	11210333
<b>Document ID</b>	11210333-002-ZWS-0008
<b>Pagina's</b>	48
<b>Classificatie</b>	
<b>Status</b>	definitief

### Auteur(s)

	Matthijs Gensen	
	<i>Matthijs Gensen is gedetacheerd bij Deltares vanuit HKV Lijn in Water.</i>	



# Samenvatting

Dit rapport beschrijft de actualisatie van het zesde-generatie 1D model voor de Maas *sobek-maas-j23\_6-v1a2*. De aanleiding voor de actualisatie is het updaten van het model naar SOBEK versie 3.7.26 zodat de optie *VolumeTables* kan worden gebruikt en het beschikbaar komen van een nieuwe methodiek om dwarsprofielen en ruwheden af te leiden. Het primaire doel van *sobek-maas-j23\_6-v1a2* is de operationele voorspelling van de waterstanden in de Nederlandse Maas binnen de samenhangende operationele systemen van Rijkswaterstaat voor de rivieren (RWsOS-Rivieren). Binnen dat systeem worden voorspellingen gebruikt voor onder meer peilbeheer, watervdeling 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 de zesde-generatie modellen voor de Maas en Rijntakken 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-maas-j23\_6-v1a1*) is gebruik gemaakt van een nieuwe versie van FM2PROF, versie 2.3, voor het afleiden van de dwarsprofielen en winterbedruwheden. In deze nieuwe versie is een nieuw criterium gebruikt voor het verdelen van dwarsprofielen in stroomvoerende en bergende delen. Alle profielen zijn visueel geïnspecteerd. Voor de Maas zelf zijn de profielen goed bevonden. Voor het Julianakanaal, het Lateraalkanaal en de Afgedamde Maas zijn de profielen sterk verbeterd ten opzichte van *sobek-maas-j23\_6-v1a1*, hoewel er nog steeds relatief veel bergend oppervlak aanwezig is. Dit komt doordat de kanalen in de 2D schematisatie niet allemaal stroomvoerend zijn door de beperkte roosterresolutie, waardoor lijnelementen en de projectie van de hoogtes op het rekenrooster kanalen hydraulisch afsluiten van de hoofdgeul. Dit heeft geen impact op de modelresultaten in de Maas zelf, maar hierdoor kan stroming door de kanalen niet met het 2D model vergeleken worden. De verbetering aan de profielen lost bovendien een instabiliteit op LMW-locatie Heel beneden op die was waargenomen tijdens het operationele gebruik binnen RWsOS Rivieren. Na de inspectie van de profielen is een ongekalibreerde vergelijking met 2D uitgevoerd. Daarna is geconcludeerd dat de gelijkenis tussen 1D en 2D genoeg is om te kalibreren.

## Kalibratie

De kalibratie bestaat uit het aanpassen van de zomerbedruwheid van het 1D model totdat de waterstanden op de LMW stations zo goed mogelijk overeenkomen met het 2D model voor het gehele afvoerbereik. De kalibratiesimulatie heeft dezelfde afvoerrandvoorwaarde als de som waarmee de profielen en ruwheden zijn afgeleid. De kalibratie levert realistische zomerbedruwheden. De waterstandsverschillen tussen 1D en 2D zijn sterk verkleind. Op de trajecten tussen de meetstations zitten er wel grotere verschillen tussen 1D en 2D.

### **Validatie**

De validatie is uitgevoerd door alle met het 2D model gedraaide standaardsommen met het 1D model te draaien. De verschillen tussen 1D en 2D zijn vergelijkbaar als met de kalibratiesom. De bias en standaardafwijking voor de dynamische sommen is kleiner dan bij *sobek-maas-j23\_6-v1a1*.

### **Conclusie en aanbevelingen**

Het 1D model is afgeleid en gekalibreerd op het 2D model. Ten opzichte van *sobek-maas-j23\_6-v1a1* hebben de nieuw gegenereerde profielen een positief effect op de resultaten. Eerdere aanbevelingen naar aanleiding van de bouw *sobek-maas-j23\_6-v1a1* blijven staan: het onderzoeken van de inzet van retentiegebieden in de 1D schematisatie, het onderzoeken van waterstandsverschillen in de Grensmaas, Plassenmaas en deel van de Maas benedenstrooms van stuw Lith.

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Introductie</b>	<b>8</b>
1.1	Methode	8
1.2	Software	9
1.3	Team	9
<b>2</b>	<b>Modelbouw</b>	<b>10</b>
2.1	Update naar SOBEK 3.7.26	10
2.2	Genereren van profielen en ruwheden met FM2PROF	10
2.2.1	Nieuwe profielen met FM2PROF 2.3.2	10
2.2.2	Handmatige aanpassing dwarsprofiel t.b.v. SOBEK 3.7.26 met VolumeTables	13
2.2.3	Instabiliteit bij LMW-locatie Heel Beneden	13
2.2.4	Ongekalibreerde vergelijking met 2D	14
2.2.5	Conclusie	15
<b>3</b>	<b>Kalibratie</b>	<b>16</b>
3.1	Methode	16
3.2	Resultaat	16
3.2.1	Ruwheden	16
3.2.2	Waterstanden	18
3.2.3	Conclusie	22
<b>4</b>	<b>Validatie</b>	<b>23</b>
<b>5</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>27</b>
5.1	Conclusies	27
5.1.1	Modelbouw	27
5.1.2	Kalibratie	27
5.1.3	Validatie	27
5.2	Aanbevelingen	27
	<b>Referenties</b>	<b>29</b>
<b>A</b>	<b>Tabellen</b>	<b>30</b>
A.1	Dynamische sommen	30
A.1.1	Tabellen	30
A.1.2	Langsprofielen	33
A.1.3	Heatmaps	35
A.2	Stationaire sommen	38
A.2.1	Tabellen	38
A.2.2	Langsprofielen	41
A.2.3	Heatmaps	44



# 1 Introductie

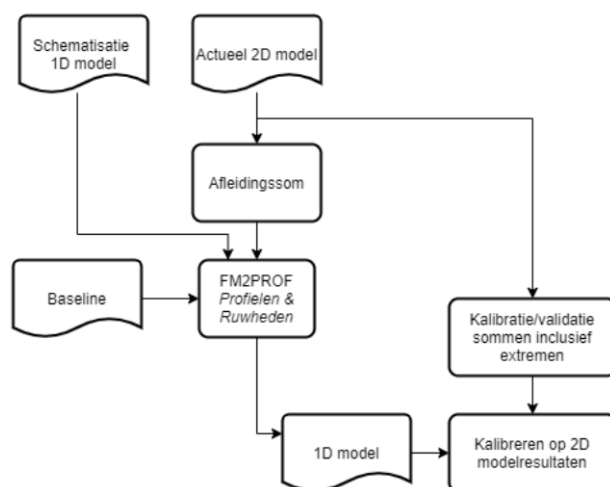
Dit rapport beschrijft de actualisatie van het zesde-generatie 1D model voor de Maas *sobek-maas-j23\_6-v1a2*. Dit model is een doorontwikkeling van *sobek-maas-j23\_6-v1a1* wat het eerste SOBEK 3 model van de Maas is binnen de zesde-generatie modellen. De voornaamste redenen voor de doorontwikkeling van het model zijn het beschikbaar komen van SOBEK 3.7.26 en een nieuwe versie van FM2PROF, versie 2.3.

Het primaire doel van *sobek-maas-j23\_6-v1a2* is de operationele voorspelling van de waterstanden in de Nederlandse Maas 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 1D model *sobek-maas-j23\_6-v1a2* wordt afgeleid volgens de standaardmethodiek voor zesde-generatie 1D modellen (Figuur 1.1). De belangrijkste uitgangspunten zijn:

- Het 1D model wordt geheel gebaseerd op het 2D model. In principe is de naamgeving, randvoorwaarden en het RTC model (grotendeels) identiek.
- Profielen en winterbedruwheden worden afgeleid met het programma 'FM2PROF'.
- Er wordt met behulp van OpenDA gekalibreerd op 2D modelresultaten binnen één som waarbij waterstanden voor alle afvoerniveaus tegelijkertijd worden gekalibreerd.



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 het maken van 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	3.7.26	Visuele inspectie
FM2PROF	2.3.2	Afleiden van profielen en ruwheden, visualisatie van resultaten
OpenDA	2.4.5	Kalibratie / optimalisatie
D-HYDRO	2022.01 (patch01) Build: 2.17.12_patch01.73720	Simulaties met het 2D model

## 1.3 Team

Het werk is uitgevoerd door Team HYRIDEM binnen SITO-PS.

Tabel 1.2. Projectteam

Naam	Rol
Dr. ir. Koen Berends	Product owner
Dr. ir. Matthijs Gensen	Modelontwikkelaar
Dr. Eveline van der Deijl	Reviewer

De volgende belanghebbenden zijn betrokken bij de totstandkoming van het rapport:

Tabel 1.3. Betrokkenen

Naam	Rol
Ir. William de Lange	Rijkswaterstaat WVL
Dhr. Siebolt Folkertsma	Rijkswaterstaat Zuid-Nederland
Mw. Lianita Suryawinata	Rijkswaterstaat Zuid-Nederland
Ir. Thies Blokhuijsen	Deltares (RWsOS-Rivieren)

## 2 Modelbouw

### 2.1 Update naar SOBEK 3.7.26

Het model *sobek-maas-j23\_6-v1a2* wordt gebouwd in de laatste versie van SOBEK 3, versie 3.7.26. Deze softwareversie bevat een bug-fix voor de optie `VolumeTable` welke nieuw is geïntroduceerd in versie 3.7.25 van SOBEK. De `VolumeTable`-optie was uitgeschakeld in *sobek-maas-j23\_6-v1a1*.

De `VolumeTables` bevatten de totale volume per rekenpunt als functie van de waterdiepte. Via berekende de berekende waterdieptes kunnen de volumes eenvoudig in de `VolumeTable` worden opgezocht. Met de `VolumeTable`-optie rekent SOBEK aanzienlijk sneller. Deze functie kan worden aangezet door het volgende toe te voegen aan het configuratiebestand (\*.md1d bestand):

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

### 2.2 Genereren van profielen en ruwheden met FM2PROF

De dwarsprofielen en ruwheden worden afgeleid van het 2D model met het programma FM2PROF. FM2PROF heeft vier invoerbestanden nodig: 1) de resultaten van een 2D simulatie, 2) de locaties waar een 1D dwarsprofiel en ruwheidspunt moeten worden bepaald, 3) een polygoon met de gebiedsvakken voor het toekennen van het 2D gebied aan de 1D takken bij riviersplitsingen en 4) een polygoon met de sectievakken voor de verdeling in hoofdgeul en uiterwaarden. Deze invoerbestanden zijn allemaal gelijk aan die van het voorafgaande model *sobek-maas-j23\_6-v1a1*.

Er is gebruik gemaakt van FM2PROF versie 2.3.2 waarin een nieuw criterium voor het onderscheiden van stroomvoering en berging binnen dwarsprofielen is opgenomen. Zowel voor de Rijntakken als voor de Maas is onderzocht of met dit nieuwe criterium de dwarsprofielen verbeteren. Voor de Maas is in paragraaf 2.2.1 beschreven wat het effect is op de profielen en in paragraaf 2.2.4 is een ongekalibreerde vergelijking met 2D uitgevoerd.

#### 2.2.1 Nieuwe profielen met FM2PROF 2.3.2

In FM2PROF 2.3.2. is een nieuw criterium voor stroomvoering opgenomen. Het oude criterium, waarmee *sobek-maas-j23\_6-v1a1* is opgebouwd, leidt voor diverse profielen tot onder- en overschattingen van het bergend volume. Met name in het Julianakanaal, het Lateraalkanaal en de Afgedamde Maas geeft het oude criterium (foutieve) profielen met een dominante hoeveelheid berging. De methodeanalyse en de eerste testen met het nieuwe criterium voor stroomvoering zijn uitgevoerd voor de Rijntakken. De belangrijkste conclusies en implicaties voor de Maas zijn hieronder opgenomen.

## Aanpassing FM2PROF

In FM2PROF 2.2.8 en lager zijn de stroomvoeringscriteria als volgt. Een cel wordt aangemerkt als stroomvoerend indien:

- 1 De waterdiepte groter is dan nul EN
- 2 De stroomsnelheid groter is dan het absolute stroomvoeringscriterium EN
- 3 De stroomsnelheid groter is dan de gemiddelde stroomsnelheid maal het relatieve stroomvoeringscriterium.

Voor de nieuwe methode is besloten om het absolute stroomcriterium te laten vervallen, en berging te laten bepalen op een percentage van de *maximale* stroomsnelheid. Deze methode voorkomt dat profielen met te weinig berging voorkomen. Daarnaast resulteert de methode ook in betere profielen op takken met juist te veel berging op takken die enkel onder hoge afvoer stroming kennen, zoals het Julianakanaal en de Afgedamde Maas.

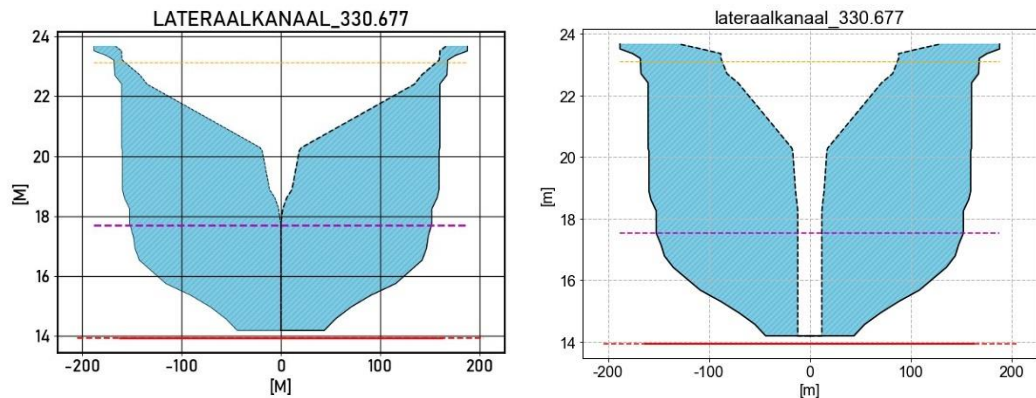
Het nieuwe stroomvoeringscriterium is als volgt. Cellen zijn stroomvoerend indien:

- 1 Waterdiepte groter is dan nul
- 2 Stroomsnelheid groter is dan x% van de maximale stroomsnelheid<sup>1</sup> op die uitvoertijdstep, waarbij 'x' het relatief stroomvoeringscriterium is OF stroomsnelheid is groter dan 'y', waarbij 'y' het absolute stroomvoeringscriterium is.

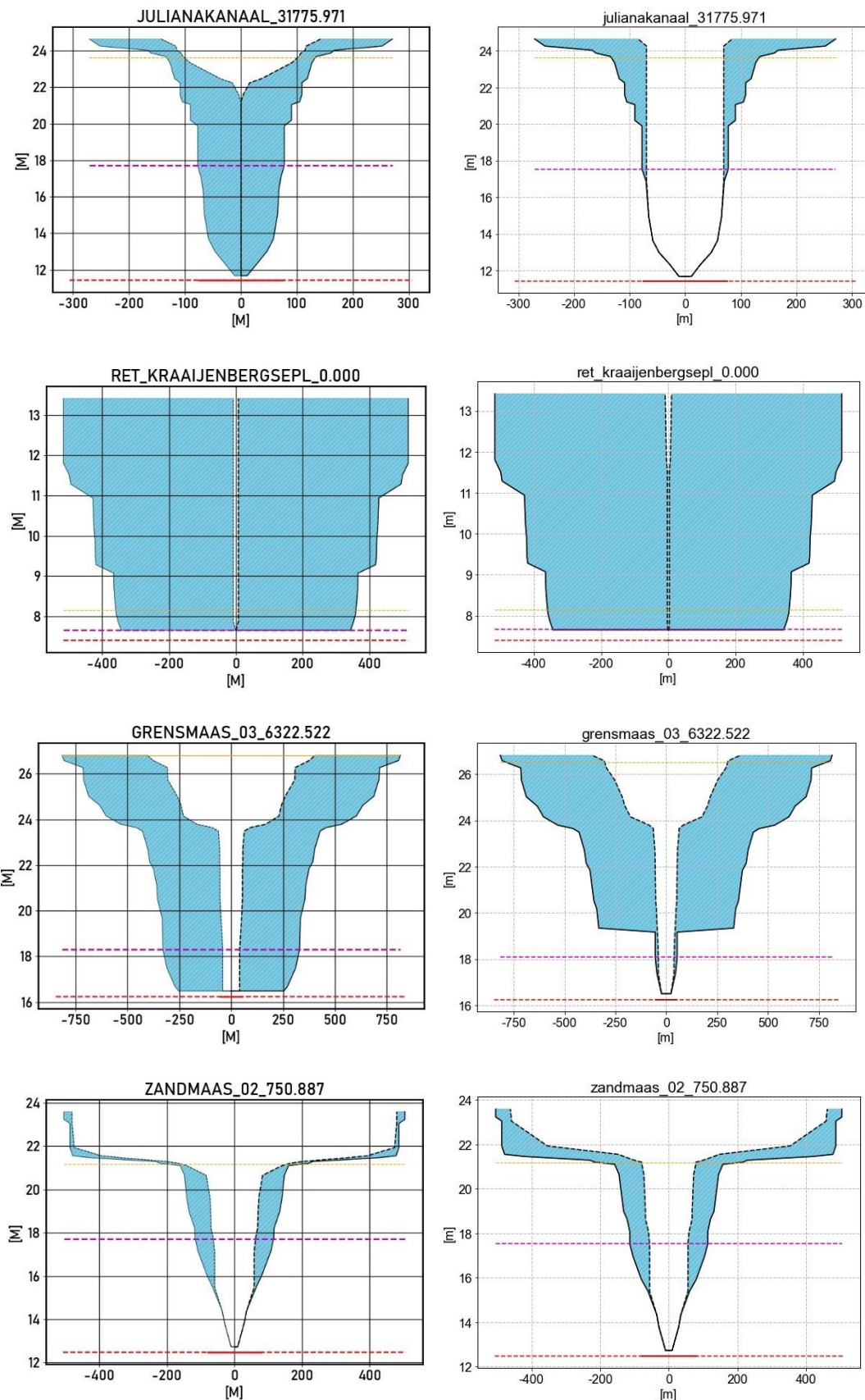
Deze nieuwe methode noemen we de 'max\_method' en de oude methode de 'mean\_method'.

### Nieuwe profielen

De nieuwe versie van FM2PROF met de 'max\_method' is toegepast op de Maas. Voor een selectie van profielen toont Figuur 2.1 de profielen zoals deze met de 'mean\_method' (links) en de 'max\_method' (rechts) worden afgeleid.



<sup>1</sup> Om de kans op uitschieters te verkleinen wordt het gemiddelde over de drie grootste stroomsnelheden genomen (max3)



Figuur 2.1. Vergelijking van de aangemaakte profielen met de 'mean\_method' (Links; FM2PROF 2.2 en eerder) en de 'max\_method' (Rechts; FM2PROF 2.3).

Voor de kanalen laat de nieuwe methode een verbetering van de profielen zien. Met name laag in de profielen bevatten deze met de 'max\_method' stroomvoering. Ook voor de niet-getoonde Afgedamde Maas bevatten de profielen met de 'max\_method' meer stroomvoering. Voor retentiegebieden, met als voorbeeld retentie Kraaijenbergseplas, verandert er niks; deze blijven zoals gewenst nagenoeg volledig bergend. Langs de Maas veranderen de profielen ook met de 'max\_method'. Over het algemeen neemt de berging in het winterbed iets toe (zie het voorbeeld van de Zandmaas). Onderin de profielen zijn ook verschillen waarneembaar (zie het voorbeeld van de Grensmaas), met name als de verhouding stroomvoering en berging verandert ter hoogte van de laagste waterstand in 2D (paarse stippellijn). Onder deze waterstand worden de profielen geëxtrapoleerd waardoor er onbedoeld veel berging onder in het profiel komt. Dit wordt niet volledig opgelost met de 'max\_method', maar er zijn wel evidente verbeteringen.

### 2.2.2 Handmatige aanpassing dwarsprofiel t.b.v. SOBEK 3.7.26 met VolumeTables

Nadat de dwarsprofielen en ruwheden zijn aangemaakt worden deze geïmporteerd in het 1D model. Echter bleek het model niet te draaien in SOBEK 3.7.26 met een ingeschakelde VolumeTable-optie. Het probleem wordt veroorzaakt door één dwarsprofiel van de nieuw afgeleide dwarsprofielen en ruwheden, namelijk 'ret\_thorn\_0.000'. Het is onduidelijk waarom de VolumeTables niet functioneren voor dit profiel<sup>2</sup>.

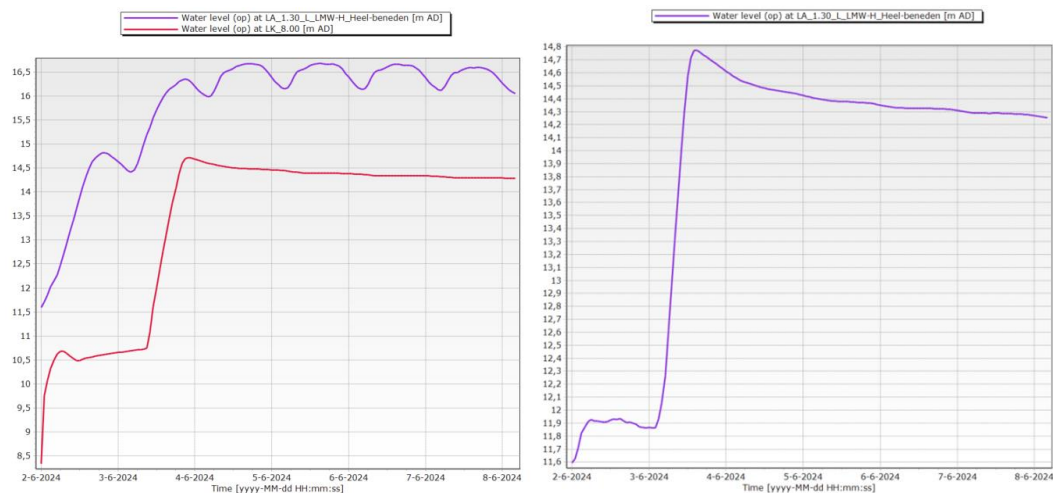
Met een kleine aanpassing van drie waarden van de 'TotalWidth' onderin het profiel, van de nieuwe waarde van ~10m naar de oude (*sobek-maas-j23\_6-v1a1*) waarde van ~49 m, blijkt het model wel te draaien in SOBEK 3.7.26 met VolumeTables. Deze waarde is gevonden door iteratie. Wij achten deze aanpassing acceptabel voor *sobek-maas-j23\_6-v1a2*, omdat de invloed op de resultaten verwaarloosbaar is.

### 2.2.3 Instabiliteit bij LMW-locatie Heel Beneden

In *sobek-maas-j23\_6-v1a1* is tijdens operationeel gebruik een instabiliteit waargenomen op LMW-locatie Heel beneden. De waterstand fluctueerde onafhankelijk van de waterstand op de Maas. Het vermoeden bestaat dat dit het gevolg is van de profielen van het Lateraalkanaal die geen stroomvoering kennen onderin het profiel (zie Figuur 2.1). Het linker figuur laat zien dat met de oude profielen de waterstand op de LMW-locatie (in paars) verder oploopt dan benedenstrooms in het Lateraalkanaal (in rood) en deze fluctueert. Deze fluctuatie is het gevolg van afvoervariaties. Het rechterfiguur laat zien dat met de nieuwe profielen het waterstandsverloop is veranderd en nu naar verwachting is.

---

<sup>2</sup> Referentie voor volgsysteem is HYRIDEM-41



Figuur 2.2 Resultaten van de testberekeningen met de oude profielen (links) en de nieuwe profielen (rechts) op LMW-locatie Heel beneden.

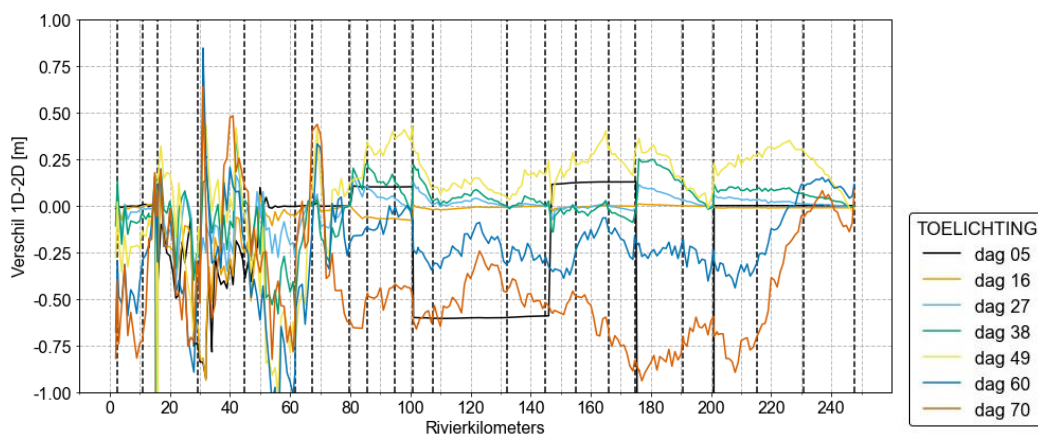
## 2.2.4 Ongekalibreerde vergelijking met 2D

Met het verkregen model voeren we een ‘ongekalibreerde vergelijking’ met het 2D model uit om het effect op de waterstanden van de nieuwe profielen te beschouwen. Met deze vergelijking kunnen ook foutieve profielen worden opgespoord. Foutieve profielen zorgen ervoor dat het model minder goed te kalibreren is.

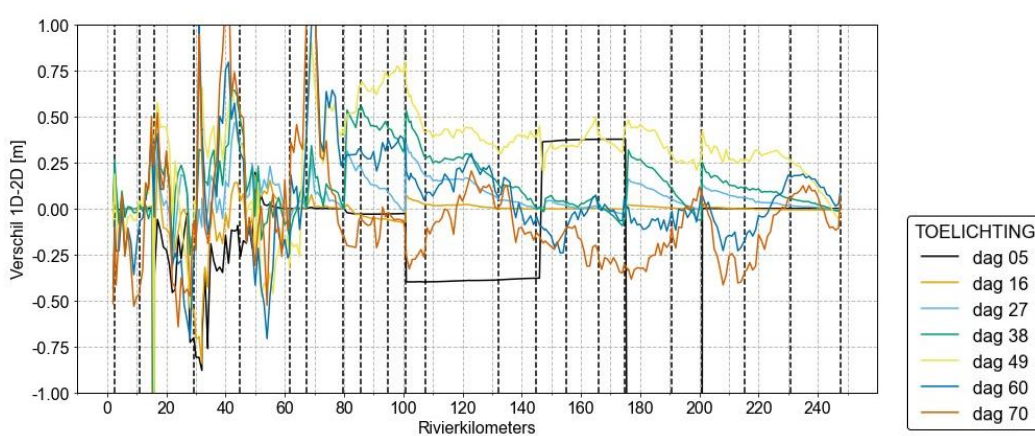
De berekende waterstanden uit het ongekalibreerde 1D model zijn vergeleken met de 2D resultaten van de afleidsom voor zowel de ‘mean\_method’ als de ‘max\_method’ (Figuur 2.3). Deze afleidsom kent een langzaam, monotoon stijgende bovenstroomse afvoer waarbij de RTC van het model is uitgezet. We zien dat met de ‘max\_method’ de waterstanden in 1D toenemen. In beide figuren zien we een duidelijk verschil in het gedrag van de Grensmaas / Plassenmaas (rivierkilometer 3 t/m 70) en de Zandmaas (benedenstrooms van rivierkilometer 80). Het gedrag rondom de Grensmaas en de Plassenmaas verandert niet met de ‘max\_method’, de grote lokale verschillen tussen 1D en 2D nemen in absolute zin niet af. We zien dat er met de ‘mean\_method’ sprake was van een gemiddelde onderschatting van de waterstanden t.o.v. 2D. Van deze gemiddelde onderschatting van de waterstanden is geen sprake met de ‘max\_method’; we zien duidelijke overschattingen en onderschattingen van de waterstanden. Langs de Zandmaas zien we met de ‘mean\_method’ een overschatting van de waterstanden bij lage afvoeren (vroeg in de som) en een onderschatting van de waterstanden bij hoge afvoeren (laat in de som). Met de ‘max\_method’ neemt de overschatting bij lage afvoeren iets toe (orde 20 cm) en neemt de onderschatting bij hoge afvoeren af (orde 30 á 50 cm).



### Waterstanden en waterstandsverschillen: Mean method



### Waterstanden en waterstandsverschillen: Max method



Figuur 2.3 Het verschil tussen 1D en 2D waterstanden in het ongekalibreerde model met de 'mean\_method' (boven) en de 'max\_method' (onder).

## 2.2.5 Conclusie

Uit de ongekalibreerde vergelijking concluderen we dat de waterstanden met het nieuwe stroomvoeringscriterium over het algemeen toenemen. We verwachten dat het model even goed te kalibreren is als onder het oude stroomvoeringscriterium. De overschatting van de waterstanden bij lage afvoeren kan verkleind worden door een lagere ruwheidscoëfficiënt en de onderschatting bij hoge afvoeren kan verkleind worden door een hogere ruwheidscoëfficiënt. Het is net als bij *sobek-maas-j23\_6-v1a1* met het oude stroomvoeringscriterium niet de verwachting dat de verschillen langs de Grensmaas en de Plassenmaas weg te kalibreren zijn. Ook in 2D zijn hier grote verschillen en minder goede prestaties t.o.v. de LMW-metingen, zoals onder andere te zien is in de validatie van het hoogwater van juli 2021 (Van der Deijl, 2024).

## 3 Kalibratie

### 3.1 Methode

Het kalibratieproces is niet gewijzigd ten opzichte van *sobek-maas-j23\_6-v1a2*. De methodiek is hieronder samengevat. De uitgebreide beschrijving is te vinden in [Groenewege & Berends \(2023\)](#).

De kalibratie is erop gericht de verschillen met het 2D model over het gehele afvoerbereik te reduceren. Derhalve wordt gekalibreerd op de resultaten van het 2D model. Hiervoor worden de bodemruwheden van het zomerbed gebruikt als kalibratieparameters. Het aanpassen van de zomerbedruwheid wordt programmatisch gedaan door het programma OpenDA, dat beschikt over een krachtig optimalisatiealgoritme<sup>3</sup>. De fout tussen 1D en 2D wordt uitgedrukt middels de zogenaamde kostfunctie. Invoer van deze kostfunctie is de waterstandsfout op LMW stations.

De 2D kalibratiesom kent een langzaam, monotoon stijgende bovenstroomse afvoer. Deze afvoerrand is gelijk aan die van de FM2PROF afleidsom. Het verschil met de afleidsom is dat de RTC-sturing wordt aangezet die voor de afleidsom was uitgezet.

We kalibreren op de zomerbedruwheid die is gespecificeerd met een afvoerafhankelijke Manning coëfficiënt. We vangen de kalibratie aan met een uniforme beginwaarde van  $0.03 \text{ sm}^{-1/3}$ . De te kalibreren ruwheden zijn begrensd tussen  $0.005$  en  $0.1 \text{ sm}^{-1/3}$  om te zorgen dat de resulterende ruwheden binnen een realistisch bereik blijven. OpenDA past in de kalibratie een factor bovenop de beginruwheid toe en deze factor wordt aangepast in de kalibratie. De ruwheidscoëfficiënt is niet constant, maar afhankelijk van ruimte (rivierkilometer) en van afvoer. De afvoerniveaus en de ruwheidstrajecten zijn gelijk aan die in *sobek-maas-j23\_6-v1a1*.

### 3.2 Resultaat

#### 3.2.1 Ruwheden

Figuur 3.1 toont het langspoor van gekalibreerde zomerbedruwheden. Figuur 3.2 toont dezelfde ruwheden maar dan per ruwheidstraject als functie van de afvoer (ruwheidsfunctie). De meeste ruwheidsfuncties zijn zoals verwacht. Bij toenemende afvoer zien we voor de meeste trajecten ook een toenemende ruwheid. Bij enkele trajecten is de ruwheidsfunctie constant met de afvoer en bij enkele trajecten is deze afnemend. Hier lijkt geen patroon tussen opeenvolgende ruwheidstrajecten in te zitten.

Voor de meeste trajecten liggen de ruwheden in een realistisch bereik rondom de verwachting voor grunderige/zanderige rivieren ( $0.035 - 0.040 \text{ sm}^{-1/3}$ ). Het aantal afwijkingen waarbij de ruwheden extreem hoog of extreem laag worden, is minder dan in *sobek-maas-j23\_6-v1a1*. Dit geeft aan dat de nieuwe profielen over het algemeen zijn verbeterd.

- In de trajecten Eijsden-Meeswijk (rkm 34,7 – 38,9) en Sambeek-Gennep (rkm 147,6 – 155,1) zien we voor het hoogste afvoerniveau van  $4.250 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  een relatief hoge gekalibreerde ruwheid. Voor beide trajecten blijft de gekalibreerde ruwheid wel ruim onder het opgelegde maximum van  $0.10 \text{ sm}^{-1/3}$ .

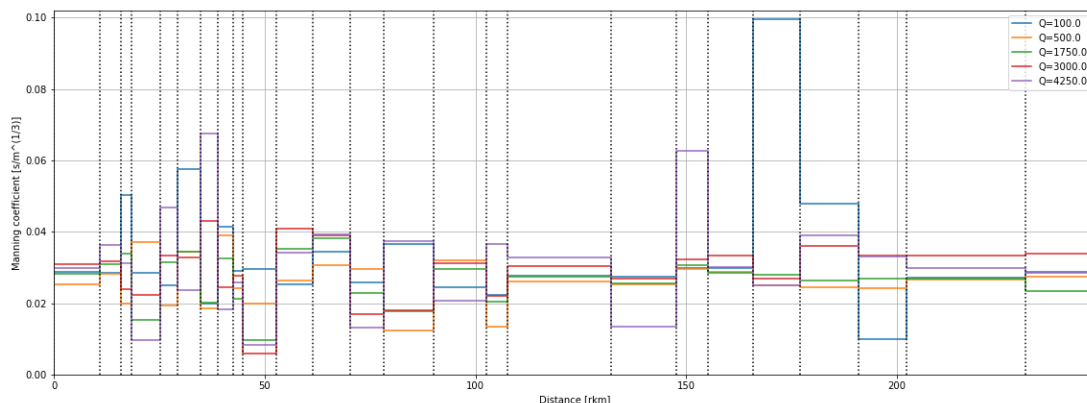
---

<sup>3</sup> 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.

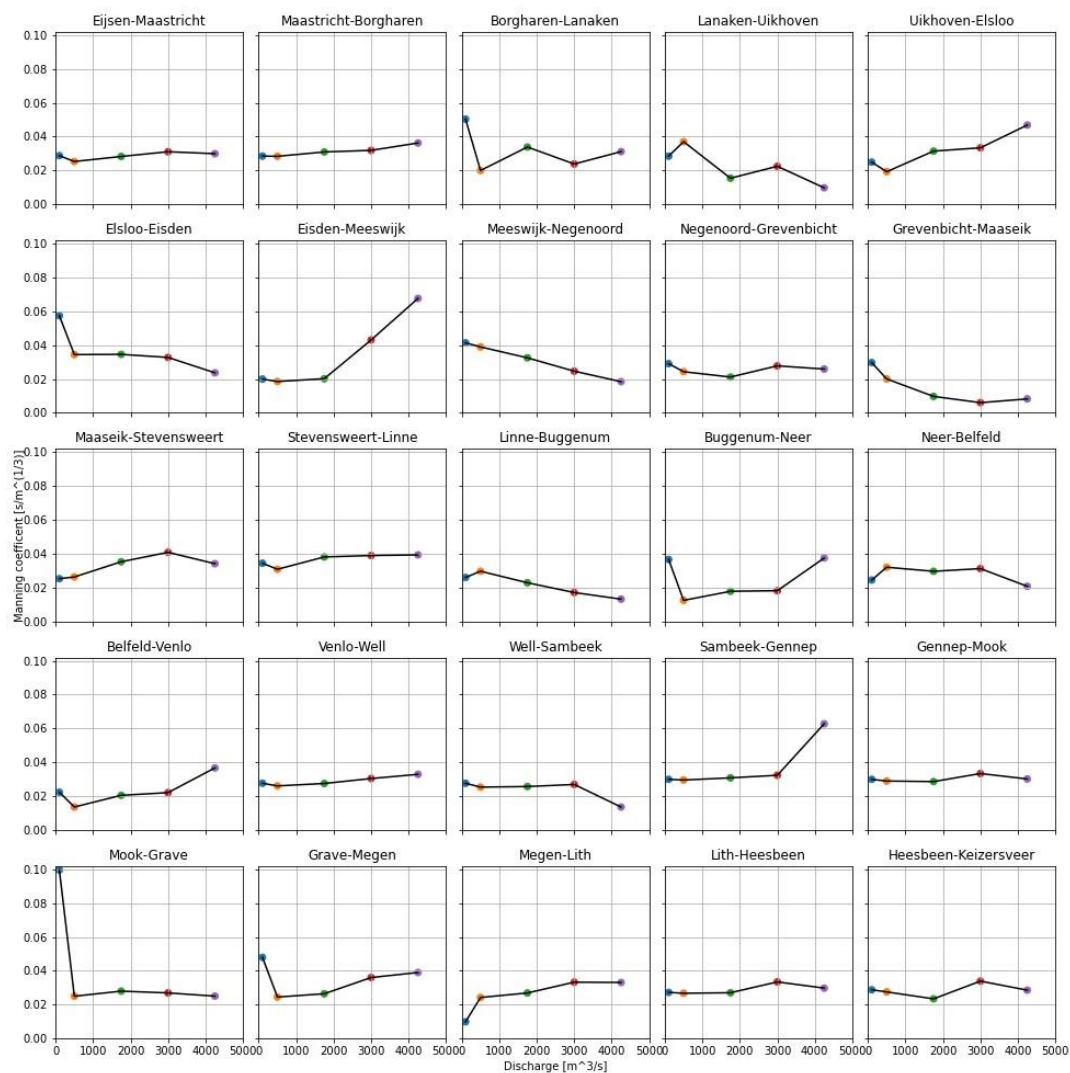
De hoge ruwheid duidt waarschijnlijk op een compensatie voor een beperking in de schematisatie of een ongevoeligheid van waterstanden voor de ruwheidsparameter onder deze omstandigheden.

- In de trajecten Borgharen-Lanaken (rkm 15,9 – 18,3) en Elsloo-Eijsden (rkm 29,4 – 34,7) zien we bij het lage afvoerniveau van  $100 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  relatief hoge ruwheden ( $>0.05 \text{ ms}^{-1/3}$ ). Dit duidt waarschijnlijk op een compensatie voor beperkingen in de schematisatie van de geometrie in de Grensmaas.
- In het traject Mook-Grave (rkm 165,8 – 177,0) zien we bij het lage afvoerniveau van  $100 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  de maximale ruwheid van  $0.10 \text{ ms}^{-1/3}$

De afwijkingen zijn niet per definitie een punt van zorg, maar wel van aandacht. Toekomstige verbeteringen aan de schematisatie of methodiek kunnen mede worden getoetst aan het effect op de gekalibreerde ruwheid.



*Figuur 3.1 Langsprofiel van gekalibreerde zomerbed ruwheden. De zwarte verticale stippellijnen geven grenzen tussen ruwheidstrajecten weer*



Figuur 3.2 Gekalibreerde zomerbed ruwheidsfuncties per ruwheidstraject. Van boven naar onder worden de ruwheidstrajecten in benedenstroomse richting getoond en vervolgens verdeeld over de vijf kolommen. De y-as heeft dezelfde schaal in alle subplots.

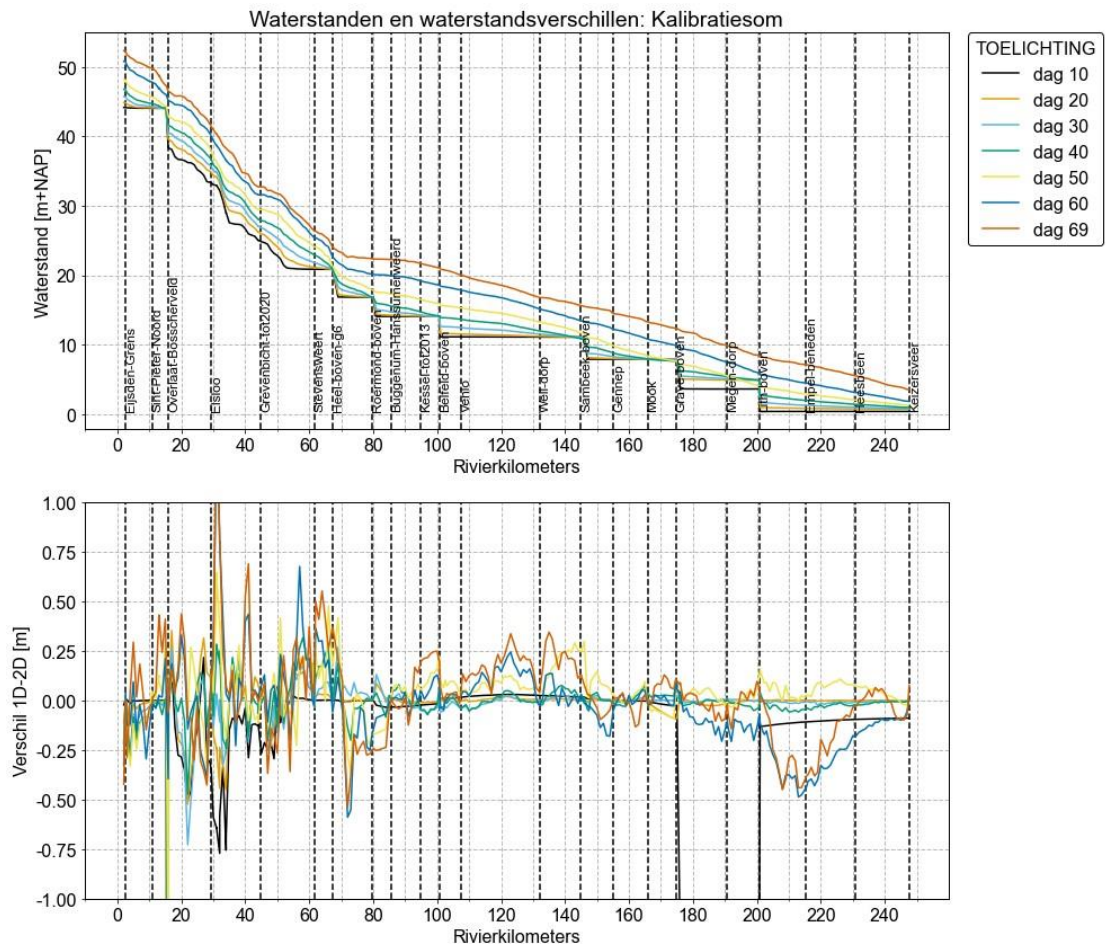
### 3.2.2 Waterstanden

Het voornaamste doel van de kalibratie is om ter hoogte van grenzen van de ruwheidstrajecten, dus ter hoogte van de LMW-metstations, de fout tussen 'observatie' (het 2D modelresultaat) en het 1D modelresultaat te minimaliseren. Echter, omdat we vergelijken met het 2D resultaat hebben we de mogelijkheid om de verschillen langs de hele rivier te bepalen en voor elk tijdstip. In de hier opvolgende analyse maken we vooral gebruik van figuren om de kalibratie te beoordelen. Gemiddelde statistieken per station zijn te vinden in bijlage A.

In vergelijking met het ongekalibreerde resultaat zien we dat de verschillen tussen 1D en 2D aanzienlijk zijn verkleind: vergelijk

Figuur 3.3 met Figuur 2.3. In de Grensmaas en Plassenmaas treden er nog wel grote verschillen en sprongen op, maar is geen sprake meer van een bias zoals deze er nog wel was met het ongekalibreerde model.

Benedenstrooms van Roermond (rond rkm 80) ligt het gemiddelde verschil tussen 1D en 2D rond de 0, maar zijn er voor enkele momenten nog wel verschillen met het 2D model waarneembaar. Richting het einde van de som, dus bij hoge afvoeren, geeft het 1D model tussen rivierkilometers 100 en 140 een overschatting van de waterstanden ten opzichte van 2D. Deze verschillen waren ook waarneembaar in *sobek-maas-j23\_6-v1a1*. en zijn nu in dezelfde orde grootte. Tussen rivierkilometers 200 en 230 geeft het 1D model aan het eind van de som een onderschatting van de waterstanden ten opzichte van 2D. Ook dit verschil was al te zien in *sobek-maas-j23\_6-v1a1*, maar is nu wel toegenomen tot maximaal 50 cm.



Figuur 3.3 Langsprofiel voor de Maas van de waterstanden in 1D (boven) en waterstandsverschillen tussen 1D en 2D (onder).

Figuur 3.4 toont een heatmap met de verschillen voor alle uitvoerlocaties en voor de gehele tijdreeks. Van links naar rechts in het figuur neemt de afvoer dus toe. We beschouwen niet de initialisatieperiode die duurt tot 13 januari; deze beïnvloedt ook niet de kalibratie. Een drietal opvallende trajecten duiden we nader. De eerste twee hebben we overgenomen uit het rapport over *sobek-maas-j23\_6-v1a1* (Groenewege & Berends, 2023); deze zijn niet veranderd met de nieuwe afgeleide profielen.



### 1 Rkm 26 – 32

Dit traject met grote verschillen tussen 1D en 2D omvat de scherpe rivierbochten bij Meers. In het midden van dit traject ligt het LMW-stations Elsloo. Hier zijn de 1D resultaten zeer vergelijkbaar met 2D en is dus sprake van een goede kalibratie. Direct bovenstrooms en benedenstrooms blijven de verschillen met 2D echter groot (Figuur 3.5). Benedenstrooms is er sprake van een overschatting van de waterstanden in 1D ten opzichte van 2D en bovenstrooms is er juist sprake van een onderschatting van de waterstanden in 1D ten opzichte van 2D. Daarmee is er dus sprake van een veel te klein verhang in 1D ten opzichte 2D. De stroming in dergelijk scherpe rivierbochten met complexe stromingspatronen en opstuwings door de uiterwaarden is notoir lastig te modelleren in 1D. We verwachten dus niet dat aanpassingen aan de schematisatie deze verschillen kunnen verkleinen.

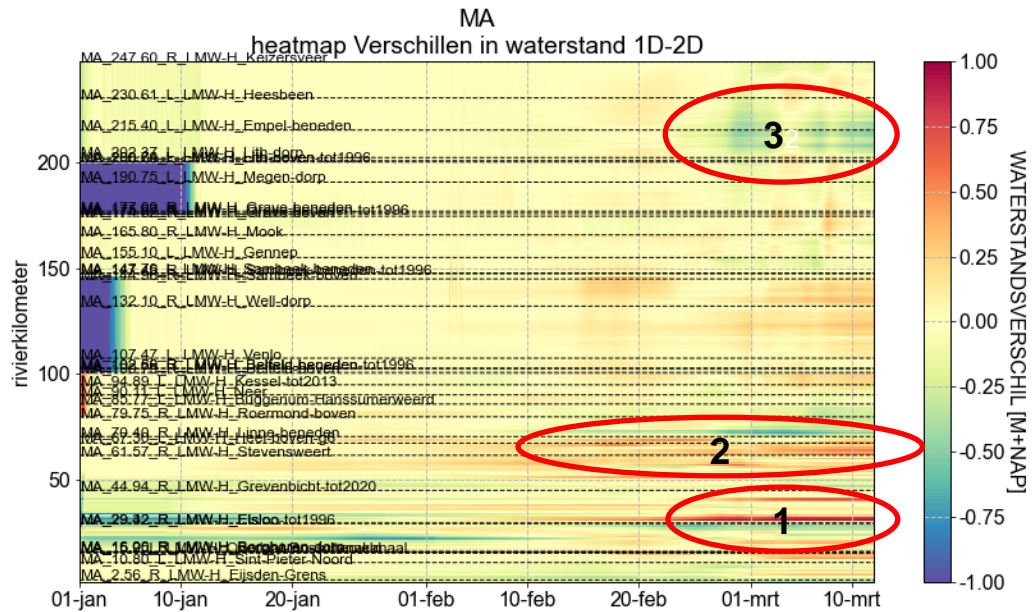
### 2 Rkm 62-70

Dit traject met grote verschillen tussen 1D en 2D omvat de Maasplassen bij Maasbracht. Het is uit ervaring van eerdere modelgeneraties gebleken dat deze plassen niet goed te schematiseren zijn in 1D. De verschillen met 2D zijn op dit traject met de nieuwe profielen wel significant afgenomen. Waar ze in *sobek-maas-j23\_6-v1a1* nog opliepen tot 0,50 á 1,0 m, blijven deze met de nieuwe profielen onder de 0,50 m. Een inspectie van de FM2PROF uitvoer voor beide modellen, met een voorbeeld in Figuur 3.6, laat zien dat de berging in de profielen juist is toegenomen met het nieuwe stroomvoeringscriterium in FM2PROF 2.3. Desondanks is de overschatting van de waterstanden afgenomen. Een inspectie van de gekalibreerde ruwheden (Figuur 3.1) laat zien dat deze met de nieuwe profielen de ruwheid in een realistische orde blijft van  $0.04 \text{ ms}^{-1/3}$ , waar deze in *sobek-maas-j23\_6-v1a1* oploopt tot  $0.08 \text{ ms}^{-1/3}$  om de waterstandsverschillen op LMW-locatie Stevensweert te minimaliseren. Desondanks worden de waterstanden dus nog wel overschat. In [Groenewege & Berends \(2023\)](#) is gesteld dat de waterstandsverschillen op dit traject waarschijnlijk verklaard kunnen worden doordat in SOBEK bergend volume niet kan worden omgezet in stroomvoerend volume. Met een dergelijke omzetting van volumes zou de fysische werking van de Maasplassen beter kunnen worden nagebootst; deze bergen tijdens lage afvoeren maar gaan meestromen bij hoge afvoeren. We verwachten dat dit nog steeds een belangrijke verklaring is voor de verschillen tussen 1D en 2D.

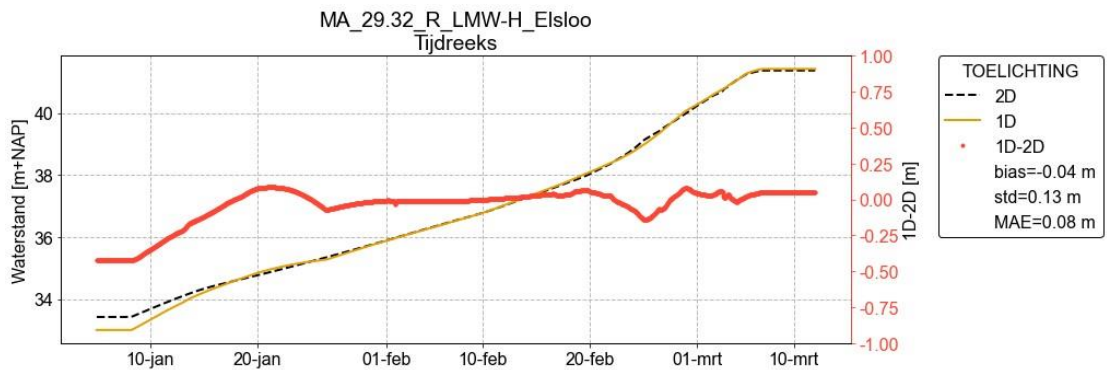
### 3 Rkm 200-230

In dit traject worden de waterstanden in 1D onderschat bij hoge afvoeren. De grootste onderschatting vindt plaats rond rkm 215. De verschillen ontstaan binnen het kalibratietraject dat loopt van LMW-station Lith (rkm 202.37) tot LMW-station Heesbeen (rkm 230.61). Op deze LMW-stations zijn de waterstandsverschillen tussen 1D en 2D minimaal, waardoor we kunnen spreken van een geslaagde kalibratie. Een mogelijke oorzaak is het ontbreken van de Maasbrug bij Empel in de 1D schematisatie. Echter verwachten we dan eerder een plotselinge toename in ruimte in de verschillen tussen 1D en 2D in plaats van de geobserveerde geleidelijke toename in de verschillen. Deze geleidelijk toenemende verschillen langs rivier worden veroorzaakt door een verschillend waterstandsverhang tussen 1D en 2D. In [Groenewege & Berends \(2023\)](#) is ook recreatiegebied 'Lithse Ham' (rond rkm 210) benoemd als mogelijke locatie waar verschillen tussen 1D en 2D kunnen ontstaan. Mogelijk biedt een extra kalibratietraject op LMW-station Empel de uitkomst. Hiermee kunnen mogelijk de verschillen in waterstandsverhang voor en na het station worden verkleind. We bevelen aan om te onderzoeken waardoor de verschillen tussen 1D en 2D in dit traject ontstaan en hoe deze verkleind kunnen worden.

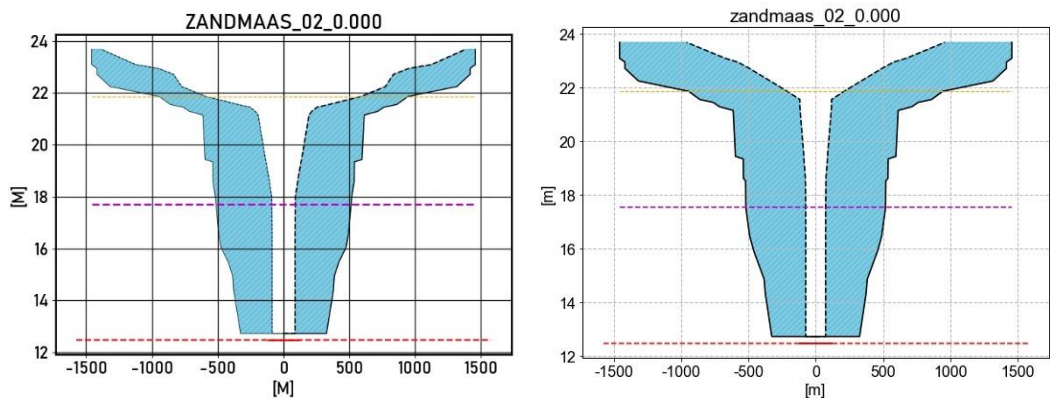




Figuur 3.4 Verschil in waterstand tussen 1D en 2D gepresenteerd als heatmap. Op y-as rivierkilometers van boven- naar benedenstrooms en op x-as het tijdstip van de modelresultaat. De horizontale stippellijnen geven de grenzen van de ruwheidstrajecten weer. De resultaten tot 13 januari hebben geen invloed op de kalibratie, dit wordt gezien als spin-up periode. De verschillen in deze periode zijn dus ook het resultaat van verschillen in initialisatie.



Figuur 3.5 Tijdreeks van de waterstanden in de kalibratiesom op LMW-locatie Elsloo.



Figuur 3.6 Profielen ter hoogte van de Plassenmaas met het oude stroomvoeringscriterium (links) en het nieuwe stroomvoeringscriterium (rechts). Dit laat zien dat er berging boven in het profiel is bijgekomen met het nieuwe criterium.

### 3.2.3 Conclusie

We concluderen dat de kalibratie succesvol is uitgevoerd. Uit bestudering van de resultaten blijkt dat er nog enkele verschillen tussen 1D en 2D bestaan die niet met kalibratie te verbeteren zijn. Deze hebben we opgenomen als aanbevelingen in paragraaf 5.2.

## 4 Validatie

Ter validatie worden de zogenoemde standaardberekeningen uitgevoerd (van den Hoek & van der Deijl, 2023). Dit zijn vijf dynamische sommen ('D') en zeven stationaire afvoeren ('S'). Hiermee wijken ze af van de quasi-stationair monotoon stijgende kalibratiesom. Bovendien worden in de standaardsommen wel laterale zijstromen gebruikt.

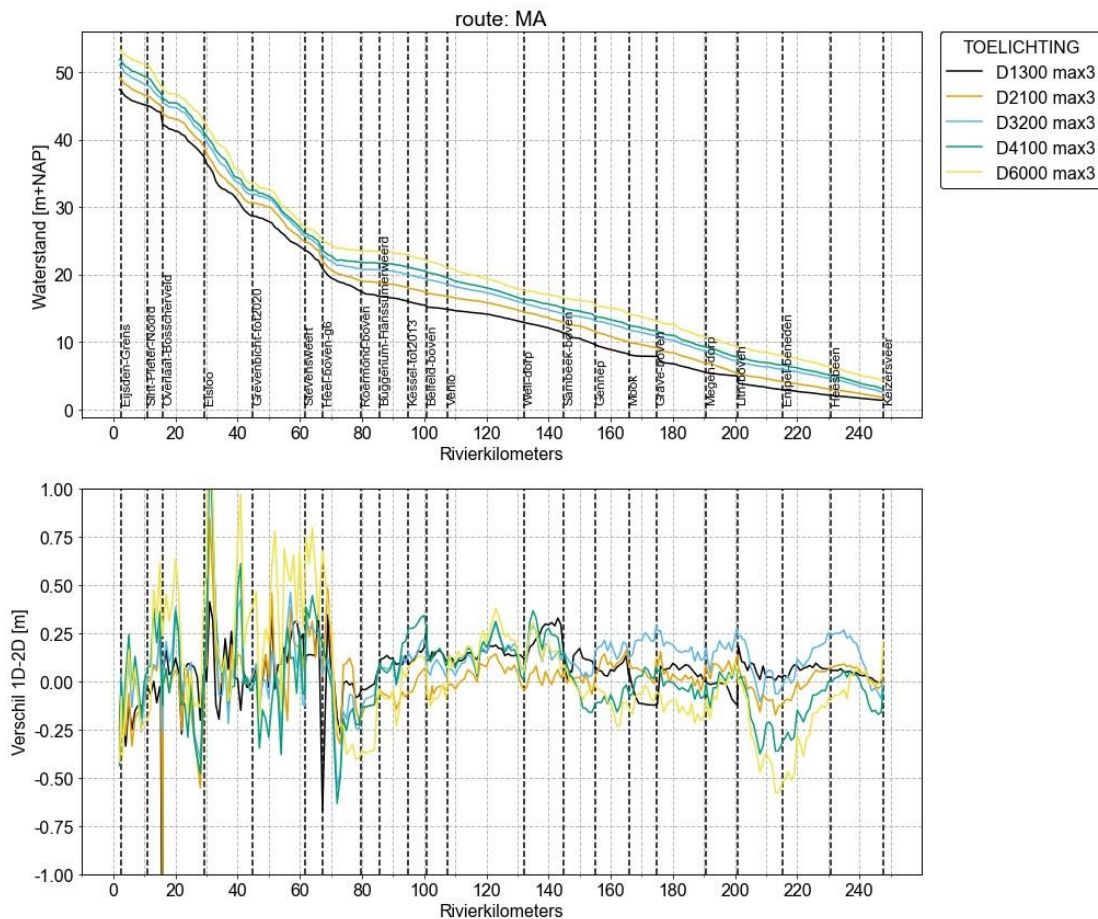
Over het algemeen zien we bij de dynamische sommen afwijkingen (bias en standaardafwijking) in dezelfde orde grootte als bij de kalibratiesom (Tabel 4.1). De bias is voor alle sommen positief (1D hoger dan 2D) zonder dat er sprake is van een veel grotere standaardafwijking t.o.v. de kalibratiesom. Zowel de bias als de standaardafwijking is voor alle dynamische sommen afgenomen ten opzichte van *sobek-maas-j23\_6-v1a1*. Bij de stationaire sommen met de hoogste bias in *sobek-maas-j23\_6-v1a1*, namelijk S1300 en S6000, is deze afgenomen. Bij de andere stationaire sommen is de bias gelijk gebleven of licht gestegen.

De resultaten van de langsprofielen voor de validatiesommen (Figuur 4.1 en Figuur 4.2) vertonen dezelfde trend als het kalibratieresultaat (Figuur 3.3). Verschillen tussen 1D en 2D treden op dezelfde locaties op, zoals de onderschatting van de waterstanden in 1D tussen rkm 200 en 230 en de grote afwijkingen op de Grensmaas en de Plassenmaas. Een overzicht van de resultaten per station zijn opgenomen in bijlage A.

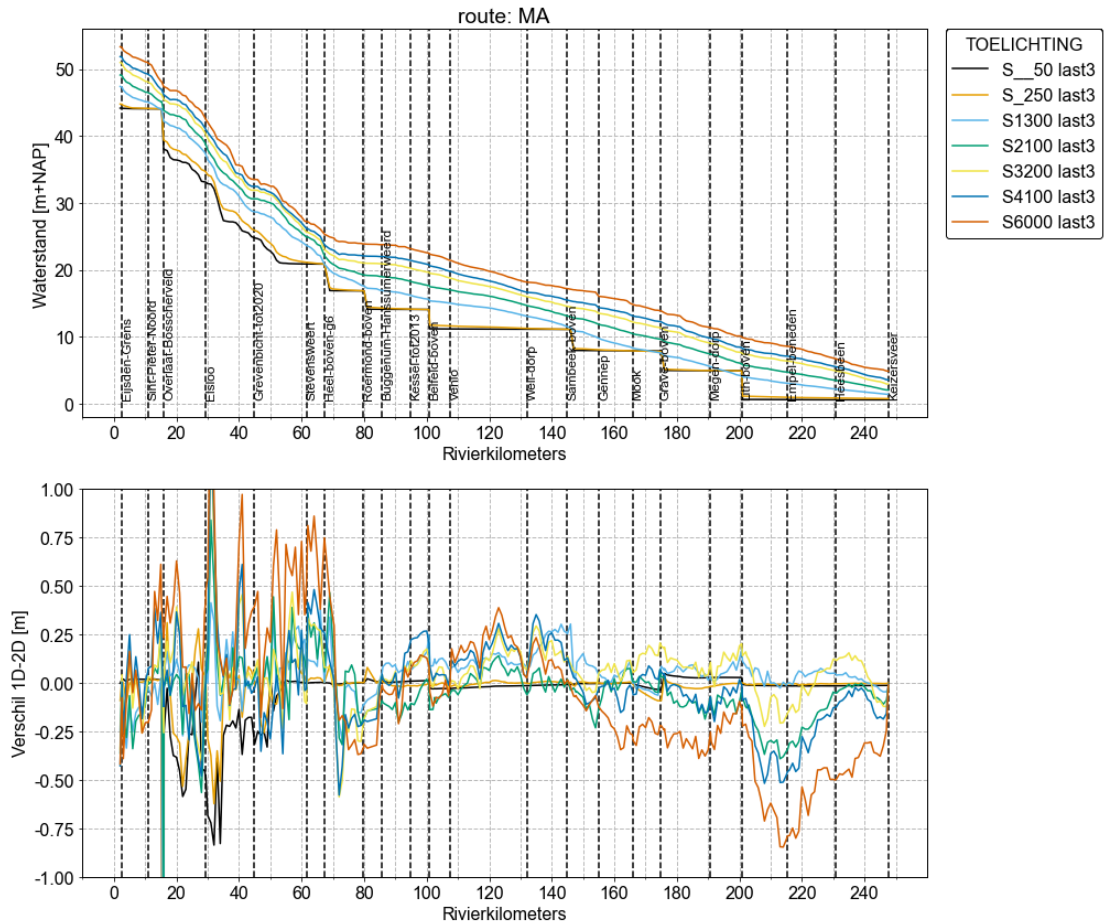
*Tabel 4.1 Gemiddelden van de bias en standaardafwijking ( $\sigma$ ) tussen de 1D en 2D validatiesommen op de LMW stations en op alle uitvoerpunten in *sobek-maas-j23\_6-v1a2* en *sobek-maas-j23\_6-v1a1*. Bij de middeling van statistieken over LMW stations is station "MA\_15.9\_L\_LMW-H\_Overlaat-Bossherveld" in beide modellen niet meegenomen, omdat dit station sterk afwijkende resultaten toont. Deze afwijking wordt veroorzaakt door de ligging van het uitvoerpunt in het 2D model.*

Validatiesom	sobek-maas-j23_6-v1a2				sobek-maas-j23_6-v1a1			
	LMW stations		Alle uitvoerpunten					
	Bias [m]	$\sigma$ [m]	Bias [m]	$\sigma$ [m]	Bias [m]	$\sigma$ [m]	Bias [m]	$\sigma$ [m]
Kalibratiesom	0.00	0.10	0.01	0.07	0.02	0.10	0.01	0.09
D1300	0.02	0.06	0.01	0.07	0.04	0.11	0.03	0.10
D2100	0.04	0.09	0.03	0.10	0.06	0.13	0.06	0.11
D3200	0.05	0.07	0.05	0.11	0.07	0.12	0.07	0.12
D4100	0.07	0.10	0.07	0.12	0.08	0.12	0.09	0.12
D6000	0.03	0.15	0.04	0.15	0.05	0.15	0.06	0.15
S_50	-0.05	0.01	-0.08	0.01	-0.02	0.01	-0.05	0.00
S_250	-0.01	0.00	-0.04	0.00	0.01	0.00	-0.01	0.00
S1300	0.06	0.00	0.05	0.00	0.10	0.00	0.10	0.00
S2100	-0.04	0.00	-0.04	0.00	-0.02	0.00	-0.01	0.00
S3200	0.06	0.00	0.06	0.00	0.06	0.00	0.07	0.00
S4100	0.02	0.01	0.02	0.01	-0.02	0.01	-0.01	0.01

	sobek-maas-j23_6-v1a2				sobek-maas-j23_6-v1a1			
	LMW stations		Alle uitvoerpunten					
Validatiesom	Bias [m]	$\sigma$ [m]	Bias [m]	$\sigma$ [m]	Bias [m]	$\sigma$ [m]	Bias [m]	$\sigma$ [m]
S6000	-0.01	0.01	-0.02	0.01	-0.11	0.01	-0.09	0.01



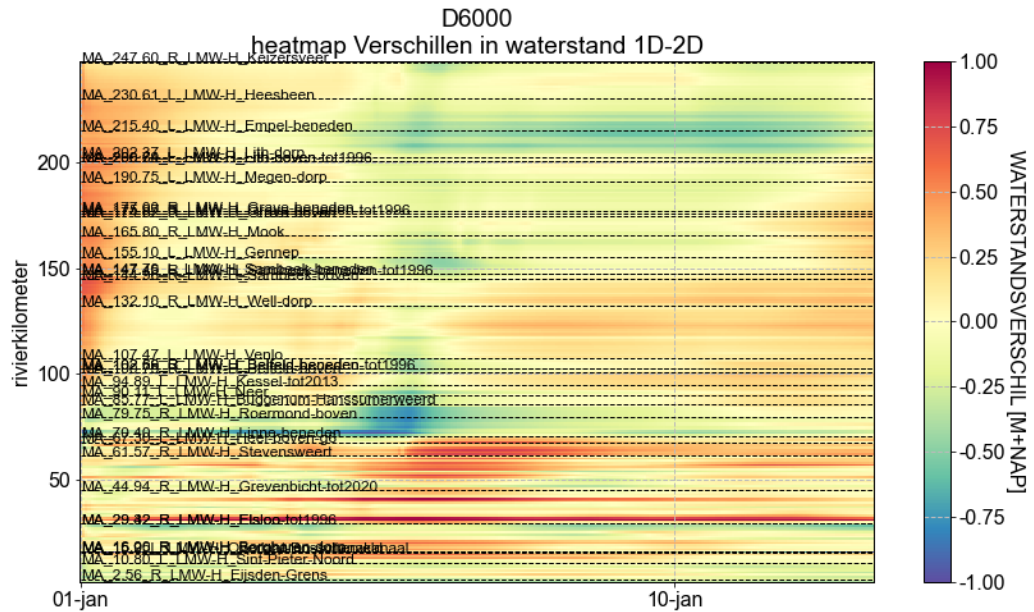
Figuur 4.1 Langsprofiel van de 'max 3' waterstanden en waterstandsverschillen tussen 1D en 2D voor de dynamische validatiesommen



Figuur 4.2 Langsprofiel van de 'last 3' waterstanden en waterstandsverschillen tussen 1D en 2D voor de stationaire validatiesommen

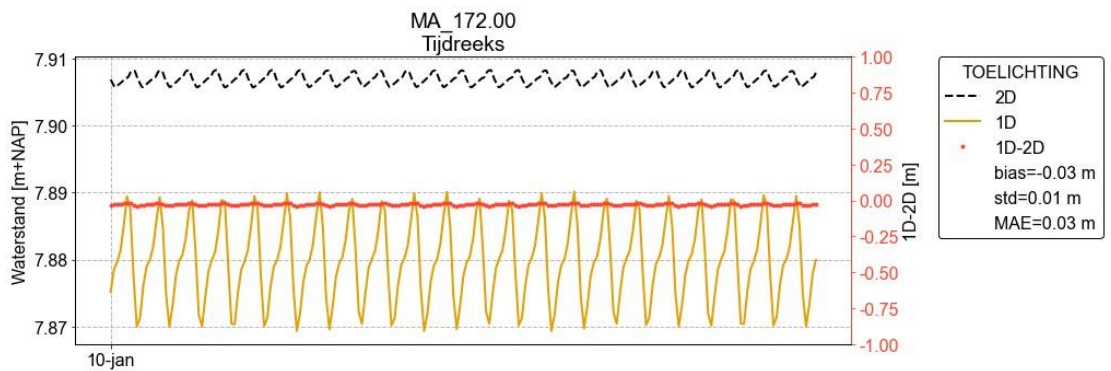
Uit de dynamische validatiesommen, bijvoorbeeld D6000 in Figuur 4.3, valt op te maken dat de werking en inzet van retentiegebieden in 1D nog niet hetzelfde functioneert als in 2D. Hierdoor ontstaan plotse waterstandsverschillen tussen 1D en 2D. Dit is eerder geconstateerd voor *sobek-maas-j23\_6-v1a1* (Groenewege & Berends, 2023). Uit Figuur 4.3 valt op te maken dat met name benedenstrooms van de retentiegebieden nabij Roermond (Lateraalkanaal, Thorn) er een plots verschil ontstaat. In Groenewege & Berends (2023) is gesteld dat met name de 1D schematisatie van de Lob van Gennep en de retentie in de Mookerplas voor waterstandsverschillen met 2D kunnen zorgen. In de validatiesommen is de Lob van Gennep niet meer direct aan te wijzen als bron van verschillen met 2D. Toch verdient het de aanbeveling om te kijken of de schematisatie van de Lob van Gennep verbeterd kan worden. De profielen zijn onregelmatig in breedte en in de verdeling tussen stroomvoerend en bergend volume.





Figuur 4.3 Heatmap van de waterstandsverschillen tussen 1D en 2D voor de dynamische validatiesom D6000.

Bij de stationaire sommen met lage afvoeren, S\_50 en S\_250 zijn schommelingen in de waterstanden (zie bijvoorbeeld Figuur 4.4) waargenomen. Dat wordt veroorzaakt door klepperend gedrag van het RTC model bij stationaire standaard sommen met een lage afvoer. De schommelingen in waterstand zijn relatief klein, maar orde tientallen kuubs per seconde in afvoeren. Dergelijke schommelingen zijn ook in mindere mate aanwezig in het 2D model dat gebruik maakt van een identiek RTC model. Hoewel het bekend is dat het lastig is deze stuwen stabiel te besturen bij lage stationaire afvoeren, verdient het aanbeveling om te onderzoeken of verbetering mogelijk is.



Figuur 4.4 Tijdsverloop van de waterstanden op rivierkilometer 172 in de S\_50 som.



## 5 Conclusies en aanbevelingen

### 5.1 Conclusies

#### 5.1.1 Modelbouw

Voor *sobek-maas-j23\_6-v1a2* zijn nieuwe profielen en winterbedruwheden afgeleid met de FM2PROF 2.3 waarin een nieuw stroomvoeringscriterium is geïntroduceerd. Dit nieuwe criterium zorgt met name in de kanalen en de Afgedamde Maas voor betere profielen. Een ongekalibreerde vergelijking tussen het nieuwe 1D model en het 2D model toonde aan dat de verschillen tussen 1D en 2D kleiner zijn dan met de profielen en winterbedruwheden van *sobek-maas-j23\_6-v1a2*, wat betekent dat de nieuwe profielen en winterbedruwheden in essentie een verbetering opleveren voor het model.

#### 5.1.2 Kalibratie

Het 1D model is succesvol gekalibreerd op de 2D modelresultaten met vijf afvoerniveaus verdeeld over het gehele afvoerbereik. Het gemiddelde waterstandsverschil tussen 1D en 2D is op de LMW stations in de orde van enkele centimeters. De gekalibreerde ruwheden vallen binnen acceptabele grenzen met uitzondering van het traject Mook-Grave waar de maximale ruwheid wordt gehaald bij een zeer lage afvoer. De maximale ruwheid op dit traject leidt echter niet tot problemen in de simulatie van waterstanden. Tussen de LMW stations op de Grensmaas en de Plassenmaas treden er af en toe wel grote verschillen met orde 50 en 100 cm tussen 1D en 2D op. Tussen Lith en Heesbeen is er in 1D sprake van een onderschatting tot 50 cm van de waterstanden bij (zeer) hoge afvoeren.

#### 5.1.3 Validatie

Ter validatie van het gekalibreerde model zijn de waterstanden van de standaardberekeningen van het 1D model vergeleken met 2D. Het betreffen zowel dynamische als stationaire sommen. De verschillen in waterstanden tussen 1D en 2D zijn in dezelfde orde grootte als bij de kalibratie en over het algemeen kleiner dan in *sobek-maas-j23\_6-v1a1*. Tussen de LMW stations zijn de waterstanden in 1D doorgaans iets hoger dan in 2D. Bij zeer hoge afvoeren ( $> 4100 \text{ m}^3/\text{s}$ ) constateren we wel een groot verschil tussen 1D en 2D op LMW-locatie Empel beneden. Daarnaast is de LMW-locatie Overlaat Bosscherveld niet geschikt voor een vergelijking tussen 1D en 2D. Ten slotte is er sprake van schommelingen in de waterstanden en afvoeren in stationaire sommen met lage afvoeren als gevolg van de RTC sturing.

De stroming door het Lateraalkanaal, het Julianakanaal, de Afgedamde Maas en het Maas-Waalkanaal is niet gevalideerd omdat vergelijking met 2D modelresultaten niet mogelijk is. In het 2D model is de stroming door de kanalen niet overal correct. De delen van de kanalen in open connectie met de Maas hebben wel een bruikbare waterstandsvoorspelling omdat deze goed overeenkomen met 2D.

### 5.2 Aanbevelingen

In dit rapport zijn er enkele zaken naar voren gekomen die voor toekomstige actualisaties of onderzoeken overwogen kunnen worden. Ook blijven enkele aanbevelingen uit [Groenewege & Berends \(2023\)](#) staan.

- 1 Een onderzoek naar de schematisatie en de inzet van de retentiegebieden rondom Roermond en bij Mook (en/of Ottersum) ten gevolge van het waargenomen retentie-effect in 2D.

- 2 Een onderzoek naar de oorzaak van het te kleine verhang in 1D ten opzichte van 2D bij de scherpe rivierbochten bij Meers.
- 3 We raden aan om te onderzoeken waarom het 1D model de waterstanden tussen rivierkilometers 200 en 230, waaronder dus op LMW-locatie Empel, onderschat bij hoge afvoeren.
- 4 We bevelen aan om te onderzoeken hoe de waterstanden en afvoeren gestabiliseerd kunnen worden in sommen met stationair lage afvoeren.

Deze aanbevelingen zijn als volgt vastgelegd in de volgsystemen<sup>4</sup>:

- Aanbeveling 1 als HYRIDEM-46
- Aanbeveling 2 als HYRIDEM-47
- Aanbeveling 3 als HYRIDEM-393
- Aanbeveling 4 als HYRIDEM-406

Daarnaast hebben we de volgende aanbevelingen voor verbetering van het 2D model (gelijk aan [Groenewege & Berends, 2023](#)).

- 1 De sturing van sluis Heumen is een openstaand issue ([Groenewege & Berends, 2023](#)). Het wordt aanbevolen dit bij een volgende actualisatie zowel in 2D als 1D te verhelpen – HYRIDEM-394
- 2 Verschillende zijtakken lijken niet goed in verbinding te staan met de Maas bij lage afvoeren en open keringen, waaronder het Maas-Waalkanaal, Afgedamde Maas, Julianakanaal en Lateraalkanaal. Dit belemmert profielgeneratie, maar ook validatie met het 2D model. Wij raden aan om het model hetzij te verbeteren of deze kanalen geheel uit het 1D model te verwijderen – HYRIDEM-395
- 3 Bij controle van de naamgeving van lateralen bleek dat naamgeving van kilometrerings inconsistent was, bijvoorbeeld op het Oude Maasje. We raden aan deze naamgeving via Baseline en het 2D model te herstellen, en bij een volgende actualisatie over te nemen in het 1D model – HYRIDEM-396

---

<sup>4</sup> De issues van modellen worden vastgelegd op <https://issuetracker.deltares.nl>

## 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., & Domhof, B. (2021). *Maas S3 - FM2PROF Pilot 2021*. Deltares: 11206813-002-ZWS-0013.
- 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.
- De Jong, J. (2020). *Ontwikkeling zesde-generatie Maas model*. Deltares: 11200569-003-ZWS-0014.
- 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.
- Groenewege, R., & Berends, K. (2023). *Jaarlijkse actualisatie modellen Maas 2023: sobek-maas-j23\_6-v1a1*. Deltares. 11209233-002-ZWS-0004.
- Kosters, A., & Berends, K. (2022). *Werkplan KPP 2022 - Rijn; Hydraulica schematisaties zoet en zout*. Deltares rapport 11208053-003-ZWS-0003. Delft: Deltares.
- Maas, B., Gensen, M., & Berends, K. (2023). *Update zesde-generatie Rijntakken model 1D; concept rapport; Deltares rapport 11209233-003-ZWS-0007*.
- van den Hoek, A., & van der Deijl, E. (2023). *Actualisatie zesde-generatie Maasmodel 2023: schematisatie dflowfm2d-maas-j23\_6*. Deltares: 11209233-002-ZWS-0005.
- Van der Deijl, E. (2024). *Validatie hoogwater Maas juli 2021*. Deltares. 11208053-002-ZWS-0006.

# A Tabellen

## A.1 Dynamische sommen

### A.1.1 Tabellen

Tabel A-1 Gemiddeld verschil (bias) in m voor de kalibratie en dynamische sommen

	Kalibratie	D1300	D2100	D3200	D4100	D6000
MA_2.56_R_LMW-H_Eijsden-Grens	0	0	0.01	0.01	0	-0.02
MA_10.80_L_LMW-H_Sint-Pieter-Noord	0	0.01	0.01	0	0.02	-0.03
MA_15.25_R_LMW-H_Borgharen-Julianakanaal	0.07	0	0.08	0.09	0.15	0.19
MA_15.9_L_LMW-H_Overlaat-Boscherveld	-2.46	-3.16	-2.13	-1.26	-0.82	-0.33
MA_16.00_R_LMW-H_Borgharen-dorp	0	0.02	0.02	0.02	0.01	0.06
MA_29.32_R_LMW-H_Elsloo	-0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.09
MA_29.42_R_LMW-H_Elsloo-tot1996	0.06	0.08	0.12	0.13	0.12	0.17
MA_44.94_R_LMW-H_Grevenbicht-tot2020	0	0.02	0.03	0.05	0.04	0.1
MA_61.57_R_LMW-H_Stevensweert	0	0.01	0.02	0	-0.02	0.06
MA_67.30_L_LMW-H_Heel-boven-g6	0.06	0	0.06	0.07	0.09	0.2
MA_70.40_R_LMW-H_Linne-beneden	0	0.01	0.02	0.01	0.02	0.03
MA_79.75_R_LMW-H_Roermond-boven	-0.08	0	-0.06	-0.13	-0.14	-0.25
MA_85.77_L_LMW-H_Buggenum-Hanssummerweerd	0.01	0.04	0.03	0.02	0.05	0
MA_90.11_L_LMW-H_Neer	0.01	0.05	0.04	0.03	0.06	0.01
MA_94.89_L_LMW-H_Kessel-tot2013	0.01	0	0.01	0.04	0.1	0.09
MA_100.75_R_LMW-H_Belfeld-boven	0.08	0.1	0.15	0.14	0.19	0.14
MA_102.56_R_LMW-H_Belfeld-beneden-tot1996	0.01	0.04	0.03	0.04	0.09	0.01
MA_102.69_R_LMW-H_Belfeld-beneden	0.01	0.03	0.02	0.04	0.08	0
MA_107.47_L_LMW-H_Venlo	-0.01	0.01	0	0.02	0.06	0.01
MA_132.10_R_LMW-H_Well-dorp	0	0.03	0	0.01	0.06	0.03
MA_144.96_R_LMW-H_Sambeek-boven	0.05	0.06	0.1	0.11	0.18	0.12
MA_147.45_R_LMW-H_Sambeek-beneden-tot1996	-0.01	0	0.01	0.03	0.08	0.01
MA_147.70_L_LMW-H_Sambeek-beneden	-0.01	0.02	0.01	0.03	0.08	0.01
MA_155.10_L_LMW-H_Gennep	0	0.03	0.04	0.05	0.07	0
MA_165.80_R_LMW-H_Mook	0	0.01	0.04	0.07	0.08	-0.01

	Kalibratie	D1300	D2100	D3200	D4100	D6000
MA_174.62_R_LMW-H_Grave-boven	0.03	0.02	0.07	0.16	0.17	0.08
MA_175.97_R_LMW-H_Grave-beneden-tot1996	0.02	0.04	0.07	0.13	0.16	0.06
MA_177.00_R_LMW-H_Grave-beneden	-0.01	0.02	0.04	0.07	0.1	-0.01
MA_190.75_L_LMW-H_Megen-dorp	-0.02	0.01	0.05	0.07	0.08	0
MA_200.69_L_LMW-H_Lith-boven	0.01	-0.01	0.09	0.13	0.15	0.1
MA_200.74_L_LMW-H_Lith-boven-tot1996	0.02	-0.01	0.1	0.14	0.16	0.11
MA_202.37_L_LMW-H_Lith-dorp	-0.01	0.02	0.04	0.08	0.12	0.01
MA_215.40_L_LMW-H_Empel-beneden	-0.09	0	-0.03	-0.06	-0.07	-0.26
MA_230.61_L_LMW-H_Heesbeen	-0.01	0.01	0.05	0.1	0.11	-0.01
MA_247.60_R_LMW-H_Keizersveer	0	0.01	0.03	0.03	0.03	0.05
<b>Gemiddeld</b>	<b>-0.06</b>	<b>-0.07</b>	<b>-0.02</b>	<b>0.01</b>	<b>0.05</b>	<b>0.02</b>
<b>Gemiddeld (zonder overlaat Bosscherveld)</b>	<b>0.00</b>	<b>0.02</b>	<b>0.04</b>	<b>0.05</b>	<b>0.07</b>	<b>0.03</b>

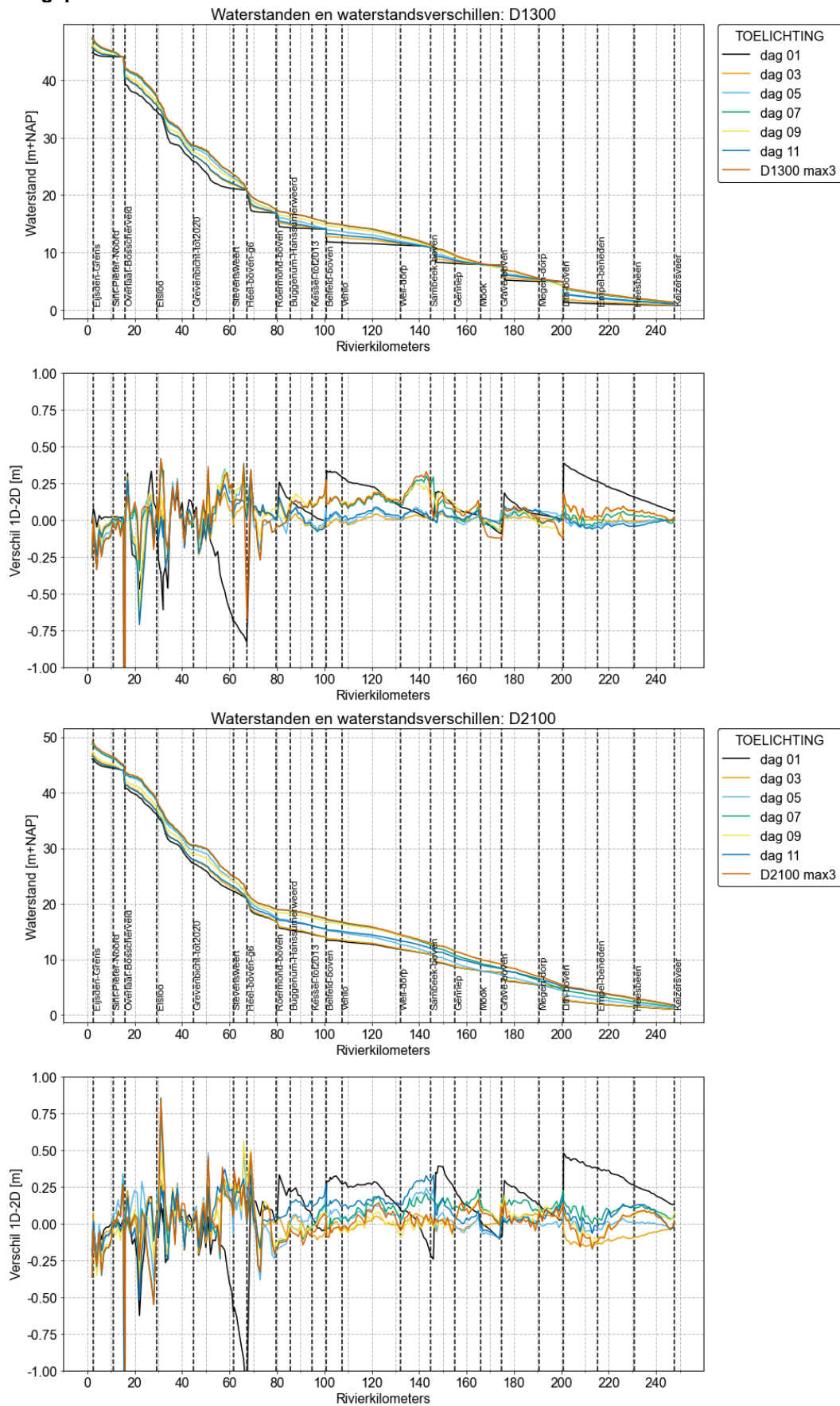
Tabel A-2 Standaardafwijking in m voor de kalibratie en dynamische sommen

	Kalibratie	D1300	D2100	D3200	D4100	D6000
MA_2.56_R_LMW-H_Eijsden-Grens	0.02	0.03	0.03	0.05	0.05	0.04
MA_10.80_L_LMW-H_Sint-Pieter-Noord	0.02	0.01	0.03	0.04	0.04	0.08
MA_15.25_R_LMW-H_Borgharen-Julianakanaal	0.1	0	0.11	0.1	0.08	0.1
MA_15.9_L_LMW-H_Overlaat-Boscherveld	1.75	0.73	0.76	0.68	0.58	0.45
MA_16.00_R_LMW-H_Borgharen-dorp	0.02	0.03	0.04	0.04	0.04	0.08
MA_29.32_R_LMW-H_Elsloo	0.08	0.04	0.04	0.06	0.06	0.14
MA_29.42_R_LMW-H_Elsloo-tot1996	0.11	0.05	0.05	0.06	0.07	0.13
MA_44.94_R_LMW-H_Grevenbicht-tot2020	0.05	0.01	0.03	0.04	0.04	0.12
MA_61.57_R_LMW-H_Stevensweert	0.05	0.08	0.09	0.09	0.08	0.18
MA_67.30_L_LMW-H_Heel-boven-g6	0.11	0.05	0.12	0.14	0.15	0.26
MA_70.40_R_LMW-H_Linne-beneden	0.06	0.13	0.14	0.16	0.14	0.16
MA_79.75_R_LMW-H_Roermond-boven	0.1	0.03	0.08	0.08	0.08	0.18
MA_85.77_L_LMW-H_Buggenum-Hanssummerweerd	0.03	0.08	0.12	0.11	0.1	0.14
MA_90.11_L_LMW-H_Neer	0.04	0.08	0.12	0.11	0.1	0.15
MA_94.89_L_LMW-H_Kessel-tot2013	0.08	0.07	0.11	0.12	0.13	0.13
MA_100.75_R_LMW-H_Belfeld-boven	0.09	0.12	0.11	0.1	0.09	0.13
MA_102.56_R_LMW-H_Belfeld-beneden-tot1996	0.04	0.13	0.14	0.1	0.08	0.15

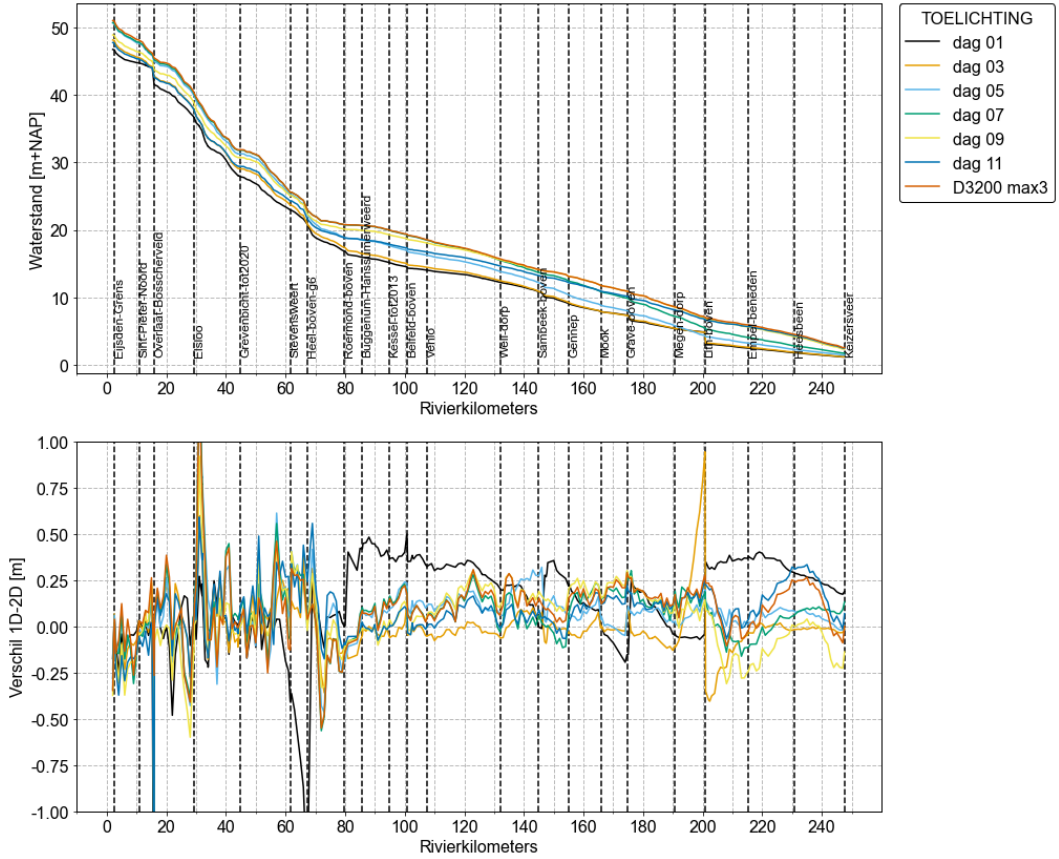


	Kalibratie	D1300	D2100	D3200	D4100	D6000
MA_102.69_R_LMW-H_Belfeld-beneden	0.04	0.13	0.14	0.1	0.08	0.15
MA_107.47_L_LMW-H_Venlo	0.03	0.12	0.14	0.09	0.08	0.13
MA_132.10_R_LMW-H_Well-dorp	0.03	0.07	0.09	0.07	0.09	0.13
MA_144.96_R_LMW-H_Sambeek-boven	0.08	0.11	0.12	0.08	0.08	0.15
MA_147.45_R_LMW-H_Sambeek-beneden-tot1996	0.03	0.09	0.11	0.1	0.11	0.13
MA_147.70_L_LMW-H_Sambeek-beneden	0.03	0.09	0.11	0.09	0.11	0.14
MA_155.10_L_LMW-H_Gennep	0.04	0.06	0.08	0.09	0.14	0.15
MA_165.80_R_LMW-H_Mook	0.03	0.03	0.05	0.08	0.15	0.15
MA_174.62_R_LMW-H_Grave-boven	0.07	0.05	0.06	0.11	0.15	0.13
MA_175.97_R_LMW-H_Grave-beneden-tot1996	0.13	0.08	0.1	0.12	0.14	0.14
MA_177.00_R_LMW-H_Grave-beneden	0.13	0.07	0.09	0.09	0.13	0.16
MA_190.75_L_LMW-H_Megen-dorp	0.13	0.04	0.06	0.09	0.12	0.15
MA_200.69_L_LMW-H_Lith-boven	0.14	0.05	0.12	0.27	0.16	0.16
MA_200.74_L_LMW-H_Lith-boven-tot1996	0.14	0.05	0.13	0.27	0.16	0.17
MA_202.37_L_LMW-H_Lith-dorp	0.06	0.08	0.12	0.14	0.13	0.16
MA_215.40_L_LMW-H_Empel-beneden	0.14	0.05	0.1	0.13	0.18	0.28
MA_230.61_L_LMW-H_Heesbeen	0.06	0.04	0.08	0.12	0.13	0.16
MA_247.60_R_LMW-H_Keizersveer	0.04	0.02	0.05	0.07	0.08	0.11
<b>Gemiddeld</b>	<b>0.12</b>	<b>0.08</b>	<b>0.11</b>	<b>0.12</b>	<b>0.12</b>	<b>0.15</b>
<b>Gemiddeld (zonder overlaat Bosscherveld)</b>	<b>0.10</b>	<b>0.06</b>	<b>0.09</b>	<b>0.10</b>	<b>0.10</b>	<b>0.14</b>

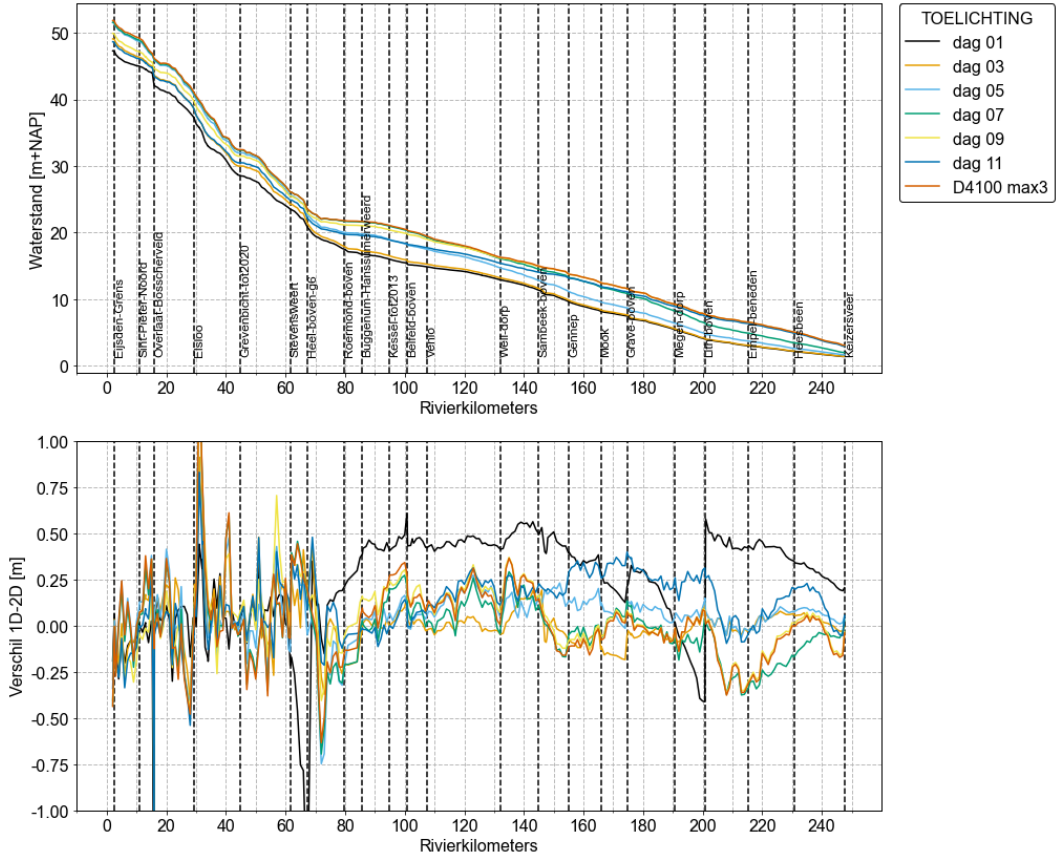
A.1.2 Langprofielen



Waterstanden en waterstandsverschillen: D3200

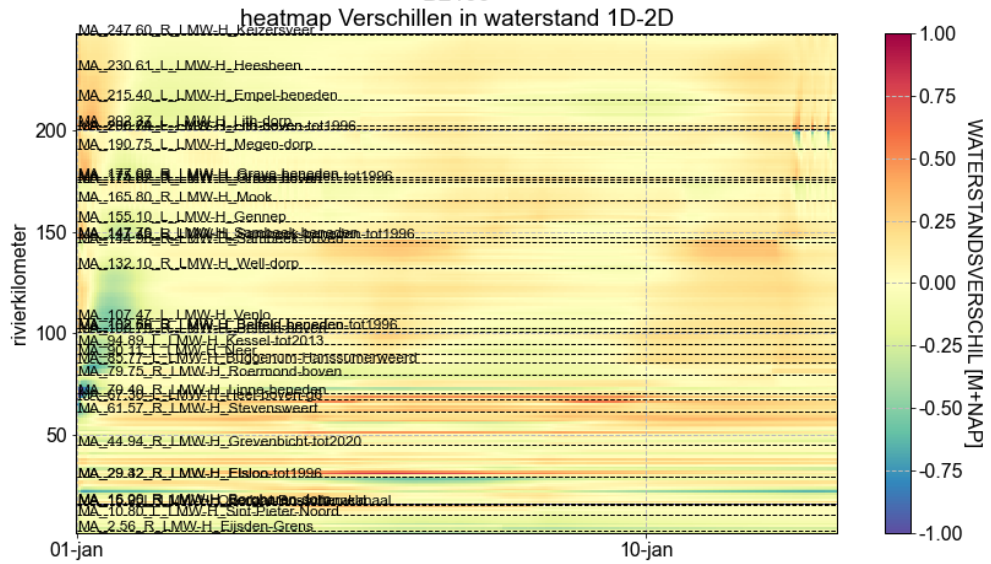


Waterstanden en waterstandsverschillen: D4100

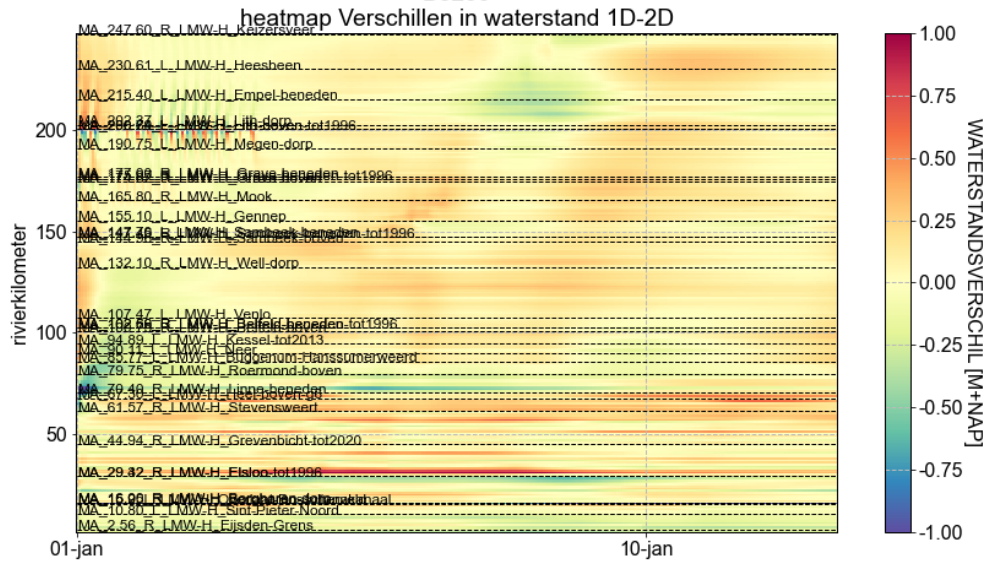




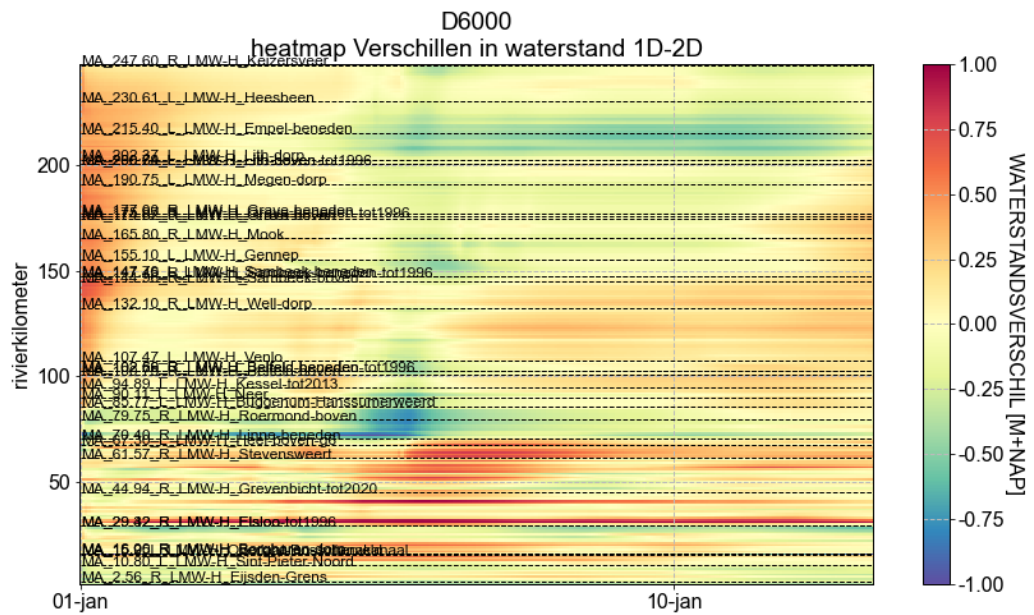
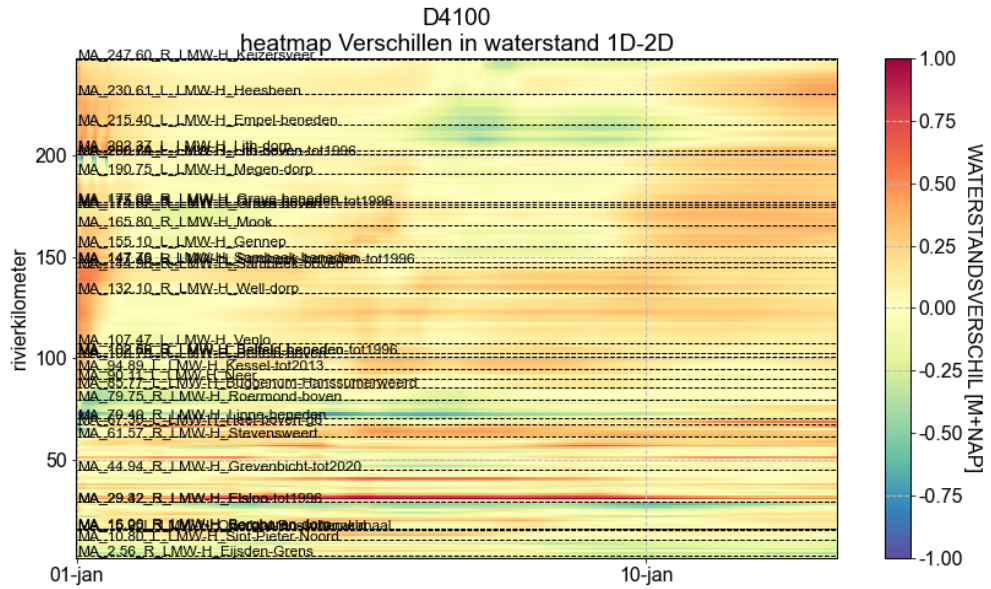
### D2100



### D3200









## A.2 Stationaire sommen

### A.2.1 Tabellen

Tabel A-3 Gemiddeld verschil (bias) in m voor de kalibratie en stationaire sommen

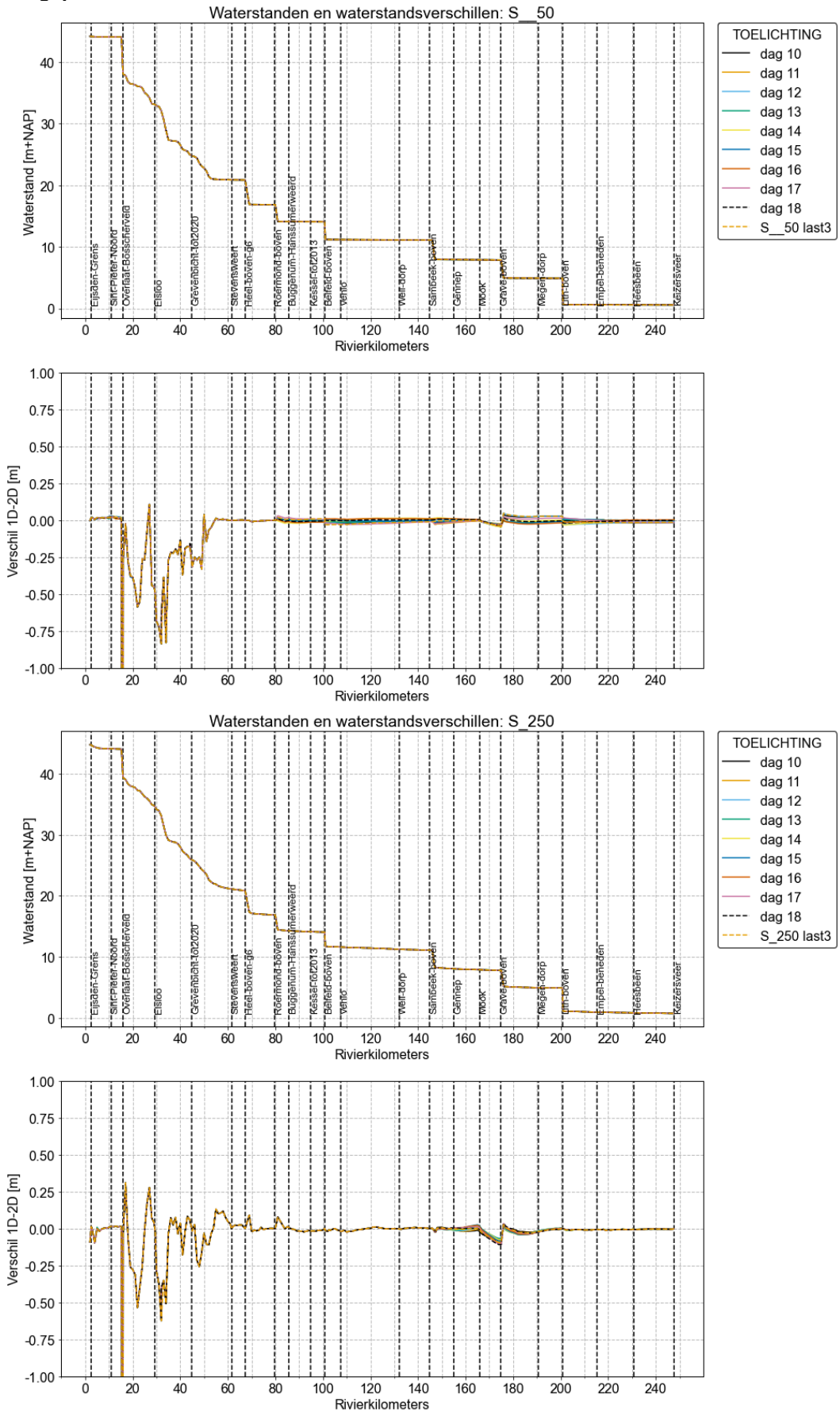
	Kalibratie	S_50	S_250	S1300	S2100	S3200	S4100	S6000
MA_2.56_R_LMW-H_Eijsden-Grens	0	0.02	0.01	0.01	-0.05	0.04	0	-0.08
MA_10.80_L_LMW-H_Sint-Pieter-Noord	0	0.02	0.02	-0.02	0.01	0.01	0.05	-0.2
MA_15.25_R_LMW-H_Borgharen-Julianakanaal	0.07	0	0	0	0.22	0.11	0.18	0.39
MA_15.9_L_LMW-H_Overlaat-Boscherveld	-2.46	-5.99	-4.66	-2	-1.05	-0.26	-0.12	0.23
MA_16.00_R_LMW-H_Borgharen-dorp	0	-0.26	-0.02	0.04	-0.04	0.05	-0.03	0.24
MA_29.32_R_LMW-H_Elsloo	-0.01	-0.48	-0.01	0.04	-0.09	0.06	0.01	0.41
MA_29.42_R_LMW-H_Elsloo-tot1996	0.06	-0.49	-0.01	0.15	0.04	0.13	0.08	0.48
MA_44.94_R_LMW-H_Grevenbicht-tot2020	0	-0.31	-0.01	0.03	0.04	0.06	-0.03	0.39
MA_61.57_R_LMW-H_Stevensweert	0	0	0	0.02	0.05	-0.11	-0.03	0.52
MA_67.30_L_LMW-H_Heel-boven-g6	0.06	0	0	0	0.06	0.08	0.26	0.75
MA_70.40_R_LMW-H_Linne-beneden	0	-0.01	-0.02	-0.01	0.12	-0.04	0.01	0.29
MA_79.75_R_LMW-H_Roermond-boven	-0.08	0	0	-0.11	-0.18	-0.21	-0.2	-0.33
MA_85.77_L_LMW-H_Buggenum-Hanssummerweerd	0.01	0	0.01	0.06	-0.09	0.04	0.05	-0.01
MA_90.11_L_LMW-H_Neer	0.01	-0.01	-0.02	0.09	-0.12	0.03	0.06	-0.02
MA_94.89_L_LMW-H_Kessel-tot2013	0.01	0	-0.02	0.07	-0.11	0.11	0.22	0.07
MA_100.75_R_LMW-H_Belfeld-boven	0.08	0	0	0.25	-0.01	0.13	0.21	0.09
MA_102.56_R_LMW-H_Belfeld-beneden-tot1996	0.01	-0.01	-0.01	0.13	-0.08	0.02	0.04	-0.09
MA_102.69_R_LMW-H_Belfeld-beneden	0.01	-0.01	-0.01	0.12	-0.09	0.02	0.04	-0.1
MA_107.47_L_LMW-H_Venlo	-0.01	-0.01	-0.02	0.08	-0.06	-0.01	0.05	0.01
MA_132.10_R_LMW-H_Well-dorp	0	0	0	0.08	-0.06	0.08	0.05	0.04
MA_144.96_R_LMW-H_Sambeek-boven	0.05	0	0	0.26	0.01	0.13	0.13	0.02
MA_147.45_R_LMW-H_Sambeek-beneden-tot1996	-0.01	-0.01	-0.02	0.03	-0.04	0.05	0.03	-0.06
MA_147.70_L_LMW-H_Sambeek-beneden	-0.01	-0.01	-0.01	0.05	-0.05	0.05	0.03	-0.05
MA_155.10_L_LMW-H_Gennep	0	0	0	0.05	-0.13	0.05	-0.02	-0.11
MA_165.80_R_LMW-H_Mook	0	0	0	0	0.01	0.07	-0.02	-0.25

	Kalibratie	S_50	S_250	S1300	S2100	S3200	S4100	S6000
MA_174.62_R_LMW-H_Grave-boven	0.03	-0.03	-0.09	0.06	0.07	0.2	0.09	-0.2
MA_175.97_R_LMW-H_Grave-beneden-tot1996	0.02	0.01	0.02	0.07	0.03	0.17	0.06	-0.23
MA_177.00_R_LMW-H_Grave-beneden	-0.01	0	0	0.05	-0.06	0.1	-0.02	-0.32
MA_190.75_L_LMW-H_Megen-dorp	-0.02	0	-0.02	0.04	-0.07	0.1	-0.05	-0.24
MA_200.69_L_LMW-H_Lith-boven	0.01	0	0	0.17	-0.04	0.2	0.02	-0.11
MA_200.74_L_LMW-H_Lith-boven-tot1996	0.02	0	0	0.18	-0.03	0.2	0.02	-0.1
MA_202.37_L_LMW-H_Lith-dorp	-0.01	-0.01	-0.01	0.08	-0.13	0.14	-0.07	-0.22
MA_215.40_L_LMW-H_Empel-beneden	-0.09	-0.01	-0.01	0	-0.34	-0.16	-0.42	-0.77
MA_230.61_L_LMW-H_Heesbeen	-0.01	0	0	0.05	-0.05	0.12	-0.08	-0.48
MA_247.60_R_LMW-H_Keizersveer	0	0	0	-0.02	-0.03	-0.01	0.03	0
<b>Gemiddeld</b>	<b>-0.06</b>	<b>-0.22</b>	<b>-0.14</b>	<b>0.00</b>	<b>-0.07</b>	<b>0.05</b>	<b>0.02</b>	<b>0.00</b>
Gemiddeld (zonder overlaat Bosscherveld)	<b>0.00</b>	<b>-0.05</b>	<b>-0.01</b>	<b>0.06</b>	<b>-0.04</b>	<b>0.06</b>	<b>0.02</b>	<b>-0.01</b>

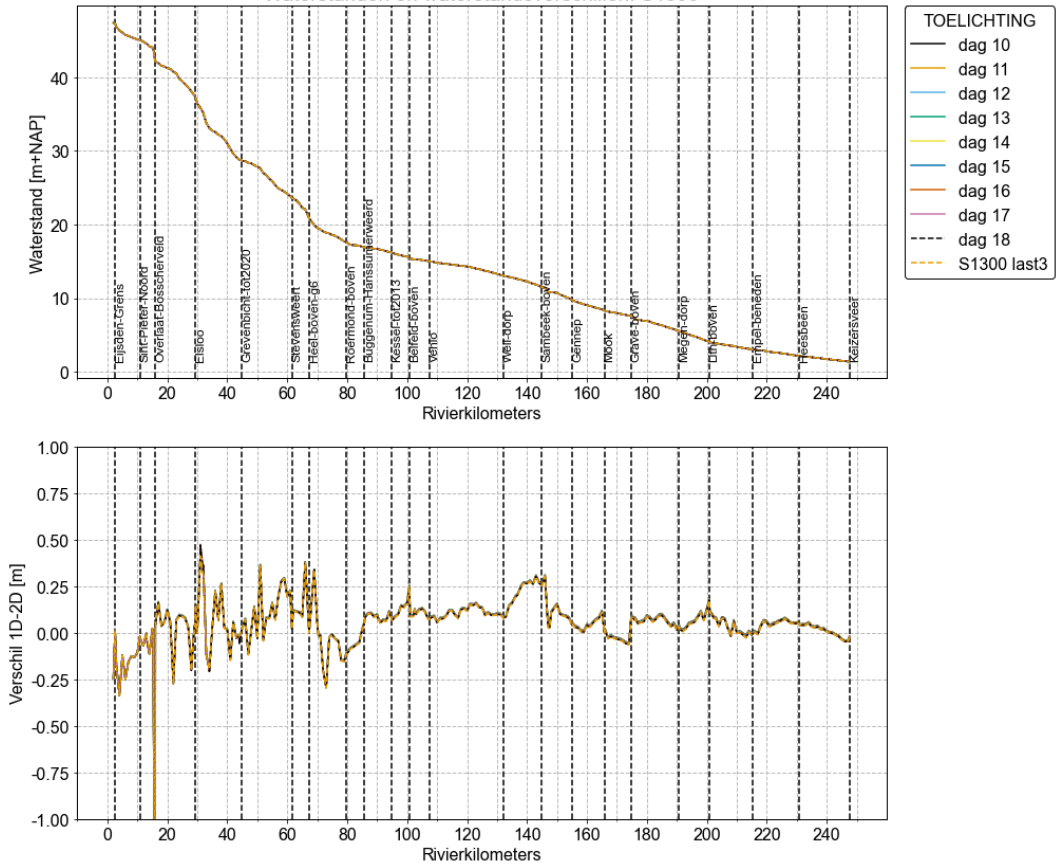
Tabel A-4 Standaardafwijking in m voor de kalibratie en stationaire sommen

	Kalibratie	S_50	S_250	S1300	S2100	S3200	S4100	S6000
MA_2.56_R_LMW-H_Eijsden-Grens	0.02	0	0	0	0	0	0	0
MA_10.80_L_LMW-H_Sint-Pieter-Noord	0.02	0	0	0	0	0	0	0
MA_15.25_R_LMW-H_Borgharen-Julianakanaal	0.1	0.01	0	0	0	0	0	0
MA_15.9_L_LMW-H_Overlaat-Boscherveld	1.75	0.1	0	0	0	0	0	0
MA_16.00_R_LMW-H_Borgharen-dorp	0.02	0.01	0	0	0	0	0	0
MA_29.32_R_LMW-H_Elsloo	0.08	0	0	0	0	0	0	0
MA_29.42_R_LMW-H_Elsloo-tot1996	0.11	0	0	0	0	0	0	0
MA_44.94_R_LMW-H_Grevenbicht-tot2020	0.05	0	0	0	0	0	0	0
MA_61.57_R_LMW-H_Stevensweert	0.05	0	0	0	0	0	0	0
MA_67.30_L_LMW-H_Heel-boven-g6	0.11	0	0	0	0	0.01	0	0
MA_70.40_R_LMW-H_Linne-beneden	0.06	0	0	0	0	0	0	0
MA_79.75_R_LMW-H_Roermond-boven	0.1	0	0	0	0	0	0	0
MA_85.77_L_LMW-H_Buggenum-Hanssummerweerd	0.03	0.01	0	0	0	0	0	0
MA_90.11_L_LMW-H_Neer	0.04	0.01	0	0	0	0	0	0

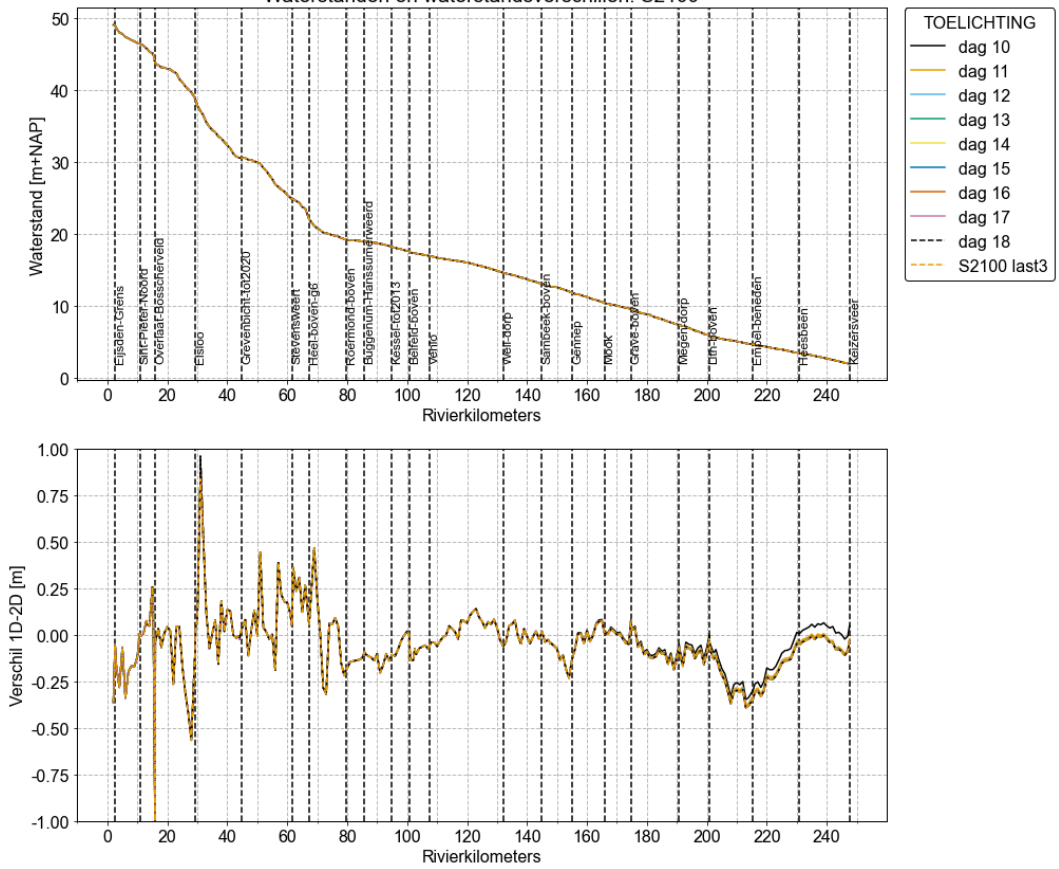
	Kalibratie	S_50	S_250	S1300	S2100	S3200	S4100	S6000
MA_94.89_L_LMW-H_Kessel-tot2013	0.08	0.01	0	0	0	0	0	0
MA_100.75_R_LMW-H_Belfeld-boven	0.09	0.01	0	0	0	0	0	0
MA_102.56_R_LMW-H_Belfeld-beneden-tot1996	0.04	0.01	0	0	0	0	0	0
MA_102.69_R_LMW-H_Belfeld-beneden	0.04	0.01	0	0	0	0	0	0
MA_107.47_L_LMW-H_Venlo	0.03	0.01	0	0	0	0	0	0
MA_132.10_R_LMW-H_Well-dorp	0.03	0.01	0	0	0	0	0	0.01
MA_144.96_R_LMW-H_Sambeek-boven	0.08	0.01	0	0	0	0	0.01	0.01
MA_147.45_R_LMW-H_Sambeek-beneden-tot1996	0.03	0.01	0	0	0	0	0.01	0.01
MA_147.70_L_LMW-H_Sambeek-beneden	0.03	0.01	0	0	0	0	0.01	0.02
MA_155.10_L_LMW-H_Gennep	0.04	0.01	0.01	0	0	0	0.01	0.02
MA_165.80_R_LMW-H_Mook	0.03	0	0.01	0	0	0	0.02	0.03
MA_174.62_R_LMW-H_Grave-boven	0.07	0.01	0.02	0	0	0	0.02	0.03
MA_175.97_R_LMW-H_Grave-beneden-tot1996	0.13	0.02	0.01	0	0	0	0.02	0.03
MA_177.00_R_LMW-H_Grave-beneden	0.13	0.02	0.01	0	0	0	0.02	0.03
MA_190.75_L_LMW-H_Megen-dorp	0.13	0.02	0	0	0	0	0.02	0.03
MA_200.69_L_LMW-H_Lith-boven	0.14	0.02	0	0	0.01	0	0.03	0.03
MA_200.74_L_LMW-H_Lith-boven-tot1996	0.14	0.02	0	0	0.01	0	0.03	0.03
MA_202.37_L_LMW-H_Lith-dorp	0.06	0.01	0	0	0.01	0	0.03	0.03
MA_215.40_L_LMW-H_Empel-beneden	0.14	0.01	0	0	0.01	0	0.03	0.03
MA_230.61_L_LMW-H_Heesbeen	0.06	0.01	0	0	0.01	0	0.03	0.02
MA_247.60_R_LMW-H_Keizersveer	0.04	0.01	0	0	0.01	0	0.02	0.02
<b>Gemiddeld</b>	<b>0.12</b>	<b>0.01</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>
<b>Gemiddeld (zonder overlaat Bosscherveld)</b>	<b>0.10</b>	<b>0.01</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>



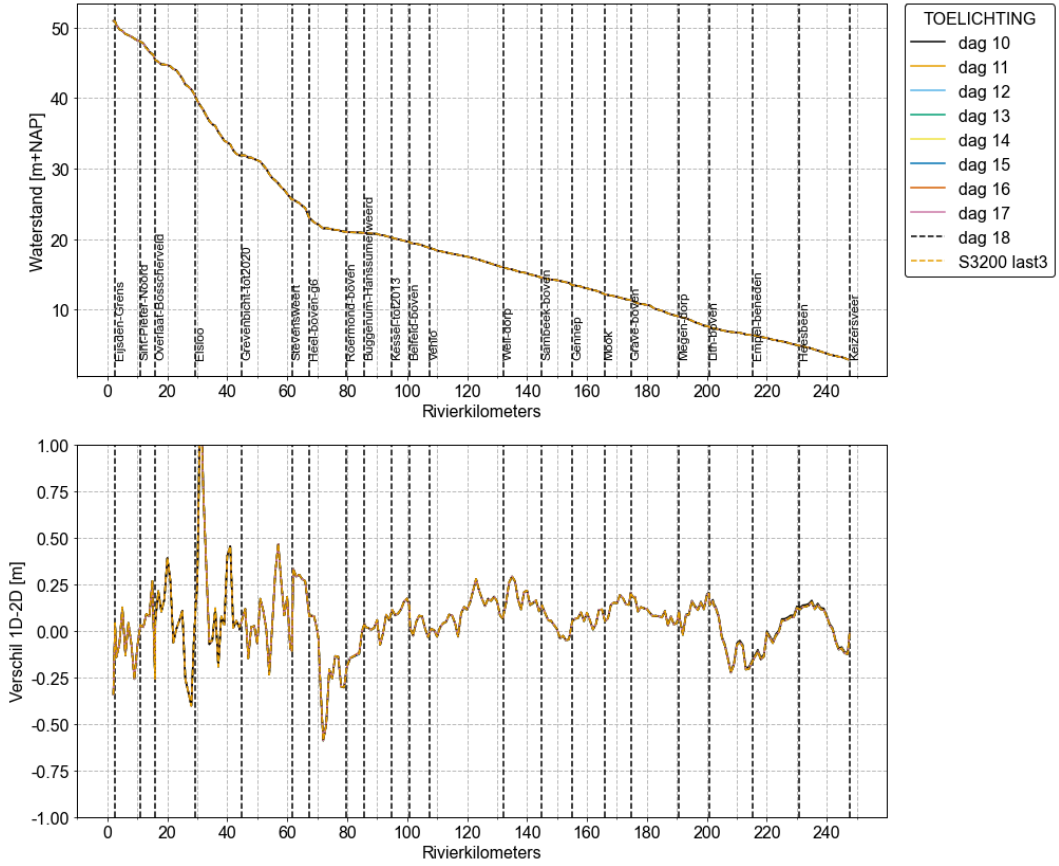
Waterstanden en waterstandsverschillen: S1300



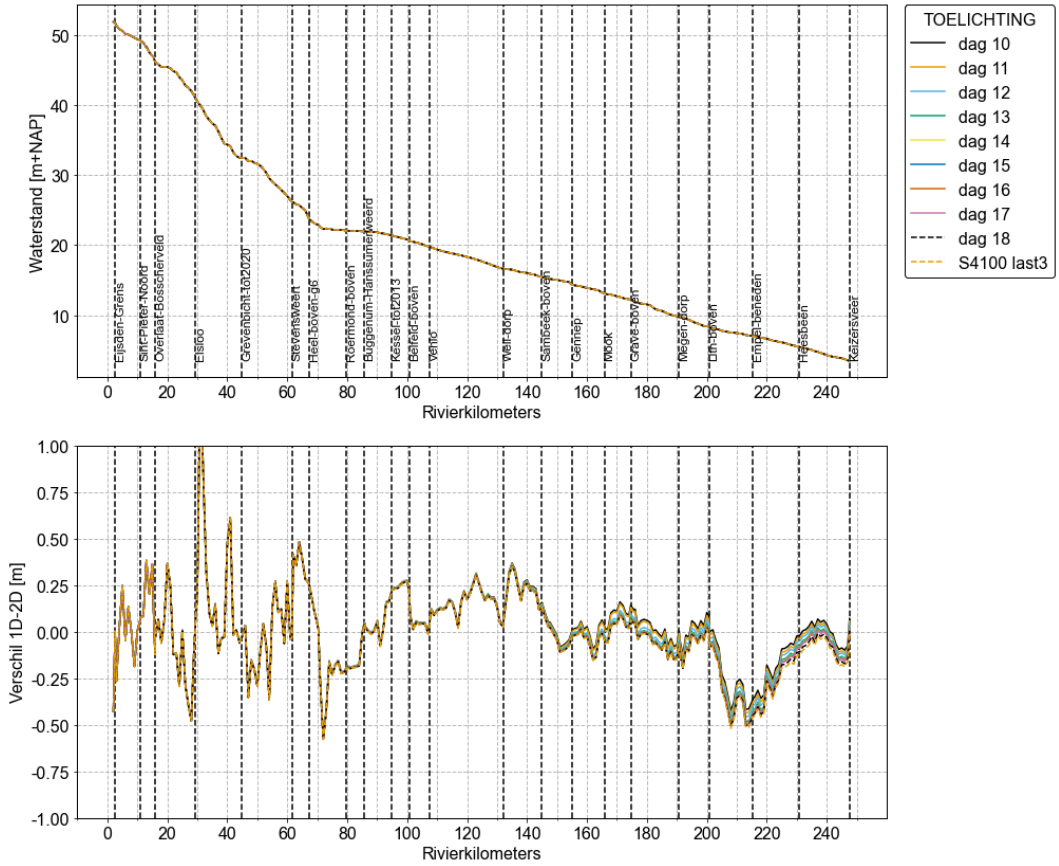
Waterstanden en waterstandsverschillen: S2100



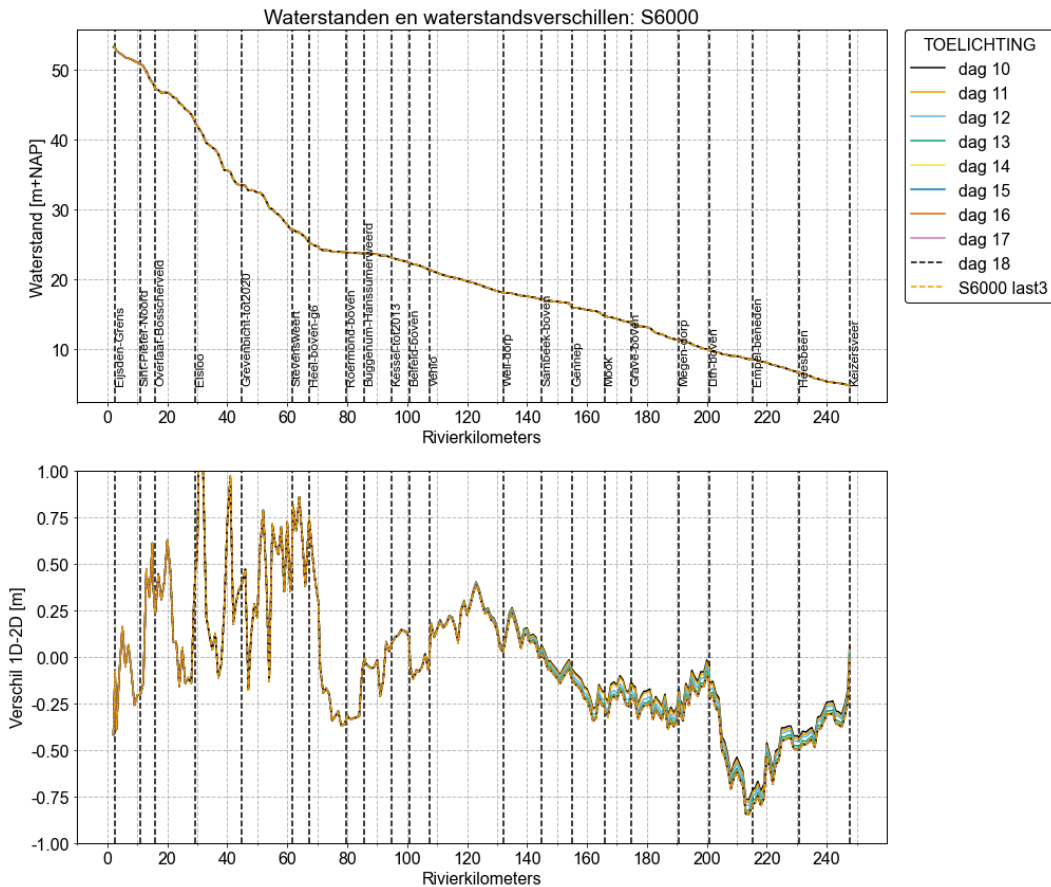
Waterstanden en waterstandsverschillen: S3200



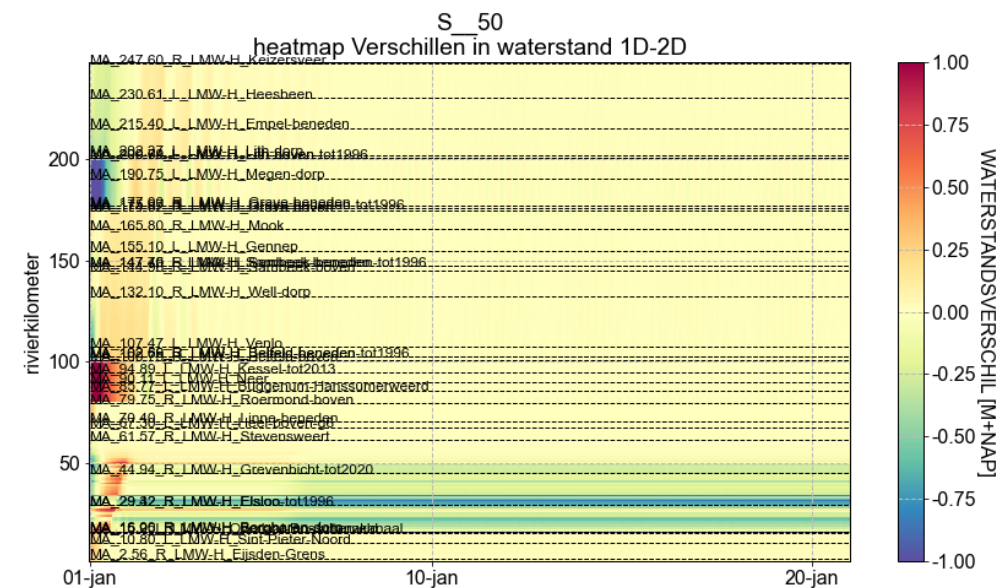
Waterstanden en waterstandsverschillen: S4100

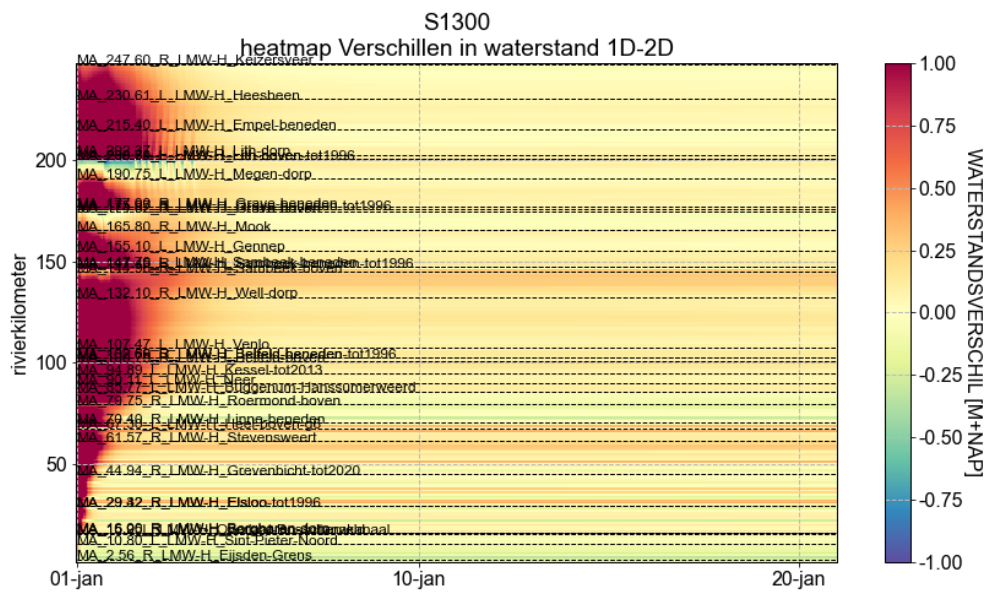
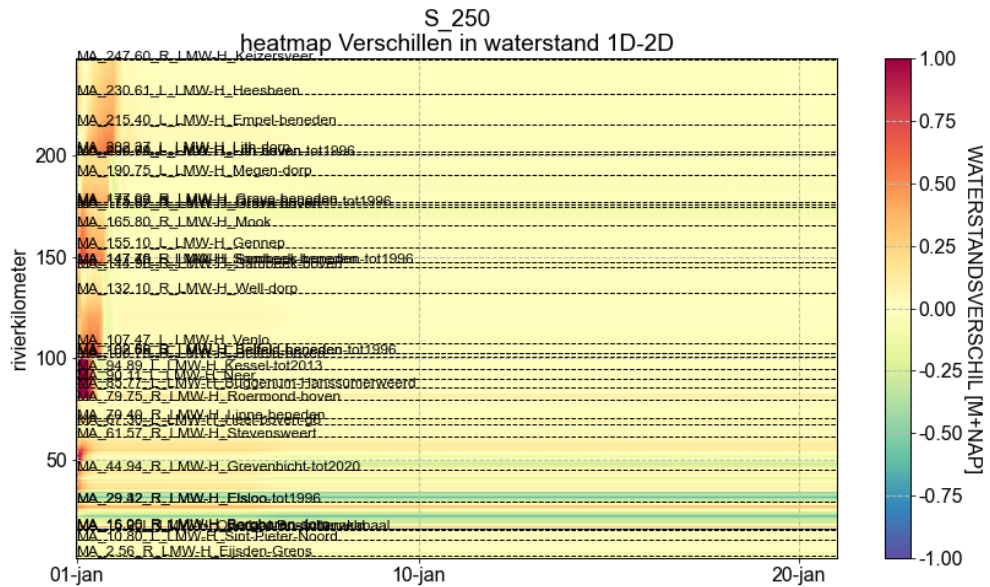


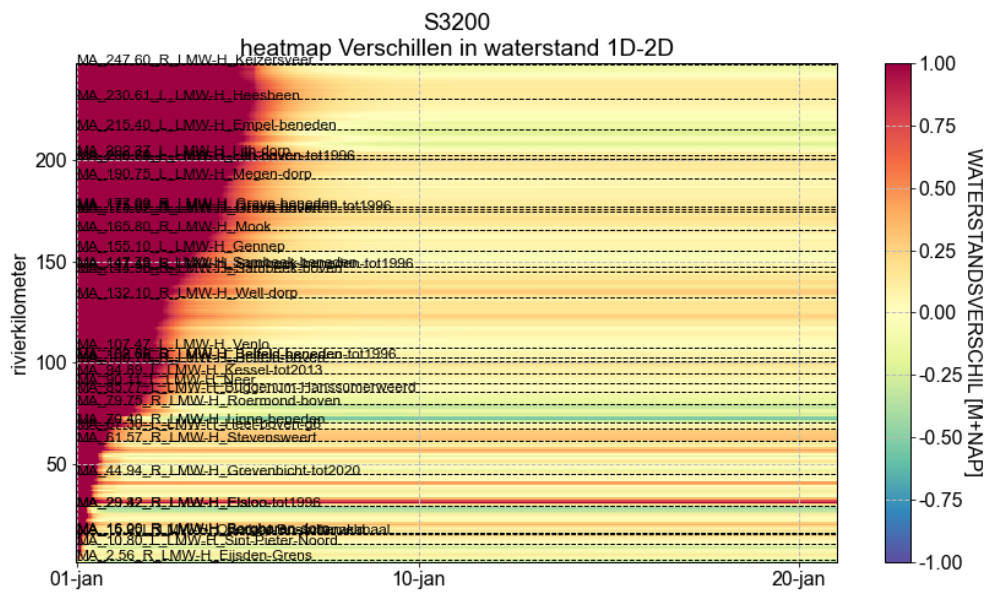
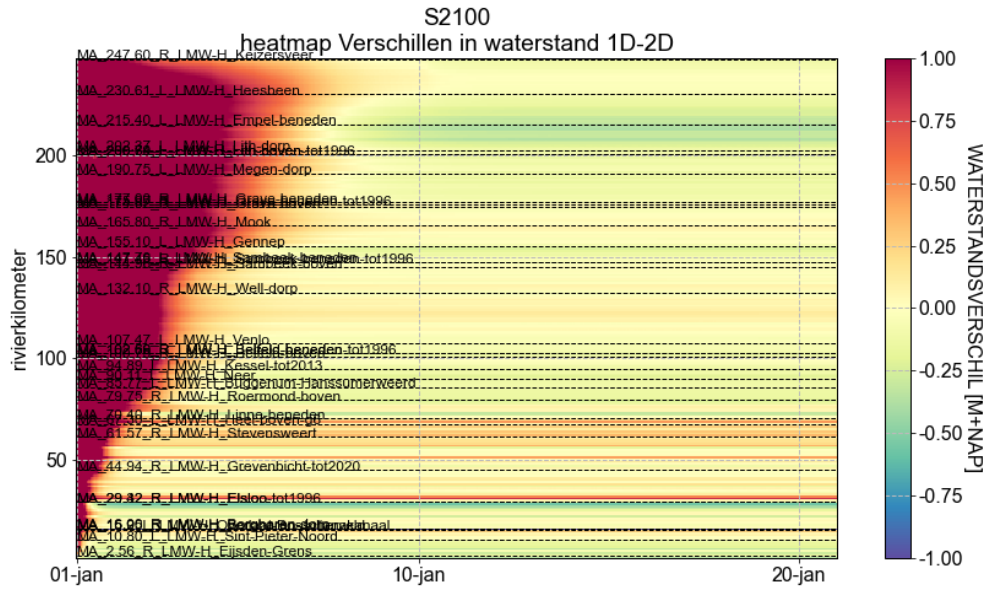


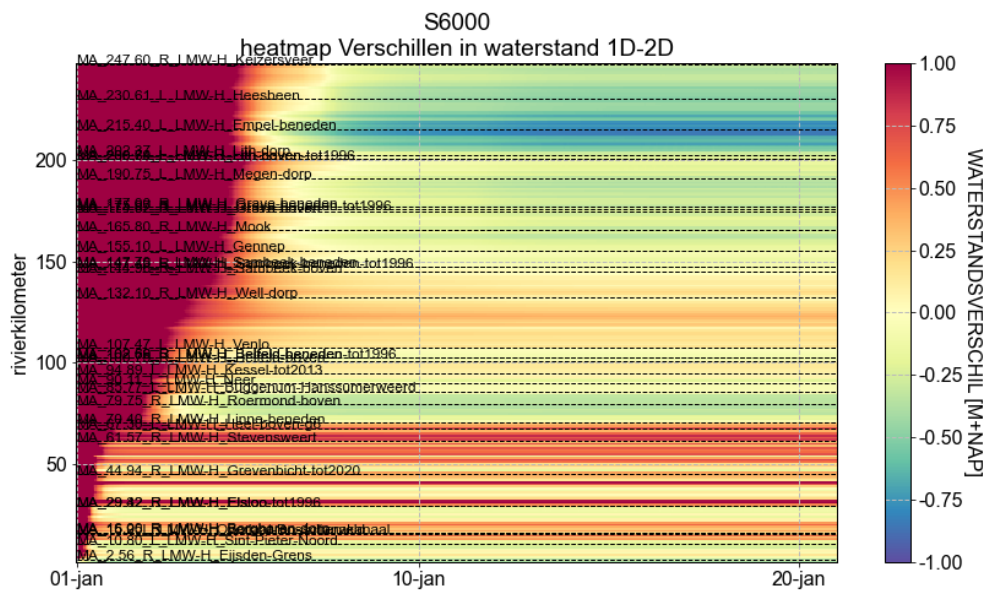
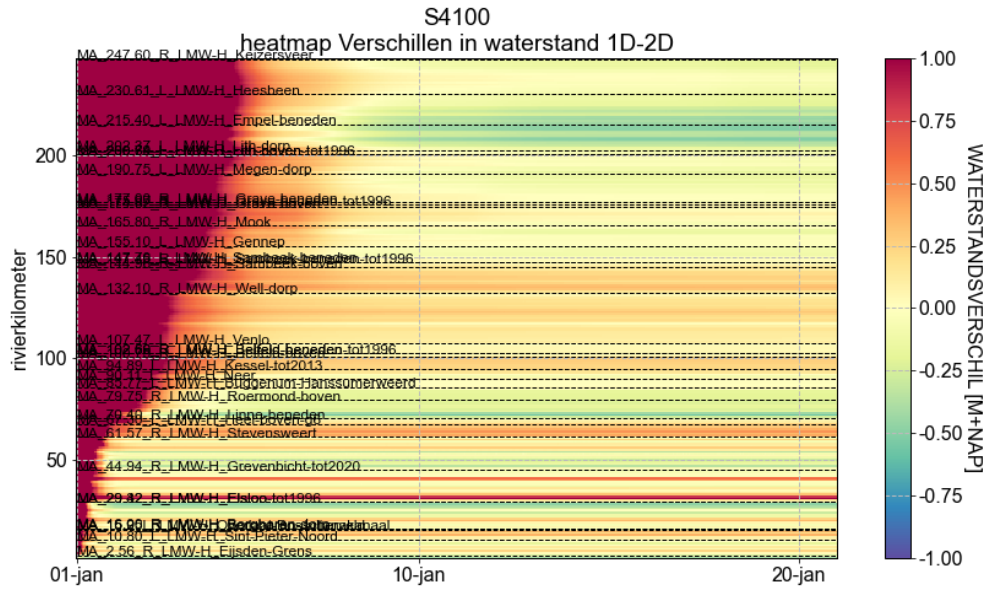


### A.2.3 Heatmaps









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](http://www.deltares.nl)