

## Ontwikkeling zesde-generatie Overijsselse Vecht model 2024

Schematisatie sobek-ovd-j24\_6-v1a1



## Ontwikkeling zesde-generatie Overijsselse Vecht model 2024

Schematisatie sobek-ovd-j24\_6-v1a1

<b>Opdrachtgever</b>	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
<b>Contactpersoon</b>	de heer M. Scholten
<b>Referenties</b>	SITO PS 2024 programma
<b>Trefwoorden</b>	SOBEK, Overijsselse Vecht, OVD, j24, modelschematisatie, 1D model, SITO-PS

### Documentgegevens

<b>Versie</b>	1.0
<b>Datum</b>	20-12-2024
<b>Projectnummer</b>	11210333-006
<b>Document ID</b>	11210333-006-ZWS-0016
<b>Pagina's</b>	35
<b>Classificatie</b>	
<b>Status</b>	definitief

### Auteur(s)

	Wout Leemeijer	

# Samenvatting

Dit rapport beschrijft de ontwikkeling van het zesde-generatie 1D model voor de Overijsselse Vechtdelta, *sobek-ovd-j24\_6\_v1a*. Dit is een eerste iteratie van het model, dat nog niet operationeel gebruikt gaat worden. Na een actualisatie van het 2D model (*dflowfm2d-j24\_6\_v1a*) in 2025 zal een nieuwe iteratie plaatsvinden, waarna het 1D model volledig wordt gekalibreerd en geactualiseerd.

## Modelbouw

Als basis voor de takkenstructuur van het 1D model wordt het vijfde-generatie model, *sobek-j14\_6\_v1a* gebruikt en volgens de standaardmethodiek ontwikkeld voor de zesde-generatie 1D modellen van de Maas en Rijntakken. Dit betekent dat er een aantal verschillen zijn ten opzichte van het vijfde-generatie model. De belangrijkste uitgangspunten hierin zijn:

- Het 1D model wordt gebaseerd op het 2D model. Dit betekent dat de naamgeving van objecten, de grenzen van het model en de RTC sturing volledig identiek zijn aan het 2D model. Beperkte aanpassingen zijn doorgevoerd om het voor 1D geschikt te maken.
- Profielen en ruwheden worden afgeleid met het programma FM2PROF.
- Er wordt gekalibreerd op 2D model resultaten, binnen één som.

In de takkenstructuur hebben verder wijzigingen plaats gevonden om overeen te komen met het Ruimte voor de Vecht project.

## Kalibratie

De kalibratie bestaat uit het aanpassen van de zomerbedruwheid van het 1D model tot dat de waterstanden op de LMW meetstations of de meetstations van de waterschappen zo goed mogelijk overeenkomen met het 2D model over het gehele afvoerbereik. De kalibratiesimulatie heeft dezelfde afvoerrandvoorwaarde als de som waarmee de profielen en ruwheden zijn afgeleid. Aangezien dit model nog niet operationeel wordt ingezet en een volledige kalibratie opnieuw nodig is na de actualisatie van het 2D model, is ervoor gekozen om het kalibratieproces één keer te doorlopen om te zien wat aandachtspunten zijn voor de volledige kalibratie. Hierin is te zien dat de ruwheidstrajecten gekozen op de Duitse Vecht aangepast moeten worden voor een volledige kalibratie. Verder laten resultaten op de Overijsselse Vecht zien dat bovenstrooms de afvoerniveaus en de spin-up van het model geëvalueerd moeten worden. Benedenstrooms op de Overijsselse Vecht en op het Zwarte Water zijn de waterstandsverschillen wel verkleind.

## Validatie

De validatie die is uitgevoerd door het simuleren van de afleidsommen laat zien dat de resultaten overeenkomen met de resultaten van de kalibratie. Op de Duitse Vecht zijn de waterstandsverschillen het grootst, maar ook op delen van de Overijsselse Vecht zijn er significante verschillen. Kijkend naar alle uitvoerlocaties van het 2D model in plaats van alleen de LMW stations op de Overijsselse Vecht, laat zien dat er op de LMW stations soms grotere verschillen ontstaan. Dit komt doordat deze vaak vlak bij een stuw liggen waar grote verschillen ontstaan door verkeerde profielen.

## **Conclusie**

Dit is een eerste iteratie in de ontwikkeling van een zesde-generatie 1D model van de Overijsselse Vecht. De schematisatie van het model is gelijkgetrokken met het 2D model en alle stappen van de ontwikkeling zijn een keer doorlopen om te zien welke lessen eruit getrokken konden worden. Deze lessen kunnen worden gebruikt voor de actualisatie van dit model, leidend tot een operationeel zesde-generatie model.

# Inhoud

<b>Samenvatting</b>		<b>3</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>6</b>
1.1	Methode	6
1.2	Software	7
1.3	Team	7
<b>2</b>	<b>Modelbouw</b>	<b>8</b>
2.1	Aanpassingen aan schematisatie	8
2.1.1	Model gebied	8
2.1.2	Uitlijnen takken	9
2.1.3	Kunstwerken	10
2.2	Genereren van profielen en ruwheden	12
2.2.1	2D Afleidsom voor FM2PROF	13
2.2.2	Dwarsprofiellocaties	14
2.2.3	Gebieds- en sectievakken	14
2.2.4	Draaien van FM2PROF	16
2.3	Ongekalibreerde vergelijking met 2D	16
<b>3</b>	<b>Kalibratie</b>	<b>23</b>
3.1	Methode	23
3.2	Resultaten	25
3.2.1	Ruwheden	25
3.2.2	Waterstanden	26
3.2.3	Aandachtspunten voor een nieuwe kalibratiestap	28
<b>4</b>	<b>Validatie</b>	<b>30</b>
<b>5</b>	<b>Conclusie en Aanbevelingen</b>	<b>32</b>
5.1	Conclusies	32
5.1.1	Modelbouw	32
5.1.2	Kalibratie	32
5.1.3	Validatie	32
5.2	Aanbevelingen	32
<b>6</b>	<b>Bibliografie</b>	<b>34</b>

# 1 Inleiding

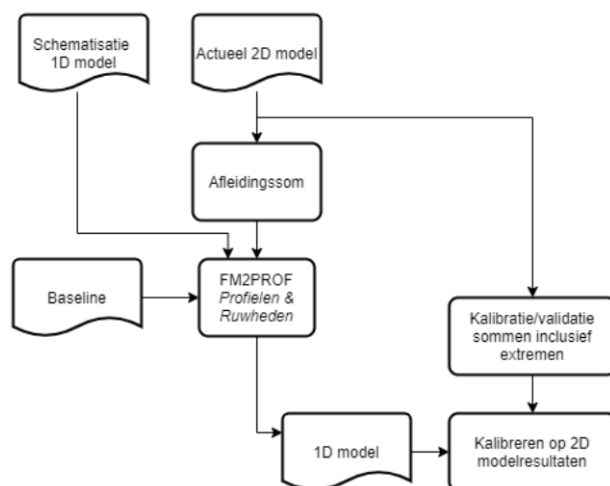
Dit rapport beschrijft de bouw, afregeling en testen van het zesde-generatie 1D model voor de Overijsselse Vecht: *sobek-ovd-j24\_6-v1a1*. Dit is het eerste zesde-generatie model voor de Overijsselse Vecht en is nog niet bedoeld voor operationeel gebruik, maar als eerste iteratie van het 1D model. Een nieuwe iteratie zal plaatsvinden na een volgende iteratie van het 2D model voor de Overijsselse Vecht: *dflowfm2d-ovd-j24\_6-v1b* of *dflowfm2d-ovd-j24\_6-v2a*.

Na de volgende iteratie van het 1D model, zal het standaardmodel gebruikt worden voor de berekening van waterstanden en afvoeren binnen het areaal van Rijkswaterstaat Oost-Nederland, Waterschap Drents Overijsselse Delta en Waterschap Vechtstromen. Daarnaast wordt ook een afgeleide variant opgeleverd: *sobek-ovd-j24\_6-v1a1-FEWS-Vecht*. Deze zal gebruikt worden voor de operationele voorspellingen voor onder meer watermanagement, waterverdeling en peilbeheer. Verder wordt het model opgenomen in het Landelijk SOBEK Model (LSM). Daarnaast zal Rijkswaterstaat via Informatiepunt Leefomgeving (IPLO) het model beschikbaar stellen voor mogelijke andere doelen.

## 1.1 Methode

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

- Het 1D model wordt volledig gebaseerd op het 2D model. Dit betekent dat de naamgeving van de objecten, randvoorwaarden en het RTC model identiek zijn aan het 2D model, tenzij dit niet mogelijk is.
- Profielen en winterbedruwheden worden afgeleid met het programma FM2PROF.
- Kalibratie van de ruwheid van het zomerbed vindt plaats op basis van 2D modelresultaten door het gebruik van OpenDA.



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. Deze staan beschreven in Tabel 1.1.

Tabel 1.1 De gebruikte software.

Software	Versie	Gebruikt voor
<b>SOBEK3</b>	3.7.26.55605	Simulaties en visuele inspectie
<b>D-HYDRO Suite</b>	2024.03	Simulaties van het 2D-model
<b>Baseline</b>	6.3.2.2739	Sectie invoer FM2PROF en maken van keuzes in schematisatie
<b>FM2PROF</b>	2.3.2	Afleiden van profielen en ruwheden, visualisatie van resultaten
<b>OpenDA</b>	2.4.5	Kalibratie

## 1.3 Team

Het werk is uitgevoerd door het volgende team:

Tabel 1.2 Het ontwikkel team.

Naam	Organisatie	Rol
<b>dr. ir. Koen Berends</b>	Deltares	Product owner
<b>Asako Fujisaki MSc</b>	Deltares	Systeem expert
<b>Wout Leemeijer MSc</b>	Deltares	Modelontwikkelaar
<b>Bart Maas MSc</b>	Deltares	Review
<b>dr. Ir. Matthijs Gensen</b>	Deltares (gedetacheerd vanuit HKV Lijn in Water)	Kalibratie

Tijdens de ontwikkeling heeft veel afstemming plaatsgevonden met RWS en de Waterschappen Drents Overijsselse Delta (WDOD) en Vechtstromen (WVS). Hierbij waren met name Martin Scholten (RWS-WVL), Dénes Beyer (RWS-ON), Robert Slomp (RWS-WVL) Gerben Tromp (WDOD) en Jeroen van der Scheer (WVS) betrokken.

## 2 Modelbouw

### 2.1 Aanpassingen aan schematisatie

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 die van het 2D model. Bij de bouw van het geactualiseerde 2D model (*dflowfm2d-ovd-j24\_6-v1a*) (Fujisaki & Leemeijer, 2024) is er gebruik gemaakt van de geüpdatet Baseline schematisatie: *baseline-nl\_land\_j24\_6-v1*. Deze schematisatie is geüpdatet vanaf Baseline schematisatie *baseline-nl\_land\_j23\_6-v2*. De lijst van geüpdatet Baseline maatregelen bestaat uit maatregelen voor de Ruimte voor de Vecht, actualisatie van de bodemhoogte en actualisatie van de vegetatie. Een volledige lijst is te vinden in het rapport over de ontwikkeling van het 2D model (Fujisaki & Leemeijer, 2024).

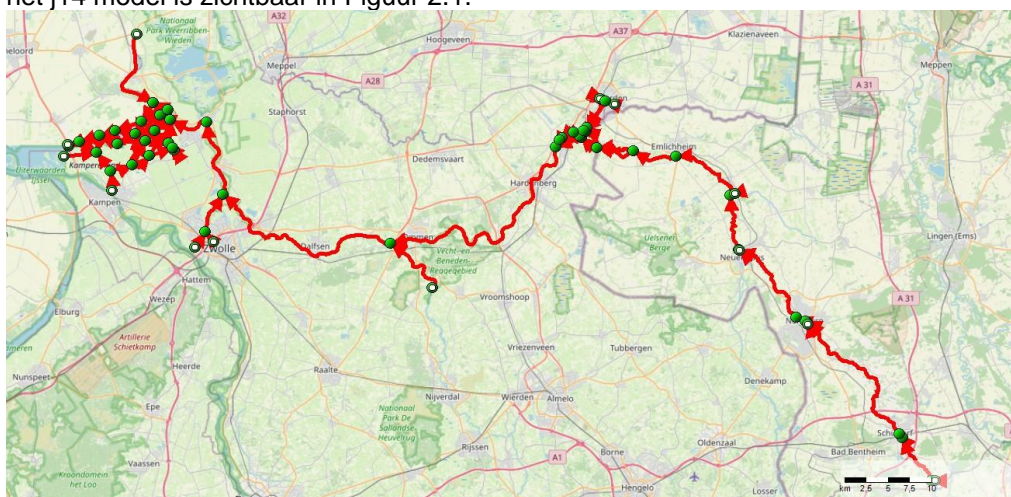
Verder zijn bij de bouw van *sobek-ovd-j24\_6-v1a1* een aantal specifieke 1D aanpassingen doorgevoerd in het model. Deze worden toegelicht in de onderstaande paragrafen.

#### 2.1.1 Model gebied

De eerste aanpassing betreft het updaten van de takkenstructuur. Als basis voor de bouw van *sobek-ovd-j24\_6-v1a1* is de schematisatie van het *sobek-ovd-j14-5 FEWS\_Vecht* model gebruikt (Figuur 2.1). De bovenstroomse randen van dit model liggen bij:

- Ohne (Duitsland);
- de instroom van het Nordhorn-Almelo Kanaal in Nordhorn (Duitsland);
- de instroom van de Dinkel in Neuenhaus (Duitsland);
- de instroom van de Lee bij Berge (Duitsland);
- voetbrug Trageldijk-Krimweg (Coevorden-West);
- brug de Heege (Coevorden-Oost);
- de Regge ter hoogte van de instroom van de Linderbeek;
- het Zwolle-IJsselkanaal ter hoogte van de Spooldersluis;
- het Zwarte Water ter hoogte van Keersluis Zwolle;
- het Ganzendiep ter hoogte van de Ganzensluis bij Kampen; en
- Blokzijl.

De benedenstroomse randen liggen bij de Ramsdiep en de Ramsgeul. Het model gebied van het j14 model is zichtbaar in Figuur 2.1.

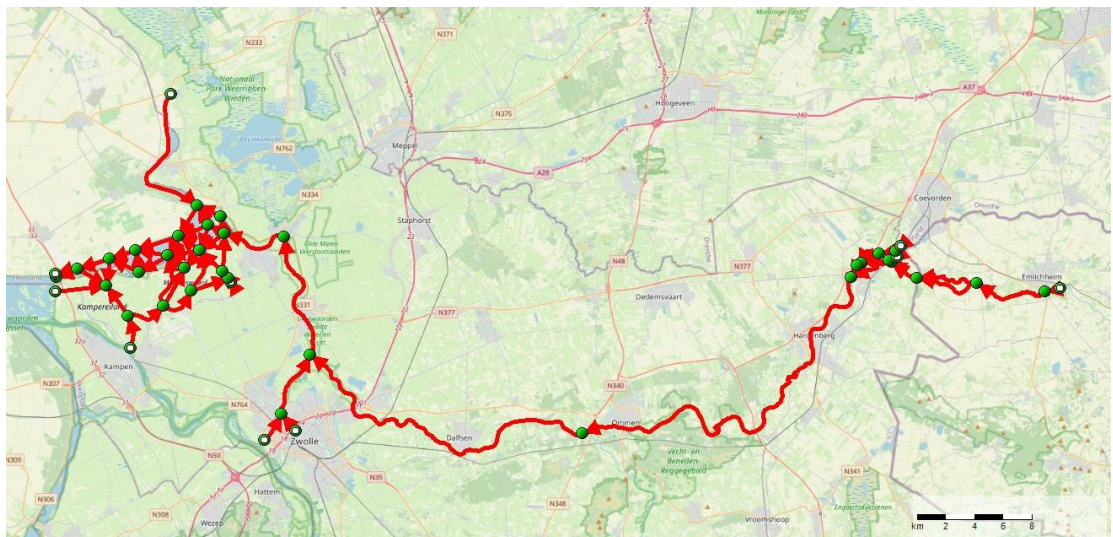


Figuur 2.1 Model gebied van het *sobek-ovd-j14-5 FEWS\_Vecht* model. De groene bollen geven de knopen waar twee rivier morden verbonden. De groen-witte bollen geven de randen van het model weer.

Aangezien het nieuwe model gebaseerd is op het geactualiseerde 2D model, betekent dat in het nieuwe 1D model de grenzen gelijk dienen te liggen met het 2D model. Hierdoor zijn er een aantal wijzigingen doorgevoerd aan het model gebied:

- Een knoop *Emlichheim\_rand* is toegevoegd op de grens van het 2D model bij Emlichheim (Duitsland). Dit is de nieuwe bovenstroomse rand. Alle knopen en takken bovenstrooms van Emlichheim zijn verwijderd. Voor het FEWS-Vecht model blijft de grens liggen bij Ohne.
- Een node is toegevoegd bij de Coevorder Sluis, wat een nieuwe bovenstroomse rand is. Alle nodes en takken bovenstrooms van de Coevorder Sluis, Overijsselse Stuw en Drentse Stuw zijn verwijderd. Voor het FEWS-Vecht model blijven de randen liggen bij Coevorden.
- Omdat er voor de Regge geen Baseline schematisatie is, is de Regge in het 2D-model geïmplementeerd als laterale polygoon op de plek waar de Regge en Vecht samenkomen. Daarom is in het 1D model de tak van de Regge tot aan de instroom van de Linderbeek verwijderd en vervangen door een lateraal. Deze lateraal wordt toegevoegd op de knoop waar de tak van de Regge samen wordt gevoegd met de Vecht.
- Het Meppelerdiep is niet geïmplementeerd als tak omdat dit niet nodig is vanuit het operationele model FEWS-Vecht.
- De benedenstroomse rand bij de Ramsgeul en Ramsdiep is verder benedenstrooms geplaatst om in lijn te zijn met het 2D model. De benedenstroomse rand lag nog gelijk met de oude Ramspolbrug en in het 2D model is dit in lijn met de nieuwe Ramspolbrug.

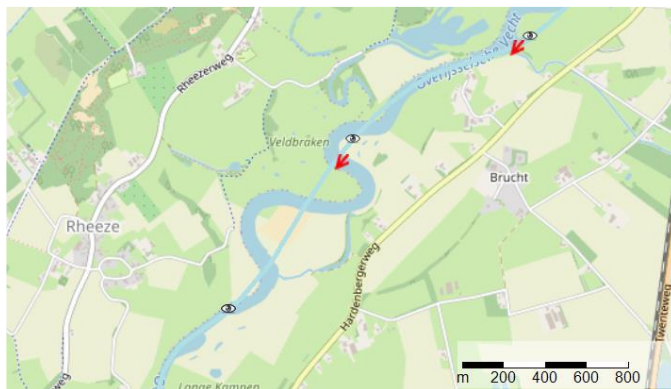
Het nieuwe modelgebied voor het 1D model is zichtbaar in Figuur 2.2.



Figuur 2.2 Model gebied van het *sobek-ovd-j24\_6-v1a1* model. De nodes zijn weergegeven als groene bolletjes. De modelranden zijn weergegeven als groen-witte bolletjes.

## 2.1.2 Uitlijnen takken

In de periode tussen het vorige 1D model (*sobek-ovd-j14-5 FEWS\_Vecht*) en de huidige Baseline schematisatie zijn er op een aantal plekken wijzigingen aangebracht vanwege het Ruimte voor de Vecht project. Dit betekent dat op een aantal plaatsen de rivier meer is gaan meanderen. Op deze plaatsen is de loop van de takkenstructuur aangepast om deze verandering mee te nemen. Dit is zichtbaar in Figuur 2.3 en Figuur 2.4.



Figuur 2.3 Riviertak bij Rheeze in het oude 1D model.



Figuur 2.4 Riviertak bij Rheeze in het nieuwe 1D model.

Verder is op een aantal plekken de loop van het zomerbed veranderd. Op basis van de nieuwe Baseline schematisatie is de loop van de takken aangepast, zodat het diepste gedeelte van de Vecht wordt gevolgd. Ook in het Zwolle-IJsselkanaal, Zwarte Water en Zwarte Meer is de loop van de takken aangepast zodat de rivieras in de nieuwe Baseline schematisatie wordt gevolgd (geen figuur toegevoegd).

### 2.1.3 Kunstwerken

Ook voor de kunstwerken hebben een aantal wijzigingen plaatsgevonden. Ten eerste is de RTC sturing van elk kunstwerk in het model gelijk getrokken met het 2D model, met uitzondering van het toevoegen van een regel waarmee de sturing kan worden overgenomen door FEWS, de zogenaamde *FEWS-SWITCH*. Ook is de ligging van de stuwen aangepast op basis van de geactualiseerde takkenstructuur en zijn de kenmerken van de stuwen gelijk getrokken ten opzichte van het 2D model.

Het zou in het 1D model ook mogelijk moeten staan dat de waterstand hoog genoeg is dat het over de stuw stroomt, maar nog niet hoog genoeg is om over het winterbed naast de stuw te stromen. Om dit te implementeren is naast de schematisatie van de stuw ook een schematisatie van de winterbed hoogte van de stuw geïmplementeerd. Dit geeft weer vanaf wanneer het winterbed naast de stuw ook overstroomt. Om dit mogelijk te maken is de winterbed hoogte geïmplementeerd op basis van een gemiddelde winterbed hoogte in de Baseline schematisatie. Dit betekent dat als de waterstand hoger is dan de winterbed hoogte van de stuw, er ook water langs de stuw stroomt in het 1D model. De gebruikte waarden zijn weergegeven in Tabel 2.1. Over het algemeen is de winterbedhoogte links en rechts van de stuw vergelijkbaar en samengevoegd in één winterbedhoogte en breedte. Echter voor de stuw bij Vechterweerd was er wel een aanzienlijk verschil zichtbaar, wat ervoor zorgde dat een tweede winterbedhoogte voor deze stuw wordt toegevoegd.

Tabel 2.1 (Winterbed)breedtes en hoogtes voor de stuwen.

Stuw	Breedte [m]	Winterbed hoogte [m]	Winterbed breedte [m]	Winterbed hoogte 2 [m]	Winterbed breedte 2 [m]
De-Haandrik	21	9.57	95	-	-
Hardenberg	27	7.60	121	-	-
Marienberg	27	6.50	60	-	-
Junne	27	5.60	160	-	-
Vilsteren	36	3.30	9.30	-	-
Vechterweerd	36	1.30	78	1.90	118
Kadoelen	24.3	3.61	120	-	-

Verder is er een duiker toegevoegd onder de N34 op de tak Noord-Meene, dit is zichtbaar in Figuur 2.5. De afmetingen van de duiker zijn zichtbaar in Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Afmetingen duiker onder de N34.

Hoogte (m)	Breedte (m)	Lengte (m)	Inlaat hoogte (m)	Uitlaat hoogte (m)
1.80	9.80	31.00	7.18	7.15

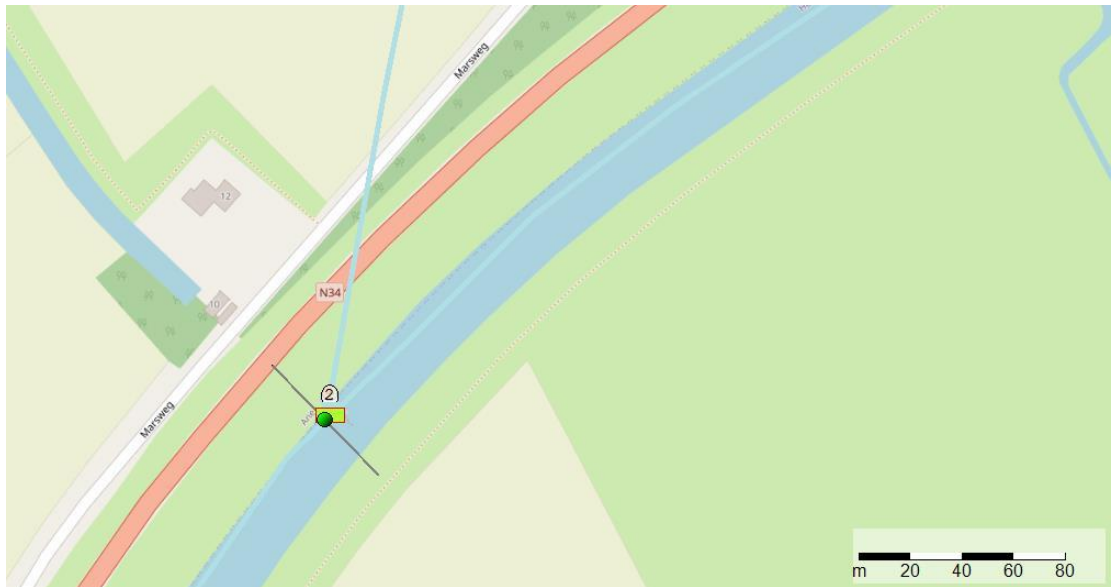


Figuur 2.5 Duiker onder de N34 op de tak Noord-Meene..

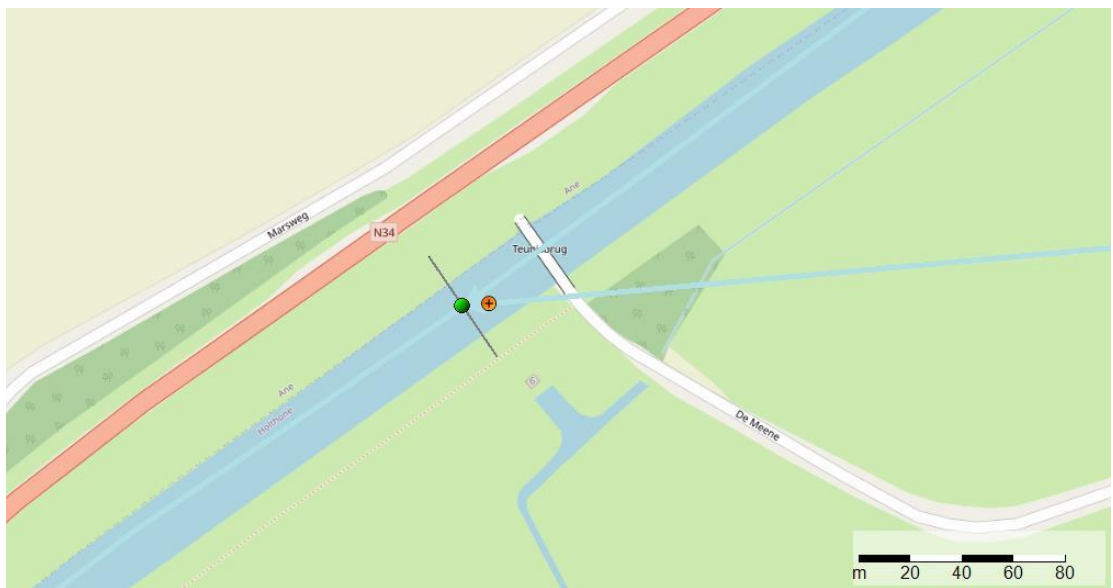
Daarnaast waren de uitlaten bij Noord-Meene en Zuid-Meene geïmplementeerd als stuwen met een vaste hoogte. Echter worden deze retentiegebieden in het echt leeg gepompt. Om beter over een te komen met de werkelijkheid zijn de stuwen aangepast naar 2 pompen bij de uitlaat van de Noord-Meene en 1 pomp bij de uitlaat van de Zuid-Meene. De gebruikte instellingen voor de pompen zijn zichtbaar in Tabel 2.3. De locatie van de toegevoegde pompen is zichtbaar in Figuur 2.6 en Figuur 2.7.

Tabel 2.3 Instellingen van de pompen bij Noord- en Zuid-Meene.

Pomp	Capaciteit (m <sup>3</sup> /s)	Aanslagpeil (m)	Afslagpeil (m)
Noord-Meene 1	100.00	7.10	7.01
Noord-Meene 2	50.00	7.10	7.01
Zuid-Meene	23.00	7.30	7.10



Figuur 2.6 De twee toegevoegde pompen bij de uitlaat van de tak Noord-Meene.



Figuur 2.7 De toegevoegde pomp bij de uitlaat van de tak Zuid-Meene.

Als laatste is de hoogte van het winterbed bij alle stuwen en de hoogte van de dijken bij het Kampereiland aangepast op basis van *baseline-nl\_land\_j24\_6-v1*.

## 2.2 Genereren van profielen en ruwheden

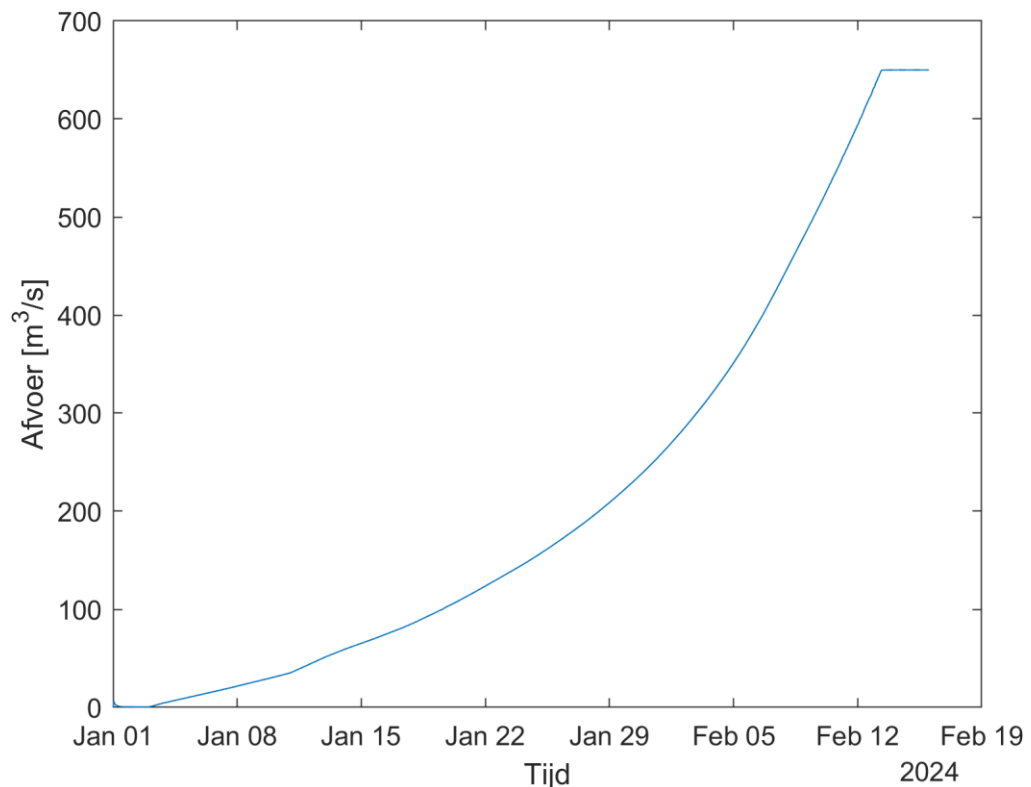
De dwarsprofielen en de ruwheden worden afgeleid van het 2D model met het programma FM2PROF. Hiervoor zijn vier invoerbestanden nodig: de resultaten van een 2D simulatie (2.2.1), de locaties waar een 1D dwarsprofiel en ruwheidspunt moet worden bepaald (2.2.2), en gebieds- en sectievakken om de dwarsprofielen toe te wijzen aan de juiste tak (2.2.3). Hiermee kan FM2PROF worden gedraaid (2.2.4).

### 2.2.1 2D Afleidsom voor FM2PROF

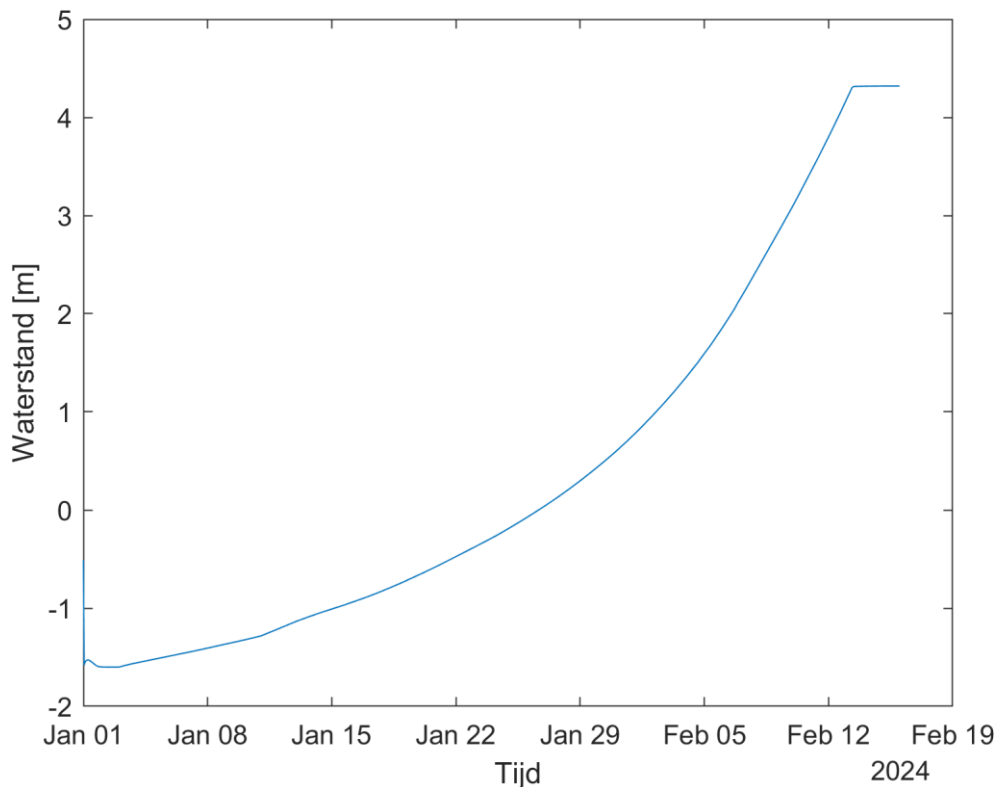
De zogenoemde 'afleidsom' is een som die als doel heeft om profielen en ruwheden te genereren vanuit het 2D model. Hiervoor is het van belang een zo uniform mogelijke stroming te creëren, zodat het hele profiel op elk punt in de rivier van onder tot boven doorlopen wordt. Hiervoor wordt een speciale set randvoorwaarden gebruikt, die geen relatie heeft met opgetreden randvoorwaarden. Verder zijn er nog een aantal andere belangrijke instellingen voor de afleidsom.

- Alle stuwen en inlaatwerken zijn zo ingesteld dat deze maximaal geopend zijn. Het Real-Time Control model (RTC) is uitgeschakeld.
- De initiële conditie wordt aangemaakt door middel van een som met lage afvoer met een nabewerking op het BAS2FM initiële waterstandsveld.
- Voor de randvoorwaarden is gebruikt gemaakt van de speciale randvoorwaardenset met een langzaam oplopende afvoer op de bovenrand en een langzaam oplopende waterstand benedenstrooms.
- Bij enkele lateralen wordt een instromende afvoer opgelegd, zodat alle takken voldoende afvoer krijgen om profielen te genereren. Dit betekent dat belangrijke lateralen met normaal gesproken een hoge instroom, bijvoorbeeld *OV\_35.6\_L\_Beek\_Regge-Linderbeek-Hammerwetering*, een oplopende afvoer hebben, maar ook dat op takken zonder afvoerrand, zoals de tak voor het Kadoeler- en Vollenhovermeer (*Kd\_Vh\_Meer*), lateralen een oplopende afvoer hebben, bijvoorbeeld *VK\_8.19\_R\_Gemaal-Stroink*.

De methode om een 2D afleidsom te maken wordt in meer detail beschreven in (Berends, Domhof, & Visser, 2021). De opgelegde afvoer bij de rand bij Emlichheim is te zien in Figuur 2.8 en de opgelegde waterstand bij de rand bij de Ramspolbrug in Figuur 2.9.



Figuur 2.8 Toenemende afvoer bij Emlichheim voor de gebruikte afleidsom.



Figuur 2.9 Toenemende waterstand op de benedenstroomse rand op het Ramsdiep.

### 2.2.2 Dwarsprofiellocaties

De dwarsprofiellocaties zijn bepaald met FM2PROF op basis van de 1D schematisatie. Hiervoor is in (Berends, Domhof, & Visser, 2021) gebruik gemaakt van het hulpprogramma in `GenerateCrossSectionLocationFile` in `FM2PROF_utils`. De dwarsprofiellocaties zijn gelijk aan de locaties van de rekenpunten van het model. De rekenpunten bevinden zich om de 500 meter op elke tak van het model en 20 meter voor en na een kunstwerk en geactualiseerd op basis van de aangepaste takkenstructuur.

De enige uitzonderingen zijn de takken die worden gebruikt als retentiegebieden in het geval van hoogwater. Voorbeelden zijn de retentiegebieden bij De Meene en het Kampereiland. Deze takken zijn zo bepaald dat ze vol lopen bij hoogwater en leeg kunnen lopen als er geen hoogwater meer is. Omdat dit geen echte riviertakken zijn, werd er in de vijfde-generatie modellen gebruik gemaakt van 1 dwarsprofiel per tak en dit wordt ook gebruikt als uitgangspunt voor het zesde-generatiemodel. Deze profielen zijn geactualiseerd op basis van de nieuwe Baseline schematisatie met behulp van FM2PROF. De ligging van deze takken is bepaald tijdens de ontwikkeling van het *sobek-ovd-j98\_5-v1*-model. Dit is gedaan op basis van een overstromingspatroon. De aansluiting van de retentietakken wordt gedaan door het toevoegen van een overlaat voor het overstromen (vollopen) en een overlaat voor het leeglopen, waarbij voor beide overlatten een andere hoogte wordt gebruikt. Een uitgebreide beschrijving hoe deze takken zijn bepaald en geïmplementeerd is te vinden in het rapport over de ontwikkeling van het *sobek-ovd-j98\_5-v1*-model (van der Mheen, Keizer, & de Jong, 2015).

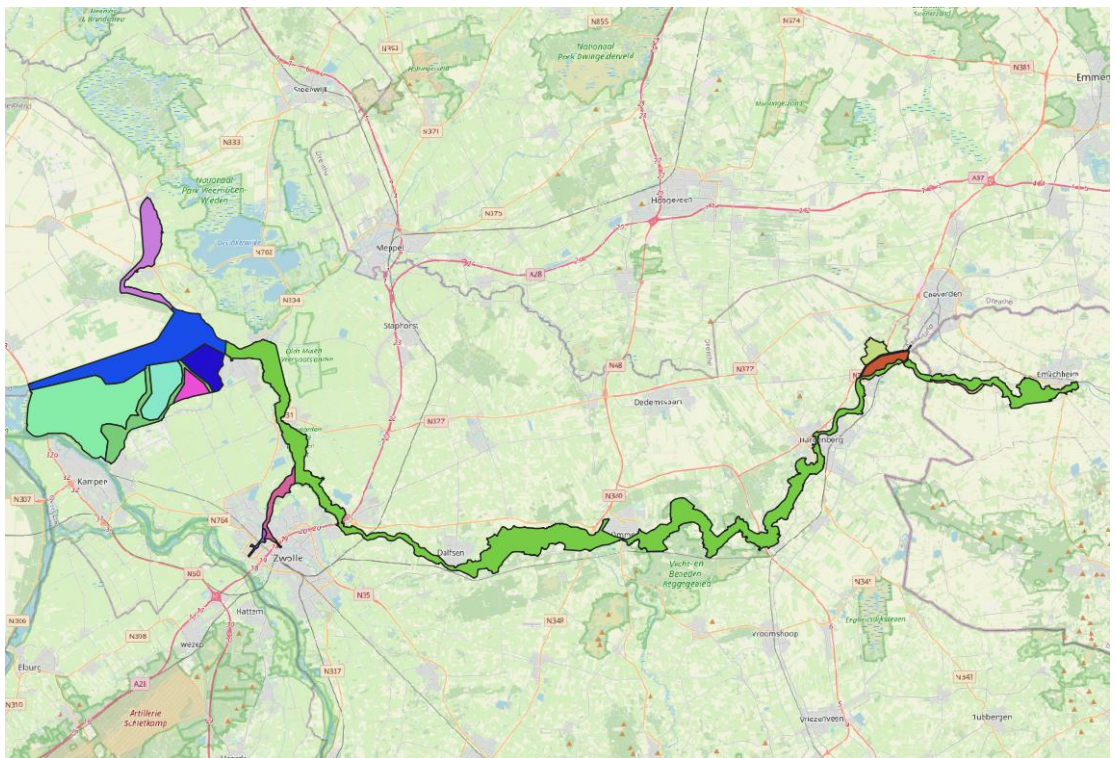
### 2.2.3 Gebieds- en sectievakken

Om het hoofdwatersysteem te scheiden van zijtakken worden gebiedsvakken gebruikt. Deze gebiedsvakken bepalen welke cellen in het 2D model bij een bepaalde tak in het 1D model horen. In het vijfde-generatie 1D model werd nog geen gebruik gemaakt van gebiedsvakken.

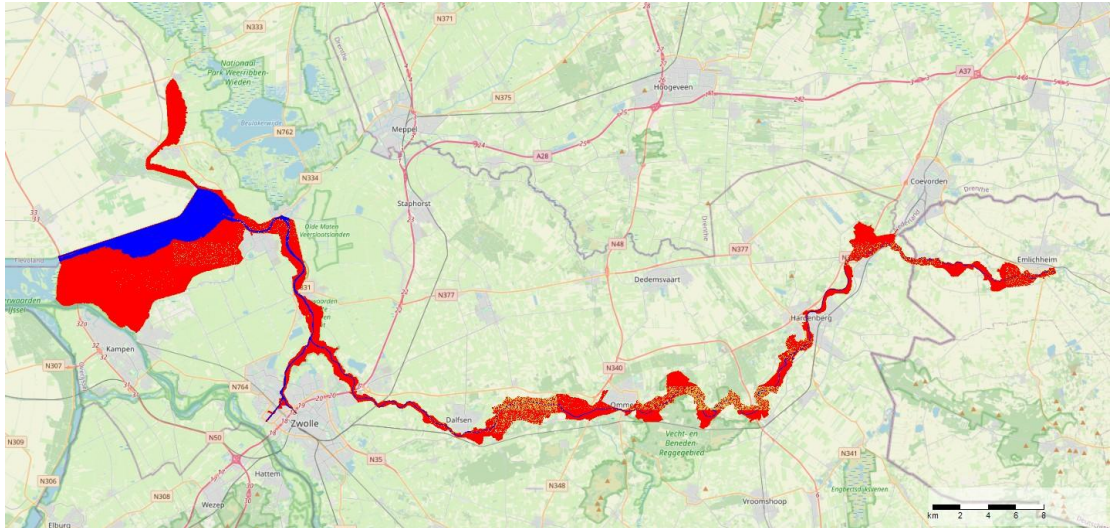
Daarom zijn zestien gebiedsvakken gedefinieerd: *Vecht, Flutmulde, Coevorderkanaal, Zuid-Meene, Overijsselse Stuw, Afwateringskanaal, Noord-Meene, Zwarte Water, Zwolle-IJssel Kanaal, Kadoelmeer, Zwarte Meer, Genemuident, Kamperzeedijk, Ganzendiep, Mondjeswaard* en *het Kampereiland*. De gebieden die gedefinieerd zijn door deze gebiedsvakken zijn weergegeven in Figuur 2.10.

De sectievakken bepalen welke 2D cellen worden gebruikt voor het hoofdgeul van de rivier. In het vijfde-generatie model werd hier ook nog geen gebruik van gemaakt, waardoor deze eerst bepaald moesten worden. De gebruikte sectievakken zijn zichtbaar in Figuur 2.11.

De gebiedsvakken zijn bepaald door op basis van de nieuwe Baseline schematisatie een inschatting te maken welk deel van rivier bij welke riviertak hoort. Verder zijn de sectievakken bepaald vanuit het sectiebestand in de nieuwe Baseline schematisatie. Hieruit wordt sectie 1 (main channel) geselecteerd voor de sectiepolygonen. Een uitgebreide toelichting van de methode die is gebruikt voor het definiëren van de gebieds- en sectievakken is te vinden in Appendix F van (Berends, Domhof, & Visser, 2021).



*Figuur 2.10 Gebiedsvakken gebruikt voor het scheiden van het hoofdwatersysteem van de zijtakken. Elke kleur geeft een ander gebiedsvak weer.*



Figuur 2.11 Sectievakken (blauw) als indicatie van de hoofdgeul van de rivier. In rood is het overig domein van het 2D model weergegeven.

### 2.2.4 Draaien van FM2PROF

Vervolgens is FM2PROF gedraaid om de dwarsprofielen en ruwheden te definiëren. De dwarsprofielen worden loodrecht op de riviertakken gegenereerd. Op basis van de gebiedsvakken wordt bepaald welke cellen van het 2D model worden gebruikt voor het generen van het profiel op deze riviertak. Vervolgens wordt de hoofdgeul van het profiel bepaald door de sectievakken.

Hierdoor zijn 469 dwarsprofielen aangemaakt voorzien van waterstand specifieke ruwheden. Er waren 11 foutmeldingen en 1051 waarschuwingen. De foutmeldingen betreffen locaties waar te weinig data was om een dwarsprofiel te generen. Dit gebeurde telkens op knopen waar meerdere takken van het model bij elkaar kwamen. De takken waar dit gebeurde bevatten allemaal voldoende andere dwarsprofiel locaties. Dit betekent dat op de locaties waar geen dwarsprofiel is gegenereerd, gebruik gemaakt is van het eerstvolgende dwarsprofiel op de tak, waardoor dit niet tot problemen leidde. De waarschuwingen bestonden voornamelijk uit waarschuwingen dat data ontbrak in het profiel, wat voorkomt bij droogval. Dit heeft geen gevolgen voor de profielgeneratie. Ook kan aan het begin van een tak een fout profiel ontstaan. Dit wordt veroorzaakt doordat FM2PROF voor profielen aan de rand van het model een te groot gebied toewijst. Deze profielen zijn vervangen voor het eerstvolgende profiel benedenstrooms. Verder is op de takken voor retentiegebieden gekozen om daar net als in het vijfde-generatie model één dwarsprofiel op te geven. Dit is takken voornamelijk bedoeld zijn voor retentie en niet voor stroming. Daarom is één dwarsprofiel gekozen die er voor zorgt dat de tak het maximale retentievolume kan opslaan. Dit dwarsprofiel is bepaald door de gegenereerde dwarsprofielen te analyseren en te kijken welk dwarsprofiel de beste overéénkomsten vertoonde met het 2D model.

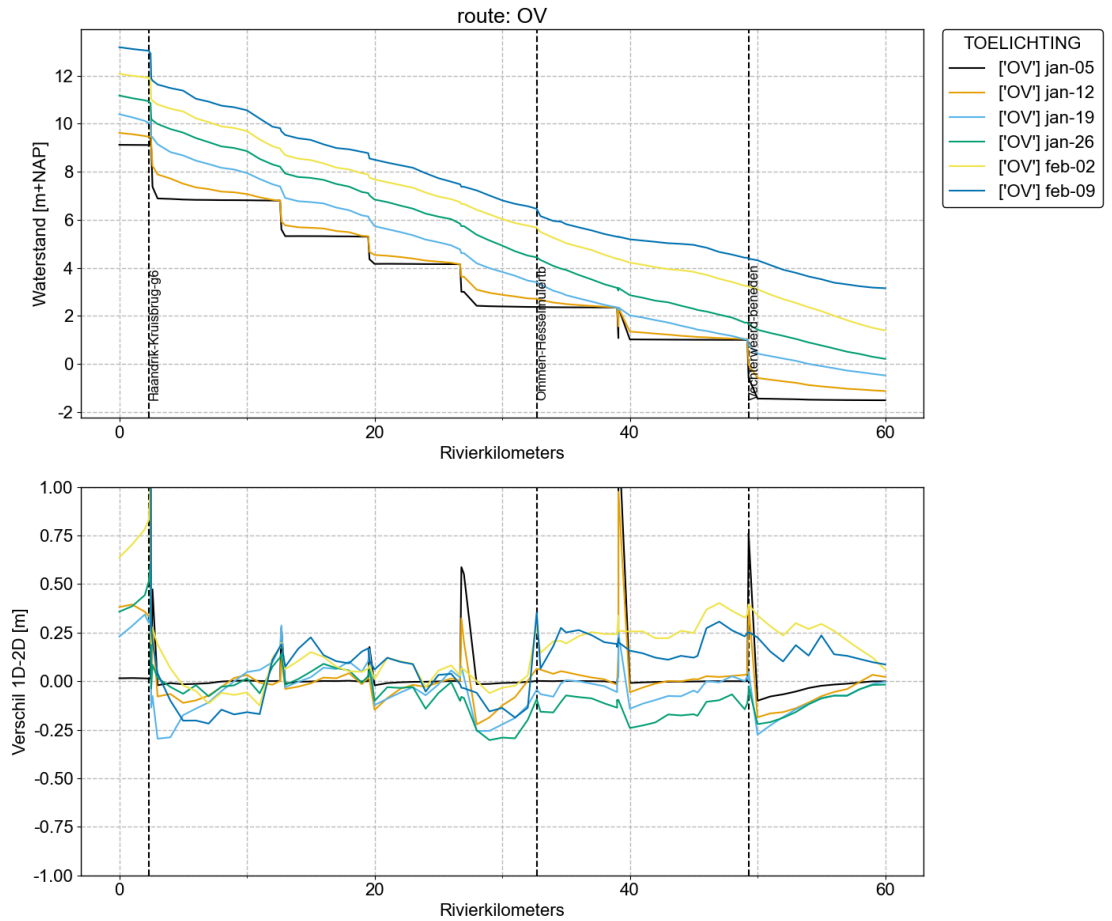
## 2.3 Ongekalibreerde vergelijking met 2D

De nieuw gegenereerde dwarsprofielen en ruwheden worden vervolgens geïmplementeerd in het 1D model. Dit model wordt vervolgens vergeleken met een 2D kalibratiesom. Dit is dezelfde som als de 2D afleidsom besproken in paragraaf 2.2.1, maar nu inclusief RTC-sturing van de kunstwerken. De opgelegde toenemende afvoer bij Emlichheim is dus hetzelfde als voor de afleidsom en zichtbaar in Figuur 2.8.

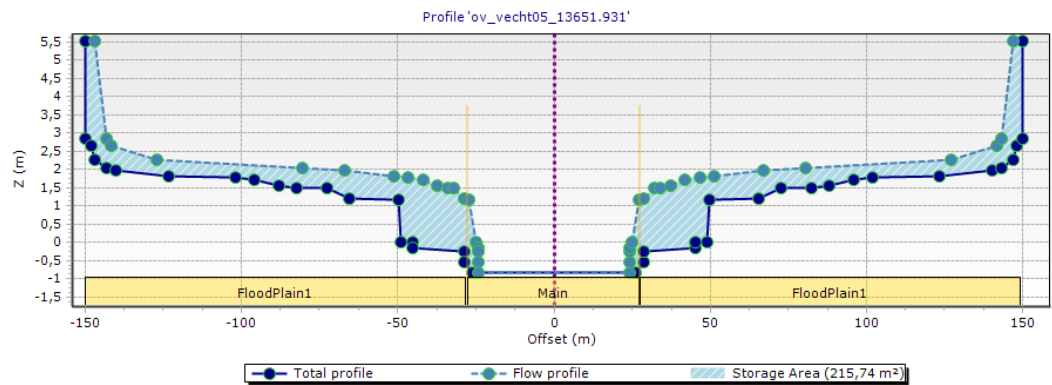
Het doel van deze vergelijking is om fouten in de afleiding op te sporen. In het ideale geval, zien we een verschil tussen 1D en 2D, dat uniform is langs de rivier. Dat duidt op een consistente reproductie van 2D waterstanden.

Het is bovendien aannemelijk dat een dergelijke algemene over- of onderschatting kan worden gecorrigeerd door een aanpassing in de ruwheidsparameters tijdens de kalibratie. Ziet men daarentegen plotseling verschillen en sterke gradiënten in het verschil, dan kan dit duiden op een probleem in de profiel- en ruwhedengeneratie, bijvoorbeeld een configuratiefout, schematisatiefout of een andere fout die nadere aandacht behoeft.

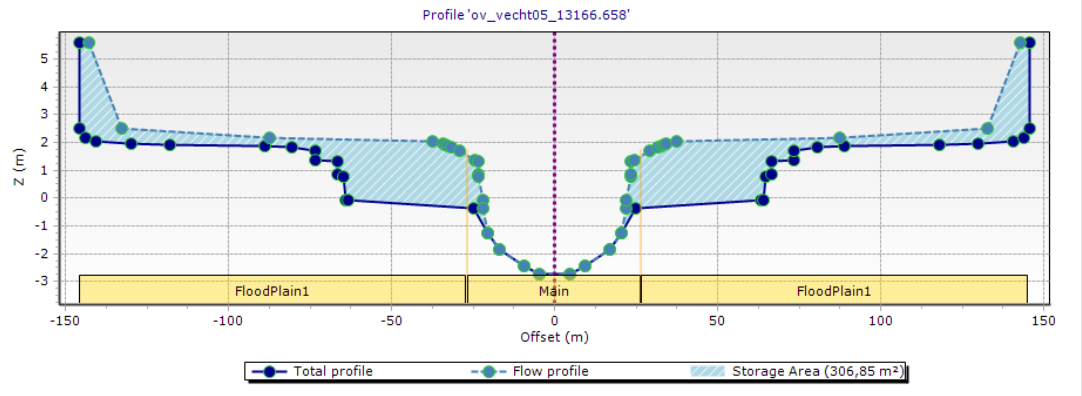
Kijkend naar de resultaten voor de ongekalibreerde vergelijking in de Overijsselse Vecht in Figuur 2.12 is te zien dat er voornamelijk pieken ontstaan rondom de stuwen, op rivierkilometer (rkm) 2, 26 en 49. Een klein deel van de verschillen wordt verklaard doordat er een vergelijking plaatsvindt tussen 2D uitvoerlocaties die niet in het midden van de hoofdgeul van rivier liggen, wat niet kan worden meegenomen in het 1D model. Dit probleem kan worden verholpen door enkel te kijken naar de kilometer uitvoerlocaties van het 2D-model die wel in het midden van de hoofdgeul liggen. Het grootste verschil wordt veroorzaakt door het profiel bovenstrooms van de stuwen. In Figuur 2.13 is het laatste profiel bovenstrooms van de stuw bij Vechterweerd zichtbaar. Hierin is te zien dat het diepste punt van dit profiel op ongeveer -1 meter NAP ligt. Het diepste punt van het eerstvolgende profiel bovenstrooms ligt op ongeveer -3 meter NAP (Figuur 2.14). In het 1D model wordt de bathymetrie tussen twee profielen geïnterpoleerd. Dit betekent dat hoe dichterbij de stuw, hoe ondieper het profiel wordt. In Figuur 2.15 is de bodemhoogte rondom de stuw bij Vechterweerd zichtbaar. Hierin is te zien dat in het stuwcomplex de bodemhoogte rond de -1 meter NAP ligt, maar daarbuiten ongeveer -2.5 meter NAP is. Aangezien het observatiepunt *OV\_49.3\_WDOD-H\_Vechterweerd-beneden* net iets verder bovenstrooms van de stuw ligt, zou het profiel daar als diepste punt -2.5 meter NAP moeten zijn. Dit is in het 1D model echter niet het geval. Daarom ontstaan hier grote verschillen tussen het 1D en 2D model. Dit kan worden opgelost door het rekenpunt en het profiel iets verder bovenstrooms van de stuw te leggen, zodat de lokale bodemverhoging bij de stuw niet wordt meegenomen. Dit verschil is ook (in mindere mate) terug te zien bij de andere stuwen. Na de stuwen worden de verschillen snel kleiner.



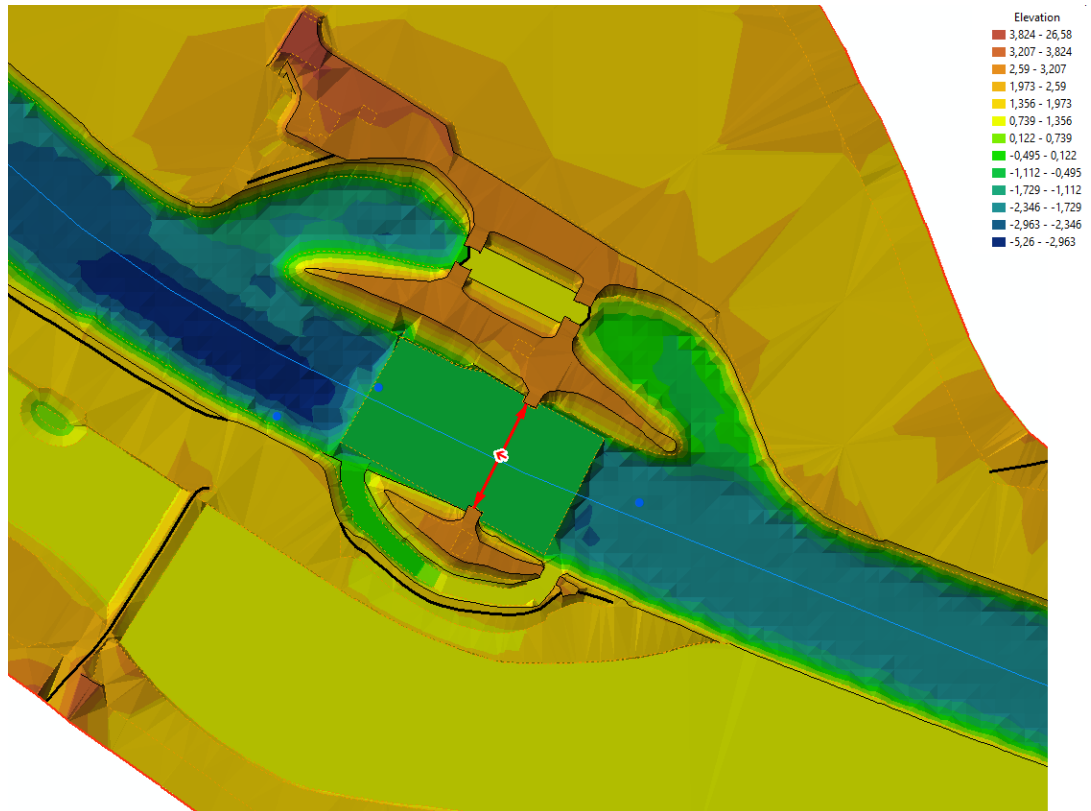
Figuur 2.12 Waterstanden en verschil ten opzichte van het 2D model voor de Overijsselse Vecht.



Figuur 2.13 Profiel 20 meter bovenstrooms van de stuw bij Vechterweerd.



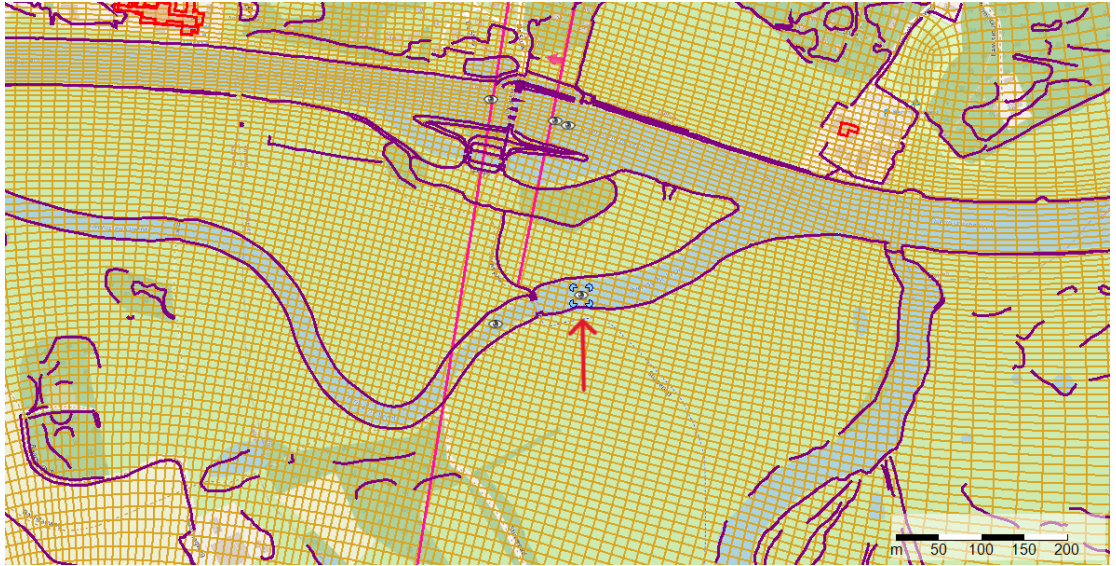
Figuur 2.14 Profiel 520 meter bovenstrooms van de stuw bij Vechterweerd.



Figuur 2.15 Bodemhoogte in Baseline rondom de stuw bij Vechterweerd.

Bij rkm 39 is een duidelijke piek zichtbaar tussen het 1D en 2D model. Deze piek wordt veroorzaakt door het uitvoerpunt bij de Plaggenmars (*OV\_39.10\_L\_Plaggenmars beneden*). In het 2D model ligt dit uitvoerpunt buiten de hoofdtak van de rivier, zie Figuur 2.16. In het 1D model is er echter geen aparte tak opgenomen voor de Plaggenmars, maar wordt deze stuw passerende nevengeul meegenomen in de dwarsprofielen van de hoofdgeul. Dit betekent echter dat het uitvoerpunt van het 2D model in het 1D model op de hoofdtak is beland, wat verschillen in waterstanden veroorzaakt. Daarom is het beter om bij een volgende iteratie van het model dit uitvoerpunt niet mee te nemen in de kalibratie.

Tussen rkm 0 en de stuw bij de Haandrik (rkm 2.55) zijn grote verschillen tot 75 cm bij alle afvoeren (Figuur 2.12). Deze verschillen geven aan dat de ruwheden op dit traject significant groter zijn dan in het 2D model, leidend tot hogere waterstanden. Aangezien dit verschil constant is voor alle afvoeren, kan dit verschil verkleind worden in de kalibratie.

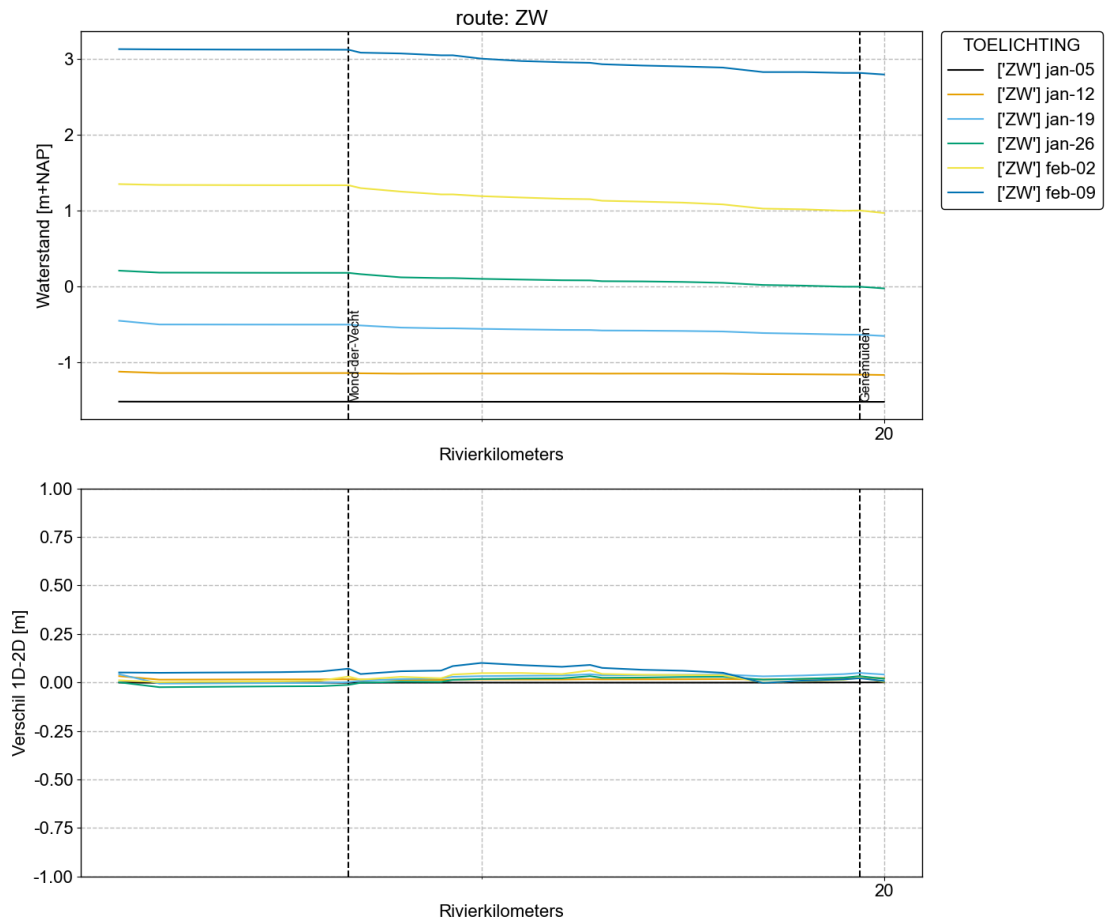


*Figuur 2.16 Uitvoerpunt bij de Plaggenmars aangegeven door de rode pijl.*

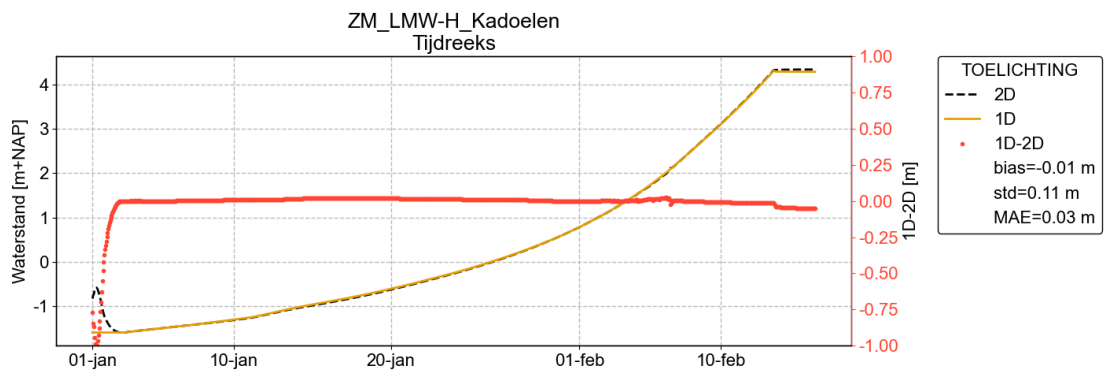
Buiten deze verschillen zijn de verschillen kleiner dan 40 cm zonder opvallend grote sprongen, wat betekent dat deze verschillen naar verwachting goed weg gekalibreerd kunnen worden.

Voor de waterstanden in het Zwarte Water in Figuur 2.17 is duidelijk zichtbaar dat de verschillen over het gehele traject klein en vrij stabiel zijn. Dit zal daarom in de kalibratie voor weinig problemen moet zorgen. Op het Zwarte Water is het verhang van de waterstand klein, wat betekent dat de ruwheid minder invloed heeft op waterstand.

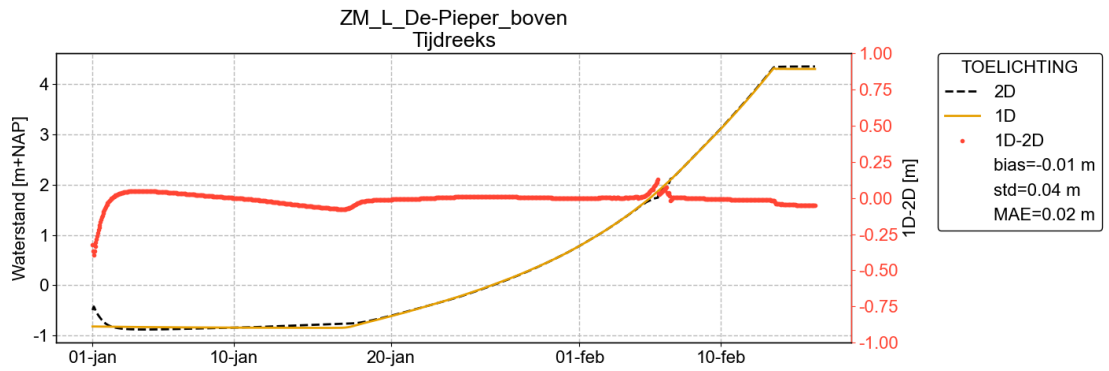
De waterstandverschillen voor drie verschillende meetstations of uitvoerpunten *ZM\_LMW\_H\_Kadoelen*, *ZM\_L\_De-Pieper\_Boven* en *ZM\_LMW-H\_Ramspolbrug* zijn zichtbaar in Figuur 2.18, Figuur 2.19 en Figuur 2.20. Hier is te zien dat de verschillen bij deze stations klein zijn.



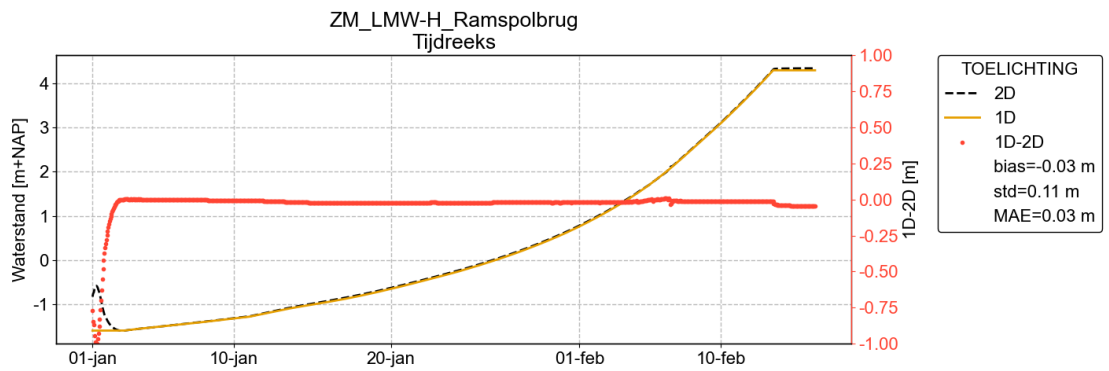
Figuur 2.17 Waterstanden en verschil ten opzichte van het 2D model voor Het Zwarte Water.



Figuur 2.18 Waterstanden en verschil ten opzichte van het 2D model bij het meetstation bij Kadoelen.



Figuur 2.19 Waterstanden en verschil ten opzichte van het 2D model bij het uitvoerpunt bij De Pieper



Figuur 2.20 Waterstanden en verschil ten opzichte van het 2D model bij het meetstation bij de Ramspolbrug.

## 3 Kalibratie

### 3.1 Methode

Het kalibratieproces is gelijk aan de methode gebruikt voor de actualisatie van de 1D modellen voor de Rijn en de Maas. Een uitgebreide beschrijving hiervan is te vinden in het rapport voor de actualisatie van het model van de Rijn (Maas, 2024).

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 is de 2D kalibratiesom met oplopende bovenstroomse afvoeren en benedenstroomse waterstanden gebruikt. Hiervoor worden de bodemruwheden van het zomerbed gebruikt als kalibratieparameters. Het aanpassen van de zomerbedruwheid wordt programmatisch gedaan door het programma OpenDA, De fout tussen 1D en 2D wordt uitgedrukt middels de zogenaamde kostfunctie. Invoer van deze kostfunctie is de waterstandsfout op de LMW stations.

De kalibratie wordt gedaan op basis van 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. Omdat de zomerbedruwheid wordt gebruikt als parameter om de verschillen in waterstand met het 2D model te minimaliseren, komt de resulterende zomerbedruwheid in het 1D model vaak niet overeen met het 2D model of de werkelijke situatie in de rivier.

De ruwheidstrajecten die zijn gebruikt worden gebaseerd op de ruwheidstrajecten gebruikt voor de kalibratie van de 2D modellen. Dit wordt nader toegelicht in het rapport over de ontwikkeling van de zesde-generatie modellen van de Overijsselse Vecht (Spruyt & Fujisaki, 2021). Wel zijn er een aantal verschillen:

- De kalibratietrajecten *Rand Model-Emlichheim*, *Emlichheim-Grens* en *Grens-De Haandrik* is samengevoegd tot 1 kalibratie traject. Dit omdat het eerste en het derde traject te kort zijn voor een robuuste kalibratie in 1D.
- In het 2D model wordt het traject *Zwolle-Mond der Vecht* in het Zwarte Water niet gekalibreerd door het kleine verhang op dit traject. Voor het 1D model is gekozen om dit wel te kalibreren op basis van het 2D model op basis van een oplopende afvoer vanaf Keersluis Zwolle, om de verschillen tussen het 1D en 2D model zo klein mogelijk te houden.
- Het Zwarte Meer wordt niet gekalibreerd. Dit doordat de invloed van wind op dit moment nog niet wordt geïmplementeerd in het 1D model en dit gebied beïnvloed wordt door wind. In de volgende iteratie van het 1D model wordt wind wel meegenomen in het model. De ruwheden die worden gebruikt zijn de ruwheden die zijn afgeleid vanuit FM2PROF.

De gebruikte ruwheidstrajecten en 2D uitvoerlocaties waarop gekalibreerd wordt is zichtbaar in Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Ruwheidstrajecten gebruikt in de kalibratie.

Ruwheidstraject	Uitvoerlocatie 2D-model
Rand Model – De Haandrik	VT_10.4_L_Emlichheim
De Haandrik – Hardenberg	OV_2.6_WVS-H_De-Haandrik-beneden.waterlevel
Hardenberg – Mariënberg	OV_12.7_WVS-H_Hardenberg-beneden
Mariënberg – Junne	OV_19.6_WVS-H_Marienberg-beneden
Junne – Ommen	OV_26.8_WVS-H_Junne-beneden
Ommen – Vilsteren	OV_32.7_L_LMW-H_Ommen-Hesselmulertbrug
Vilsteren – Dalfsen	OV_39.1_WDOD-H_Vilsteren-beneden
Dalfsen – Vechterweerd	OV_45.3_WDOD-H_Dalfsen
Vechterweerd – Mond der Vecht	OV_49.3_WDOD-H_Vechterweerd-beneden
Zwolle – Mond der Vecht	ZW_2.00
Mond der Vecht – Kloosterzijl	ZW_6.7_L_LMW-H_Mond-der-Vecht
Kloosterzijl – Zwartsluis	ZW_12.7_R_WDOD-H_Kloosterzijl
Zwartsluis binnen – Genemuiden	ZW_16.00
Genemuiden – Zwarte Meer	ZW_19.4_L_LMW-L_Genemuiden

Het model wordt afvoerafhankelijk gekalibreerd met als startpunt de een uniforme beginwaarde van  $0.03 \text{ sm}^{-1/3}$ . Dit betekent dat voor verschillende afvoeren een andere kalibratiefactor gebruikt zal worden. Voor tussenliggende afvoeren wordt de kalibratiefactor geïnterpoleerd, buiten de afvoerniveaus wordt de kalibratiefactor constant gehouden. Er is hier gekozen voor drie verschillende afvoerniveaus zichtbaar in Tabel 3.2. Dit is gedaan om de kalibratie robuust te houden. Verder verschillen de afvoerniveaus over de loop van de rivier, dit onderscheid wordt gemaakt op de volgende plekken:

- **Emlichheim – Ommen (instroom Regge):** In dit gebied wordt de afvoer voornamelijk bepaald door de opgelegde afvoer bij Emlichheim.
- **Ommen (instroom Regge) – Zwarte Meer:** Vanaf Dalfsen wordt een duidelijk hogere afvoer waargenomen door de instroom van verschillende lateralen bovenstrooms van Dalfsen, zoals de Regge. Dit traject is daarom afhankelijk van de afvoer gemeten bij Dalfsen.
- **Zwolle – Mond der Vecht:** Dit gebied is afhankelijk van de afvoer bij Zwolle. Omdat dit gebied niet wordt gekalibreerd in het 2D model zijn deze afvoerniveaus niet aanwezig in het 2D model.

De hoogte van de afvoerniveaus zijn bepaald aan de hand van de gebruikte niveaus in het 2D model en de hoogte van de afvoer van de kalibratiesom. Dit leidt tot de waardes zichtbaar in Tabel 3.2.

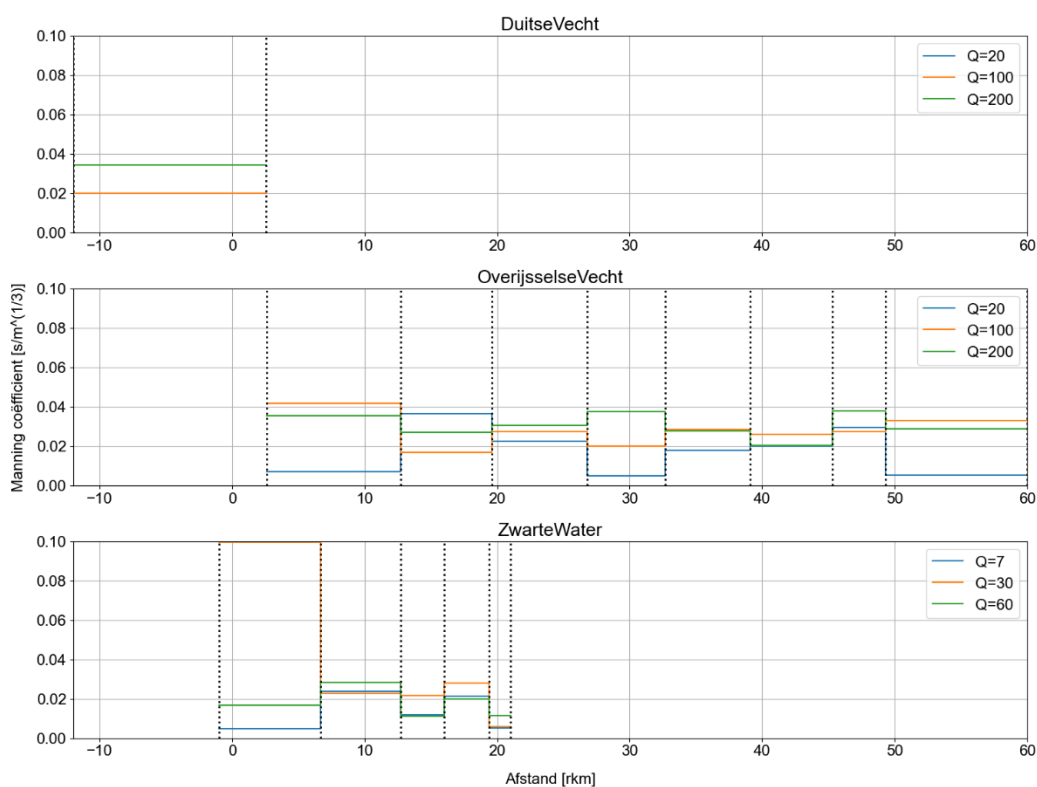
Tabel 3.2 Afvoerniveaus gebruikt in de kalibratie.

Niveau	Afvoer bij Emlichheim (m <sup>3</sup> /s)	Afvoer bij Dalfsen (m <sup>3</sup> /s)	Afvoer bij Zwolle (m <sup>3</sup> /s)
Laag	20	40	7
Middel	100	200	30
Hoog	200	400	60

## 3.2 Resultaten

### 3.2.1 Ruwheden

Figuur 3.1 toont het langspatiefiel van de gekalibreerde ruwheden. Over het algemeen zien we vergelijkbare ruwheden ten opzichte van de 1D modellen van de Maas (Gensen, 2024) en de Rijn (Maas, 2024) met een Manning coëfficiënt tussen 0.015 en 0.045 sm<sup>-1/3</sup>. Alleen zijn er een aantal aandachtspunten. Op de Overijsselse Vecht tussen rivierkilometer (rkm) 0 en 13 is een hele lage Manning coëfficiënt voor lage afvoeren te zien, lager dan 0.01 sm<sup>-1/3</sup>. Dit is ook zichtbaar tussen rkm 27 en 32. Verder is op het Zwarte Water tussen rkm -1 en 7 een onrealistisch hoge Manning coëfficiënt van 0.10 sm<sup>-1/3</sup>. Dit kan komen door het feit dat het verhang in dit traject klein is, waardoor de ruwheid weinig effect heeft op de waterstand.

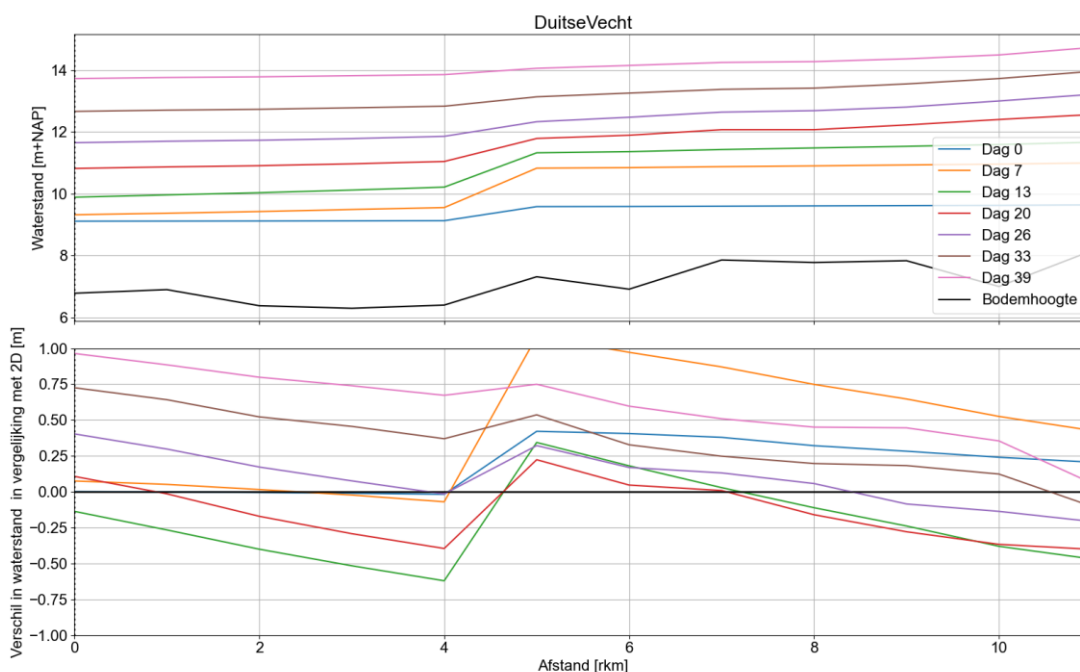


Figuur 3.1 Langspatiefiel van gekalibreerde zomerbed ruwheden. Van boven naar onder: Duitse Vecht, Overijsselse Vecht en het Zwarte Water. Zwarte verticale stippellijnen geven grenzen tussen ruwheidstrajecten weer. Op de Duitse Vecht is de Manning coëfficiënt van Q=20 en Q=100 gelijk aan elkaar. Op de Duitse Vecht geven de negatieve rkm het Duitse gedeelte weer en de positieve rkm de waarden in Nederland. In de laatste drie ruwheidstrajecten van de Overijsselse Vecht (vanaf rkm 39) zijn de afvoerniveaus 40, 200 en 400 m<sup>3</sup>/s in plaats van 20, 100 en 200 m<sup>3</sup>/s, door de instroom van de Regge. De legenda bij het Zwarte Water geeft de afvoerniveaus (7, 30 en 60 m<sup>3</sup>/s) weer tussen Zwolle en Mond der Vecht. Vanaf Mond der Vecht (rkm 7) zijn de afvoerniveaus 40, 200 en 400 m<sup>3</sup>/s. Op het Zwarte Water geven de negatieve rkm het Zwolle-IJsselkanaal weer en de positieve het Zwarte Water startend bij Keersluis Zwolle.

### 3.2.2 Waterstanden

Het doel van de kalibratie is om het verschil in waterstand tussen de 1D en de 2D model resultaten te minimaliseren ter hoogte van de LMW-meetstations. Aangezien met de 2D modelresultaten er ook uitvoer tussen de LMW-meetstations in is, kan gecontroleerd worden hoe het 1D model zich op iedere willekeurige locatie en tijd verhoudt tot het 2D model.

In Figuur 3.2 is het waterstandsverschil zichtbaar op de Duitse Vecht ten opzichte van het 2D model. Na de kalibratie zijn de verschillen hier nog steeds groot. Dit kan 2 oorzaken hebben. Ten eerste is er op rkm 5 een knik zichtbaar. Dit komt door de keuze om *Rand Model – De Haandrik* als een ruwheidstraject te nemen. Deze knik vindt precies plaats ter hoogte van de node tussen de rivier takken *D\_Vecht11\_B*, *D\_Vecht12* en *Flutmulde*. Hiervan wordt de laatste niet meegenomen in de kalibratie. Deze knik geeft aan dat de keuze om hier één ruwheidstraject van te maken niet goed is, en dat hier de ruwheidstrajecten gesplitst moeten worden in tenminste twee ruwheidstrajecten. Ten tweede kan er gekeken worden naar de afvoerniveaus die worden gebruikt in de kalibratie.



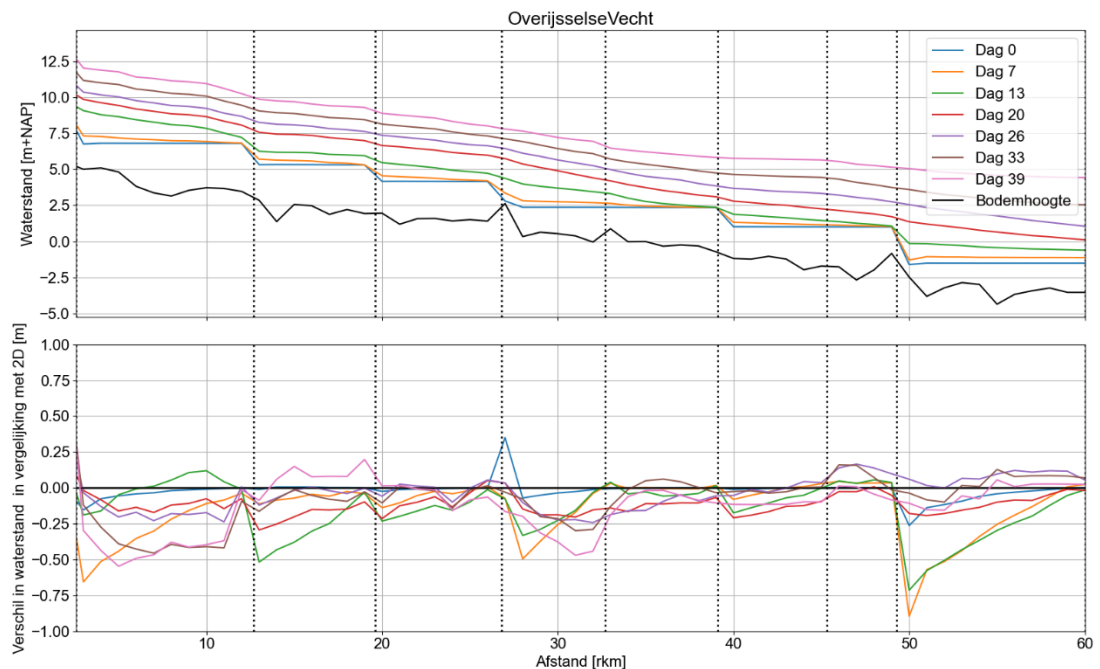
Figuur 3.2 Verhanglijnen van de Duitse Vecht met de waterstanden van het 1D model op een gegeven dag vanaf de start van de kalibratiesom (01-01-2024) op de riviertak. Onder: Het verschil in waterstand tussen het 1D en 2D model. Rkm 0 is op de grens en rkm 12 is bij Emlichheim.

Het waterstand verschil tussen het 1D en 2D model in de Overijsselse Vecht is zichtbaar in Figuur 3.3. Het valt op dat op een aantal trajecten nog steeds grote verschillen te zien zijn. Tot aan het begin bij de Haandrik (rkm 2.55) zijn nog grote waterstand verschillen zichtbaar. Dit kan worden veroorzaakt doordat dit traject mee wordt genomen op basis van de kalibratie van de Duitse Vecht, omdat de eerste paar takken van de Overijsselse Vecht te kort zijn voor een robuuste kalibratie. Verder is te zien dat vaak rond de stuwen grotere verschillen ontstaan, die door kunnen werken op de rest van het traject. Dit wordt veroorzaakt door een te ondiep profiel en kan worden opgelost door het verplaatsen van de bovenstroomse profielen bij de stuwen. Dit profiel is zichtbaar in Figuur 2.13.

Ook op het traject vanaf de Haandrik tot aan Hardenberg (rkm 2.55 tot rkm 12) is te zien dat er na kalibratie een grote onderschatting tussen het 1D en 2D model plaatsvindt. Dit kan te maken hebben met een aantal factoren, zoals de initiële situatie van het model, de afvoerniveaus en het kalibratietraject.

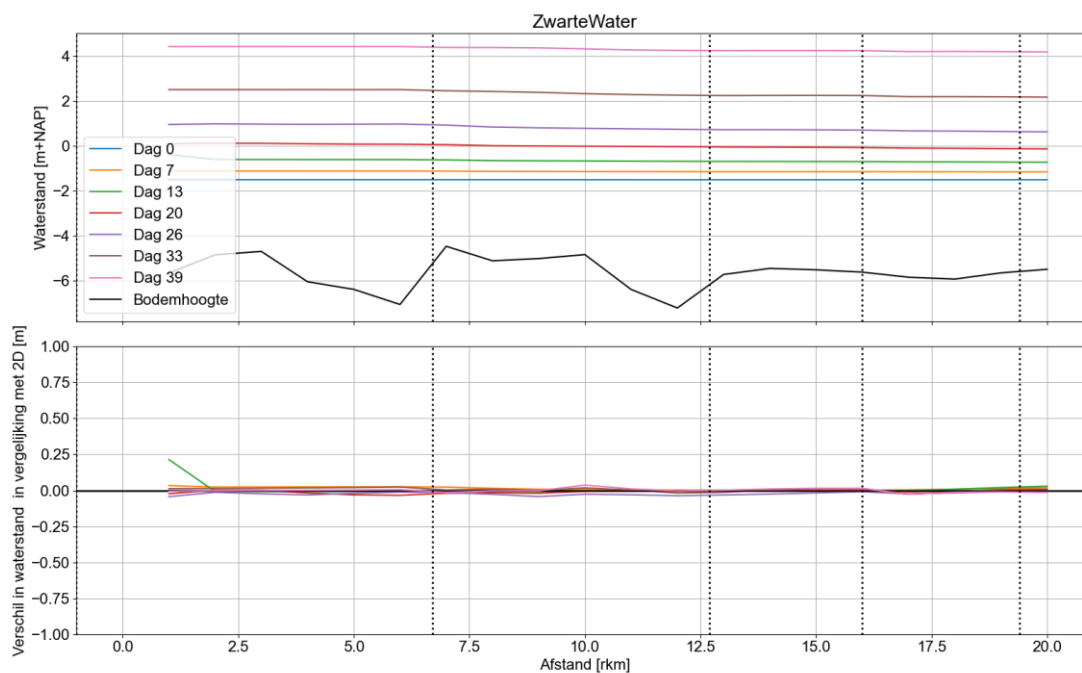
De pieken rond rkm 27 en rkm 51 worden waarschijnlijk ook veroorzaakt door een verkeerde initiële situatie in de hoofdgeul en de uiterwaarden. Deze verschillen zijn vaak het grootst aan het begin van een ruwheidstraject (net benedenstrooms van een stuw) en daarna afnemen. Ook kunnen de profielen met een te ondiep zomerbed hier invloed op hebben (Figuur 2.13). Dit verklaart ook waarom dit verschil het grootst is bij de lage afvoeren, omdat hier het water zich voornamelijk in het zomerbed bevindt.

De kalibratie laat wel goede resultaten zien tussen Hesselmulertbrug bij Ommen, rkm 32.7 en Dalfsen, rkm 45.3. Hier is te zien dat de verschillen tussen het 1D en 2D model richting de 0 meter gaan, terwijl in de ongekalibreerde vergelijking (Figuur 2.12) hier grotere verschillen tot 1 meter zichtbaar zijn. Dit is ook het punt vanaf waar de afvoerniveaus veranderen door de instroom van de Regge. Dit kan er op duiden dat de afvoerniveaus in het benedenstroomse deel van de Overijsselse Vecht betere resultaten leveren in vergelijking tot het 2D model dan in het bovenstroomse gedeelte van de Overijsselse Vecht.

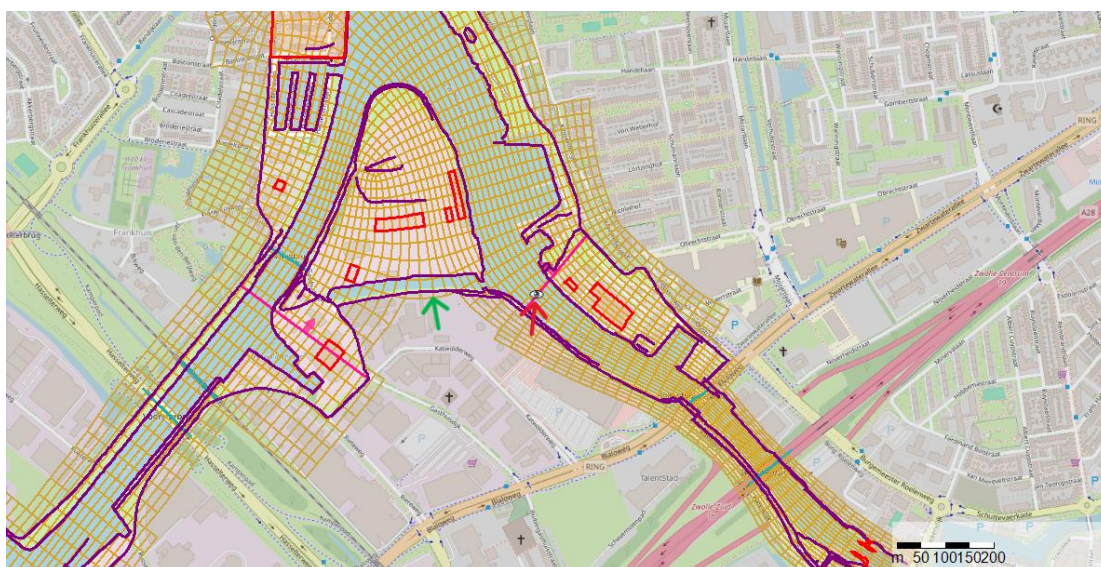


Figuur 3.3 Verhanglijnen van de Overijsselse Vecht met de waterstanden van het 1D model op een gegeven dag tijdens de kalibratiesom op de riviertak. Onder: Het verschil in waterstand tussen het 1D en 2D model.

Kijkend naar het Zwarte Water in Figuur 3.4, is te zien dat de verschillen nog kleiner geworden zijn voor bijna alle afvoeren. Alleen bij dag 13 is een verschil zichtbaar bij rkm 1.0. Dit kan worden veroorzaakt door het feit dat op dit punt in het Zwarte Water een binnenhaven, De Riete, zit. Deze binnenhaven is wel aanwezig in het 2D-model (zie Figuur 3.5), maar niet in het 1D-model, doordat het profiel op een andere locatie wordt gemeten. Op dag 13 kan net het moment zijn dat de waterstand in het Zwarte Water wordt beïnvloed doordat er water in de binnenhaven stroomt. Een andere mogelijkheid is dat doordat het uitvoerpunt in het 2D waarop zich bevindt voor de instroom van het Zwolle-IJsselkanaal, de afvoer niet goed wordt gerepresenteerd door de gebruikte afvoerniveaus.



Figuur 3.4 Verhanglijn van het Zwarte Water met de waterstanden van het 1D model op een gegeven dag tijdens de kalibratiesom op de riviertak. Onder: Het verschil in waterstand tussen het 1D en 2D model.



Figuur 3.5 Binnenhaven De Riete. De rode pijl geeft het observatiepunt dat wordt gebruikt voor de vergelijking tussen het 1D en 2D model weer. De groene pijl geeft de locatie van de binnenhaven weer.

### 3.2.3 Aandachtspunten voor een nieuwe kalibratiestap

Aangezien voor de ontwikkeling van dit model is gekozen om slechts één kalibratiestap te doen vanwege de nieuwe iteratie van het 2D-model, zijn de verschillen op meerdere plekken groter dan een paar centimeter. Dit kan komen door een incorrecte schematisatie of doordat de kalibratietrajecten en afvoerniveaus in de kalibratie nog niet optimaal zijn. Op basis van de resultaten is zichtbaar dat kalibratie een positief effect heeft op de resultaten voor een aantal trajecten, maar dat op dit moment er nog stappen gezet moeten worden om de kalibratie te verbeteren. Na een volgende iteratie van het 2D model zal om de kalibratieresultaten te verbeteren verder onderzoek worden gedaan naar de volgende factoren:

- De afleid- en kalibratiesom: De afleid- en kalibratiesom zijn gebaseerd op de som die is gebruikt voor het vijfde-generatie 1D model. Echter loopt dit op tot onrealistisch hoge afvoeren. Bij Emlichheim wordt een afvoer die oploopt tot 650 m<sup>3</sup>/s opgelegd, terwijl bij de kersstorm in december 2023 de hoogste afvoer 180 m<sup>3</sup>/s was (Fujisaki & Leemeijer, 2024). Ook bij de standaardsom met de hoogste afvoer (S2800) is de afvoer bij Emlichheim significant lager, 310 m<sup>3</sup>/s. In de afleid- en kalibratie som is het de bedoeling om onrealistisch hoge afvoeren mee te nemen, zodat het profiel en de ruwheden gebaseerd zijn op alle mogelijke afvoerniveaus. Het blijkt dat de gekozen maximum afvoer te hoog is en accuratere profielen en ruwheden kunnen worden afgeleid met een lagere maximum afvoer. Dit geldt ook voor de benedenstroomse randen bij de Ramsgeul en het Ramsdiep.
- De gekozen afvoerniveaus: Voor deze test van de kalibratie is gebruik gemaakt van 3 afvoerniveaus die zijn gebaseerd op het 2D model. Hiervoor kan worden gekeken of het veranderen van de hoogte van deze afvoerniveaus kan resulteren in verbetering. Daarnaast kan worden onderzocht welke afvoerniveaus op welk traject worden gebruikt en hoeveel afvoerniveaus er in totaal worden gebruikt.
- De gekozen ruwheidstrajecten: De ruwheidstrajecten zijn ook op basis van het 2D model, maar op sommige plekken zijn aanpassingen gemaakt, zoals het samen voegen van het traject *Emlichheim – De Haandrik*. Mogelijk zijn de resultaten van de kalibratie verder te verbeteren als deze ruwheidstrajecten worden aangepast.
- Kalibratie Zwarte Water: Op dit moment wordt het ruwheidstraject *Zwolle – Mond der Vecht* gekalibreerd in het 1D model, om het gelijk te trekken met het 2D model. Alleen is dit traject niet gekalibreerd in het 2D model, vanwege laag verhang op dit traject. Hierdoor ontstaan er in het 1D model onrealistisch hoge ruwheden op dit traject en de vraag is of dit moet worden toegelaten om de resultaten gelijk te krijgen met ongekalibreerde 2D resultaten.
- Initiële condities: Op sommige ruwheidstrajecten wordt voor lage afvoeren een onrealistisch lage ruwheid gekalibreerd. Dit kan betekenen dat de spin-up van het model niet goed is gegaan, waardoor er al verschillen ontstaan bij de lage afvoeren. Op dit moment wordt voor het 1D model een spin-up van 2 weken gebruikt, om te zorgen dat het model stabiel is bij de start van de kalibratie. Dit zou kunnen worden verlengd om te kijken of dit voorkomt dat er onrealistisch lage ruwheden worden gekalibreerd.
- Aanpassen van profielen rondom de stuwen: Op dit moment ontstaan grote verschillen bij lage waterstanden rondom de stuwen in de Overijsselse Vecht. Dit wordt veroorzaakt door een te ondiep profiel bovenstrooms van de stuw. Het verplaatsen van de locatie waar deze stuw wordt gegenereerd, kan dit probleem verhelpen. Ook kan worden gekeken of de winterbedhoogtes rondom de stuwen nog verder verbeterd kunnen worden.

## 4 Validatie

Ondanks het feit dat de kalibratie nog niet succesvol is afgerond, is er al wel een validatie uitgevoerd om te kijken of er nog onverwachte verschillen ontstaan die niet terug zijn gekomen in de kalibratie. Voor de validatie zijn de standaardsommen uitgevoerd. Dit zijn de dezelfde standaardsommen die zijn gebruikt voor de het 2D model (Fujisaki & Leemeijer, 2024). Hoe deze sommen zijn bepaald is terug te lezen in het rapport over de standaardsommen in de IJssel-Vechtdelta en de Overijsselse Vecht (Fujisaki, 2024). Voor de validatie van het 1D model zijn echter de sommen met wind achterwege gelaten. Dit komt neer op drie dynamische sommen (“D”) en zeven stationaire afvoeren (“S”). Verder bevatten deze sommen dezelfde instroom bij de lateralen als voor het 2D model.

In Tabel 4.1 en Tabel 4.2 zijn de bias en standaardafwijking zichtbaar ten opzichte van het 2D model voor respectievelijk alle meetstations en alleen de LMW-metstations. Wat voor alle meetstations zichtbaar is, is dat de vooral op de Duitse Vecht (VT) de afwijking en spreiding tussen de standaardsommen groot is. De maximale afwijking is +0.44 m bij de standaardsom S550. Dit is een teken dat op dit stuk de kalibratie niet succesvol is en hier een goede evaluatie van de gekozen kalibratietrajecten en afvoerniveaus nodig is om de kalibratie te verbeteren. Verder is te zien dat voor de Overijsselse Vecht (OV) er grotere verschillen zijn voor alleen de LMW-metstations. Dit komt doordat de LMW-metstations zich vaak in de buurt van stuwen bevinden, waar de verschillen in het model groter zijn. Kijkend naar het Zwarte Water (ZW) is te zien dat voornamelijk kleine verschillen zichtbaar zijn, behalve bij de standaardsom S2000. Dit kan veroorzaakt worden door het zelfde effect als we zagen op dag 13 in de kalibratie van het Zwarte Water, waar aan het begin van het Zwarte Water een waterstandsverschil van ongeveer 20 cm zichtbaar is. Dit is mogelijk een indicatie dat dit niveau niet goed is meegenomen in de kalibratie waardoor de gebruikte afvoerniveaus op het Zwarte Water aangepast dienen te worden. Tot slot zijn de verschillen op het Zwarte Meer (ZM), de Ramsgeul en het Ramsdiep (RA) verschillen klein ( $< \pm 0.03$  m).

Tabel 4.1 Gemiddelden van de bias en de standaardafwijking van alle meetstations op een traject in de validatiesommen met het sobek-ovd-j24\_6-v1a1 model ten opzichte van dflowm2d-ovd-j24\_6-v1a. Tussen haakjes staat het aantal meetstations op een traject.

	Alle meetstations				
	VT (13)	OV (78)	ZW (23)	ZM (3)	RA (3)
<b>D800</b>	0.18±(0.28)	-0.03±(0.10)	0.01±(0.02)	0.00±(0.01)	0.00±(0.00)
<b>D2000</b>	-0.08±(0.22)	0.00±(0.12)	0.00±(0.04)	0.01±(0.03)	0.00±(0.00)
<b>D2800</b>	-0.04±(0.17)	0.02±(0.12)	0.01±(0.05)	0.01±(0.04)	-0.01±(0.01)
<b>S200</b>	0.01±(0.00)	0.06±(0.00)	0.00±(0.00)	0.00±(0.00)	0.00±(0.00)
<b>S550</b>	0.44±(0.00)	-0.07±(0.00)	-0.01±(0.00)	0.00±(0.00)	0.00±(0.00)
<b>S2000</b>	0.03±(0.00)	0.05±(0.07)	-0.13±(0.12)	0.00±(0.02)	-0.01±(0.00)
<b>S2500</b>	0.19±(0.00)	0.14±(0.13)	0.08±(0.18)	0.03±(0.04)	-0.02±(0.00)
<b>S2800</b>	0.21±(0.00)	0.13±(0.14)	0.09±(0.019)	0.02±(0.04)	-0.02±(0.01)

Tabel 4.2 Gemiddelden van de bias en de standaardafwijking bij alle LMW stations in de validatiesommen met het sobek-ovd-j24\_6-v1a1 model ten opzichte van dflowfm2d-ovd-j24\_6-v1a. Voor de Duitse Vecht (VT) en de Ramsgeul en Ramsdiep (RA) zijn geen LMW stations beschikbaar. Tussen haakjes staat het aantal LMW meetstations op een traject.

	LMW meetstations				
	VT (0)	OV (4)	ZW (2)	ZM (2)	RA (0)
<b>D800</b>	-	0.01±(0.09)	0.01±(0.02)	0.00±(0.01)	-
<b>D2000</b>	-	0.07±(0.13)	0.03±(0.04)	0.00±(0.03)	-
<b>D2800</b>	-	0.13±(0.13)	0.04±(0.04)	-0.02±(0.04)	-
<b>S200</b>	-	0.00±(0.00)	0.00±(0.00)	0.00±(0.00)	-
<b>S550</b>	-	-0.05±(0.00)	-0.01±(0.00)	0.00±(0.00)	-
<b>S2000</b>	-	0.15±(0.07)	-0.04±(0.10)	0.02±(0.02)	-
<b>S2500</b>	-	0.30±(0.12)	0.17±(0.15)	-0.01±(0.04)	-
<b>S2800</b>	-	0.31±(0.13)	0.17±(0.16)	-0.03±(0.04)	-

## 5 Conclusie en Aanbevelingen

### 5.1 Conclusies

Er is een eerste iteratie gedaan van het zesde-generatie 1D model van de Overijsselse Vecht. Het resultaat hiervan is het model *sobek-ovd-j24\_6\_v1a*. Deze versie is nog niet bedoeld voor operationeel gebruik. Wel zijn alle stappen doorlopen om een eerste versie van het model te hebben en lessen op te doen voor een volgende iteratie van het model.

#### 5.1.1 Modelbouw

In deze iteratie is de schematisatie op verschillende plekken gewijzigd. De modelranden, observatiepunten, lateralen en RTC-sturing van de kunstwerken zijn gelijk getrokken met het 2D model. Verder zijn de takken aangepast op basis van veranderingen voor het Ruimte voor de Vecht project. Het 1D model is gebaseerd op het 2D model *dflowfm2d-ovd-j24\_6-v1a*. De profielen zijn afgeleid met behulp van FM2PROF.

#### 5.1.2 Kalibratie

Een eerste stap is gezet voor de kalibratie van het 1D model met behulp van OpenDA. Hier is gekozen om dit bij een enkele stap te houden omdat volgend jaar het 2D model wordt geactualiseerd en de huidige versie van het 1D model nog niet operationeel wordt. Aangezien een nieuwe kalibratie nodig is na het updaten van het 2D model is daarom alleen het kalibratieproces één keer doorlopen om te zien wat er aangepast dient te worden voor een verbeterde kalibratie.

De kalibratie die nu is uitgevoerd is nog niet succesvol. Hiervoor zijn er nog te grote verschillen op verschillende plekken in de Overijsselse Vecht. De trajecten tussen Ommen en Dalfsen en op het Zwarte Water laten wel zien dat de kalibratie de resultaten van het model kan verbeteren. Daarentegen moeten er in de bovenstroomse trajecten verbeteringen doorgevoerd worden om de kalibratie te verbeteren.

#### 5.1.3 Validatie

De validatie is uitgevoerd door het draaien van dezelfde standaardsommen als gebruikt in de ontwikkeling van het 2D model. In de validatie is terug te zien dat er na de kalibratie nog steeds verschillen blijven bestaan. Deze verschillen zijn het grootst op de Duitse Vecht, maar ook op de Overijsselse Vecht en in het Zwarte Water zijn nog grotere verschillen zichtbaar voor sommige standaardsommen. Dit geeft aan dat voor deze trajecten de gebruikte kalibratietrajecten en afvoerniveaus beter gekalibreerd moeten worden.

### 5.2 Aanbevelingen

De meeste aanbevelingen voor de volgende iteratie van het 1D model hebben te maken met het succesvol laten verlopen van de kalibratie. Deze aanbevelingen voor de kalibratie staan hieronder genoemd.

- Het verlagen van de maximum afvoer in de afleidsom voor een realistischere kalibratie en validatie.
- Evalueren van de gebruikte afvoerniveaus voor kalibratie.
- Evalueren van de gebruikte ruwheidstrajecten voor kalibratie.
- Evalueren van kalibratie *Zwolle – Mond der Vecht* op basis van het ongekalibreerde 2D model.
- Evalueren van de initiële waterstanden tijdens het uitvoeren van de kalibratie.

- Evalueren van de profielen bovenstrooms van de stuwen.
- Vergelijken van ruwheden met de waarden in het 2D model.

Op basis van deze aanbevelingen kan tijdens een volgende iteratie van het zesde-generatie 1D model naar verwachting de kalibratie succesvol plaatsvinden, waarna het model operationeel gebruikt kan worden.

## 6 Bibliografie

- 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.
- Fujisaki, A. (2024). Standaardsommen IJssel-Vechtdelta en Overijsselse Vecht. Deltares rapport: 11210333-006-ZWS-0017.
- Fujisaki, A., & Leemeijer, W. (2024). Actualisatie zesde-generatie Overijsselse Vecht model 2024. Schematisatie dflowm2d-ovd-j24\_6-v1a. Deltares rapport: 11210333-006-ZWS-0008.
- Gensen, M. (2024). Jaarlijkse actualisatie modellen Maas 2024: sobek-maas-j23\_6-v1a2. Deltares-rapport: 11210333-002-ZWS-0008.
- Maas, B. (2024). Actualisatie Modellen Rijn 2024: sobek-rijn-24\_6-v1a1. Deltares-rapport: 11210333-003-ZWS-0008.
- Spruyt, A., & Fujisaki, A. (2021). Ontwikkeling zesde-generatie model Overijsselse Vechtdelta. Deltares-rapport: 11205258-007-ZWS-0007.
- van der Mheen, M., Keizer, A., & de Jong, J. (2015). SOBEK 3-model van de Overijsselse Vecht. Deltares rapport: 1220072-006-ZWS-0008.

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)