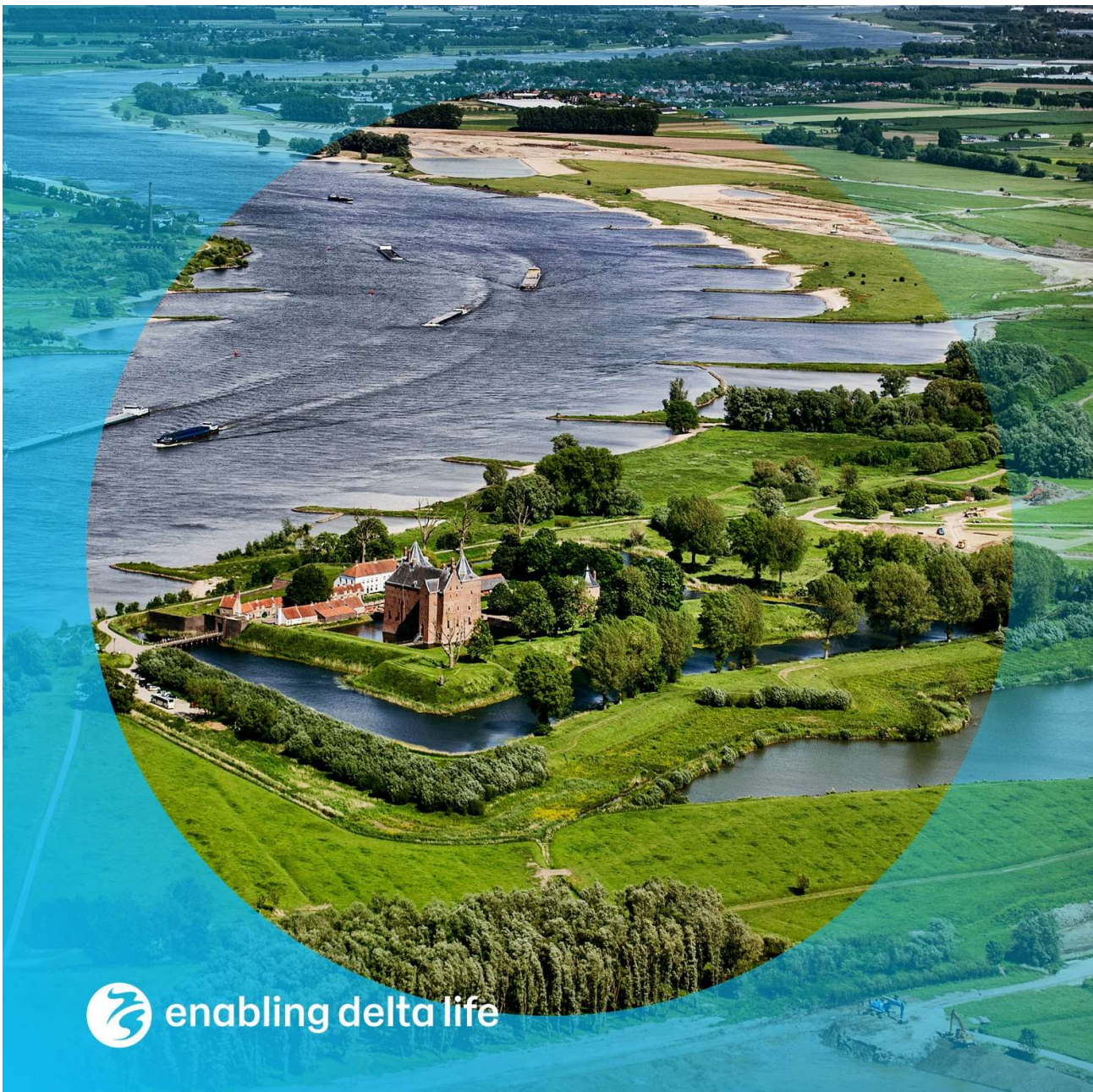


## Actualisatie zesde-generatie Maas- modellen.

Schematisaties j19\_6, beno19\_6, beno\_mknov19\_6



## **Actualisatie zesde-generatie Maas-modellen.**

Schematisaties j19\_6, beno19\_6, beno\_mknov19\_6

### **Auteur(s)**

Eveline van der Deijl

Jurjen de Jong

Ton Visser

## Actualisatie zesde-generatie Maas-modellen.

Schematisaties j19\_6, beno19\_6, beno\_mkno19\_6




<b>Opdrachtgever</b>	RWS-WVL, RWS-ZN
<b>Contactpersoon</b>	Martin Scholten, Siebolt Folkertsma, Lianita Suryawinata
<b>Referenties</b>	
<b>Trefwoorden</b>	

### Documentgegevens

<b>Versie</b>	1.0
<b>Datum</b>	22-12-2021
<b>Projectnummer</b>	11206813-002
<b>Document ID</b>	11206813-002-ZWS-0021
<b>Pagina's</b>	70
<b>Classificatie</b>	
<b>Status</b>	definitief

### Auteur(s)

	Eveline van der Deijl	Deltares
	Jurjen de Jong	Deltares
	Ton Visser	Deltares

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
1.0	Eveline van der Deijl	Anna Kusters	Johan Boon	
			b/a 	

# Samenvatting

In de zesde generatie zijn nieuwe hydraulische 2D-modellen van de Maas van Lixhe tot Keizersveer opgezet met Baseline 6 en D-HYDRO in opdracht van Rijkswaterstaat. D-HYDRO werkt op basis van een ongestructureerd rooster en biedt daardoor mogelijkheden die in eerdere generaties Rijkswaterstaat-modellen niet aanwezig waren. De uitlijning van het rooster met de lokale geometrie en stroomrichting kan hierdoor significant worden verbeterd. Dit model is gekalibreerd en gevalideerd op recente hoogwatergolven (De Jong, 2021).

Na kalibratie en validatie volgt de actualisatie van het model, waarmee het model geschikt wordt gemaakt voor diverse toepassing. Deze rapportage beschrijft de actualisatie naar een actueel (j19-) model en naar een model voor vergunningverlening en planstudies (beno19-model) dat ook geschikt wordt gemaakt voor toepassing in BOI (hr2023-model).

Het definitieve actuele j19-model is een uitsnede vanuit Baseline-NL (baseline\_nl\_land-j19\_6-v1). Het model wordt getoetst door uitvoering van een verschilanalyse met het j14-model. Uit deze verschilanalyse blijkt dat de modelresultaten van het geactualiseerde Maas-model plausibel zijn. Daarnaast geeft een vergelijking door RWS-ZN met betrekkinglijnen en metingen vertrouwen in de kwaliteit van het model.

In het tweede deel van deze rapportage is een 2D-model afgeleid specifiek voor het uitvoeren van vergunningverlening en planstudies (beno19-model). Hiervoor wordt het j19-model uitgebreid met maatregelen van Vegetatielegger inclusief Stroomlijn fase 1 en 2, projecten watervergunningen, Maaswerken en overige (plan)maatregelen. Dit resulteert in het model beno19\_6-w6. Een speciale variant hiervan (het beno\_mknov19-model) bevat als enige toevoeging een maatregel waarbij alle maaskaden als niet-overstroombaar worden geschematiseerd. Ook deze modelresultaten zien er plausibel uit en de grote verschillen tussen beno19\_6 en j19\_6 zijn te verklaren aan de hand van veranderingen in de ingemixte maatregelen. Verschillen tussen beno\_mknov19\_6-w7 en beno19\_6-w6 ontstaan vooral op de Grensmaas. Over het algemeen verhogen de niet-overstroombare kades langs de Grensmaas de waterstanden voor de hogere dynamische afvoeren van de beno\_mknov19\_6-w7 modelschematisatie. Deze verhoging kan oplopen tot zo'n 50 cm.

De definitieve modellen beno19\_6-v1 en beno\_mknov19\_6-v1 worden ten slotte verkregen op basis van de beno-versie van Baseline-NL, een ontwikkeling die parallel aan deze modelontwikkeling werd uitgevoerd. Door toevoeging van de uitvoerlocaties wordt daarnaast de definitieve modellen voor BOI- verkregen: hr2023\_6-v1 en hr\_mknov2023\_6-v1.



# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>7</b>
1.1	Achtergrond	7
1.2	Gebruikte programmatuur en hardware	7
1.3	Organisatie en bijdragen	7
1.4	Leeswijzer	8
<b>2</b>	<b>Modelopzet j19-model</b>	<b>9</b>
2.1	Baseline en D-HYDRO	9
2.2	Initiële condities	9
2.3	Kunstwerken	9
2.3.1	Handmatige aanpassing bij keersluis Heumen	10
2.4	Randvoorwaarden	10
<b>3</b>	<b>Resultaten j19-model</b>	<b>12</b>
3.1	Verschilanalyse j19_6 en j14_6	12
3.1.1	Stationaire afvoeren	12
3.1.2	Hoge afvoergolven	16
3.1.3	Aangetakte kanalen	18
3.2	Verstoringen en schommelingen in waterstanden	20
3.2.1	Verstoringen in de waterstanden	20
3.2.2	Schommelingen door stuwsturing	22
3.3	Conclusies	24
<b>4</b>	<b>Modelopzet beno-modellen</b>	<b>25</b>
4.1	Opbouwen Baseline-schematisaties	25
4.2	D-HYDRO	27
4.2.1	Randvoorwaarden	27
4.2.2	Initiële condities	28
4.2.3	Handmatige aanpassing bij Keersluis Heumen	28
<b>5</b>	<b>Resultaten beno-modellen</b>	<b>30</b>
5.1	Verschilanalyse beno19_6 en j19_6	30
5.1.1	Dynamische berekeningen	30
5.1.2	Stationaire berekeningen	37
5.2	Verschilanalyse beno19_6 en beno17_5	39
5.3	Verschilanalyse beno_mkno19_6 en beno19_6	42
5.3.1	Dynamische berekeningen	42
5.3.2	Stationaire berekeningen	44
5.4	Instabiliteiten	46

5.5	Conclusies	46
<b>6</b>	<b>Beno-model op basis van Baseline-NL</b>	<b>47</b>
<b>7</b>	<b>Conclusies</b>	<b>48</b>
<b>8</b>	<b>Aanbevelingen</b>	<b>49</b>
<b>9</b>	<b>Referenties</b>	<b>50</b>
<b>A</b>	<b>Waterstandsverschillen bij meetstations</b>	<b>51</b>
A.1	Stationaire afvoeren	51
A.2	Hoge afvoergolven	52
<b>B</b>	<b>Waterstandsverschillen tussen j19_6-v2 en j19_6-v1 bij meetstations</b>	<b>53</b>
<b>C</b>	<b>Maatregellijsten beno-modellen</b>	<b>54</b>
C.1	Maatregellijsten baseline-maas-beno19_5-6G-w4	54
C.2	Maatregellijst baseline-maas-beno_mknov19_5-6G-w4	59
C.3	Maatregellijsten baseline 6	59
<b>D</b>	<b>Overzicht randvoorwaarden beno19_6-w4</b>	<b>61</b>
<b>E</b>	<b>Verschilkaarten bodemhoogtes beno19_6-w4 en j19_6-w6</b>	<b>62</b>
<b>F</b>	<b>Verschilkaarten bodemhoogtes beno19_6-w4 en beno17_5-v1</b>	<b>63</b>
<b>G</b>	<b>Absolute waterstanden</b>	<b>64</b>
G.1	Dynamische berekeningen (max13)	65
G.2	Stationaire berekeningen (last25)	68

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

Met het in gebruik nemen van de D-HYDRO Suite stapt RWS over van modelschematisaties in de vijfde generatie naar modelschematisaties in de zesde generatie. Het doel is om de modellen voor alle watersystemen in D-HYDRO ter beschikking te hebben. In 2016 zijn hiervoor al een drietal pilotstudies gedaan, o.a. voor de Waal. Op basis van deze studies en een aantal klankbordsessies zijn generieke specificaties voor de opzet van de zesde-generatie modellen opgesteld (Minns et al., 2019).

Alleen tijdens de ontwikkeling van een nieuwe generatie modellen kunnen methodieken gewijzigd worden, die van invloed zijn op de kalibratie en validatie (bijv. numerieke instellingen, bepaling van laterale toestromingen, Qf-relaties, kalibratiestrategie). Ook het rekenrooster wordt in de basis éénmaal gemaakt, waarbij er in navolgende jaren alleen een mogelijkheid is tot uitbreiding.

Als eerste riviermodel in de zesde-generatie is gewerkt aan de Maas. Deze rapportage beschrijft de ontwikkeling van het actuele 2D-model van de Maas (j19-model) in de D-HYDRO Suite. Tevens wordt van dit actuele model ook een 2D-model van de Maas afgeleid specifiek voor het uitvoeren van vergunningverlening en planstudies (beno19-model). Hiervoor wordt het Maas-model van de huidige situatie uitgebreid met maatregelen van Vegetatielegger inclusief Stroomlijn fase 1 en 2, projecten watervergunningen, Maaswerken en overige (plan)maatregelen. Een speciale variant hiervan (het beno\_mknov19-model) bevat een maatregel waarbij alle maaskaden als niet-overstroombaar worden geschematiseerd.

## 1.2 Gebruikte programmatuur en hardware

Voor de Baseline werkzaamheden is de volgende Windows software gebruikt:

- Baseline 5: ArcMap 10.3.1 + Baseline 5.3.3
- Baseline 6: ArcMap 10.3.1 + Baseline 6.1.1.2048\_patch (voor versie w4 van beno19-model)
- Baseline 6: ArcMap 10.6 + Baseline 6.2.1\_patch (vanaf w6)

Gedurende het project zijn vele versies van D-HYDRO gebruikt. Alle definitieve berekeningen zijn uitgevoerd met:

- D-HYDRO 2021-04 (gelijk aan DIMR-versie 2.15.14\_DPC\_COS7.70607)

De D-Hydro berekeningen zijn uitgevoerd op het Linux-cluster van Deltares met de volgende specificaties: 64-bit support, Processor / Memory Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2667 v3 @ 3.20GHz / 32GB, 128 cores / 256 (HT), 1,8 TB memory.

## 1.3 Organisatie en bijdragen

Dit project is initieel uitgevoerd en gerapporteerd in twee losse onderdelen: de actualisatie naar j19, en de opzet van het beno19- en beno\_mknov19-model.

De modelopzet en berekeningen van het j19-model zijn uitgevoerd door Ton Visser, met ondersteuning en advies door Jurjen de Jong. De review is uitgevoerd door Anna Kosteners.

Het project voor de beno-modellen is uitgevoerd door Eveline van der Deijl, met advisering van Jurjen de Jong. Baseline-ondersteuning is gegeven door Ton Visser. Er is regelmatig contact geweest met Aukje Spruyt (projectleider KPP Modelschematisaties Zoet). Door Anke Becker is de review van de rapportage uitgevoerd. Het plan en de voortgang van de afleiding van het beno-model zijn gepresenteerd aan Rijkswaterstaat. Hierbij is input geleverd door Martin Scholten (RWS-WVL), Lianita Suryawinata en Siebolt Folkertsma (RWS-ZN).

In deze rapportage zijn beide projecten samengevoegd. Dit is uitgevoerd door Eveline van der Deijl en Jurjen de Jong en de review is uitgevoerd door Anna Kusters.

## 1.4 Leeswijzer

De uitgevoerde werkwijze voor de opzet van het j19-model is beschreven in hoofdstuk 2. Hoofdstuk 3 beschrijft de resultaten van de stationaire afvoeren en hoge afvoergolven die met dit model zijn berekend. Hierbij is speciaal aandacht gegeven aan de modelresultaten bij de aangetakte kanalen in paragraaf 3.1.3 en aan verstoringen en schommelingen in waterstanden die worden beschreven in paragraaf 3.2. Paragraaf 3.3 concludeert dat er op basis van de resultaten en vergelijking met metingen voldoende vertrouwen in het j19-model is om dit te accepteren.

Hoofdstuk 4 beschrijft vervolgens hoe het beno-model wordt opgebouwd vanaf deze vastgestelde j19-schematisatie. De resultaten van de standaardberekeningen die met het beno-model zijn uitgevoerd worden vervolgens beschreven in Hoofdstuk 5. Deze resultaten worden vergeleken met de berekeningen van zowel het j19-model (j19\_6-w6) als het vijfde-generatie beno-model (beno17\_5-v1). Voor de beno\_mknov19\_6-w7 modelschematisatie zijn de drie hoogste standaardafvoeren doorgerekend en vergeleken met de berekeningen van de beno19\_6-w6 schematisatie. Deze resultaten staan beschreven in paragraaf 5.3. De definitieve versies beide modellen en van de hr2023-modellen voor BOI worden afgeleid uit Baseline NL en staan beschreven in hoofdstuk 6.

De conclusies en aanbevelingen van alle modelschematisaties volgen in hoofdstuk 6 en 8.



## 2 Modelopzet j19-model

Dit hoofdstuk beschrijft de opbouw van het model Maas-j19\_6-v2. In 2020 is reeds een (tijdelijke) versie van het model opgeleverd (Visser & De Jong, 2020) met versienummer v1 waarbij de geometrie afkomstig was uit een Baseline-schematisatie na inmixacties vanaf het j14-model van de kalibratie-validatie (De Jong, 2021). Voor de opbouw van het model v2 is gebruik gemaakt van een Baseline-schematisatie op basis van Baseline-NL. Theoretisch zou dit hetzelfde model op moeten leveren. Om dat te verifiëren is een vergelijking tussen v1- en (een werkversie van de) v2-versie uitgevoerd die dat beeld bevestigd (zie bijlage B). Na uitvoering van deze verschilanalyse zijn er nog inhoudelijke aanpassingen aan versie v2 geweest om te komen tot de definitieve versie. De tekst in dit hoofdstuk beschrijft de resultaten met deze definitieve versie.

### 2.1 Baseline en D-HYDRO

De Baseline-schematisatie van de Maas is geclipd uit Baseline-NL (baseline\_nl\_land-j19\_6-v1)<sup>1</sup> met behulp van de clip-polygoon “clip\_contour\_maas\_act\_v1” naar Maas-j19\_6-v2. De geclipte schematisatie is met het definitieve rooster geconverteerd naar D-HYDRO. Deze bestanden vormen de ‘geometry’-map en worden gecombineerd met de overige mappen van de modelopzet en kalibratie afkomstig van het referentie-model (het j14-model). De bovenstroomse modelrand is vanaf het j19-model verplaatst van Eijsden naar Lixhe. Voor de aansturing van de kunstwerken is gebruik gemaakt van de operationele stuwsturing zoals beschreven in De Jong (2021), met een aanpassing zoals beschreven in sectie 2.3.

### 2.2 Initiële condities

Initiële condities zijn aangemaakt voor de situatie met een afvoer van 25, 250, 500 en 1000 m<sup>3</sup>/s bij Lixhe, zonder toevoeging van lateralen. Daarvoor is met het model een initiële berekening uitgevoerd waarin de afvoeren 25, 250, 500 en 1000 m<sup>3</sup>/s achter elkaar trapsgewijs zijn opgegeven en iedere afvoer 9 dagen lang stationair is doorgerekend voordat overgegaan wordt naar de volgende afvoer. Het berekende waterstandsvlak aan het eind van elke stationaire periode is weggeschreven als initieel waterstandsveld behorende bij de betreffende afvoer (bijv. initial\_water\_level\_Q25.ini met daarbij behorend Q25.xyz).

### 2.3 Kunstwerken

Met ingang van het j19-model is de geometrie van Baseline uitgebreid door toevoeging van een drietal aangetakte kanalen: het Julianakanaal, het Maas-Waalkanaal en het Oude Maasje (bij Keizersveer). Bij de opzet van het rekenrooster is al rekening gehouden met deze verwachte toevoeging (De Jong, 2021). Ieder kanaal wordt afgesloten van de Maas tijdens hoge afvoergolven door de sluiting van respectievelijk de keersluizen Limmel, Heumen en Schipdiep. De logica van deze stuwsturing is reeds ontwikkeld (zie De Jong, 2021) en is nu aangesloten op het model. In de evaluatie van de modelresultaten is speciale aandacht gegeven aan de werking van de kunstwerken en de kanalen.

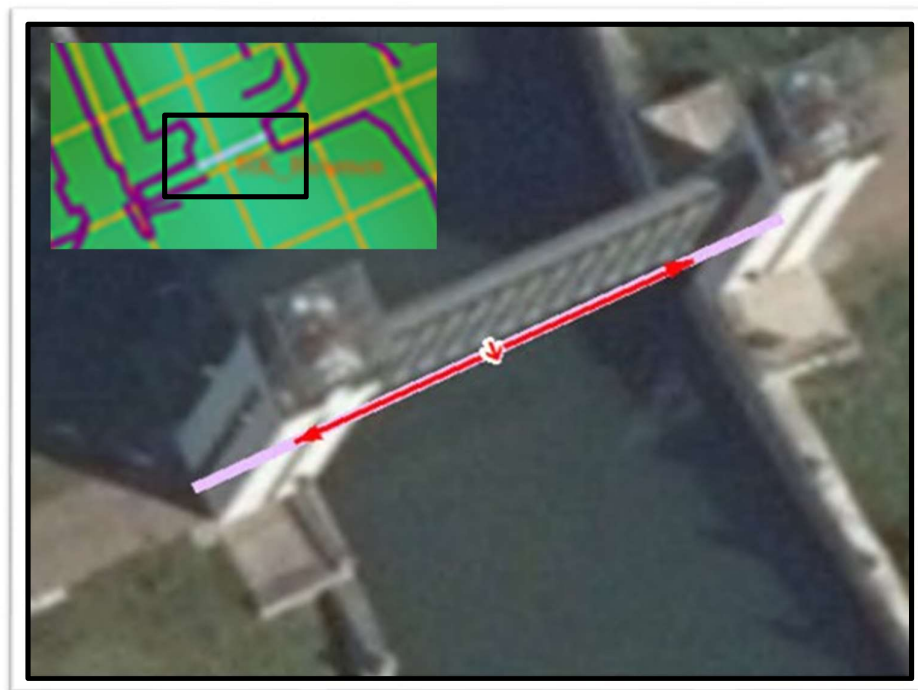
---

<sup>1</sup> In deze versie van Baseline-NL zijn van enkele G6-maatregelen (zie De Jong, 2020) niet de laatste versie opgenomen. Hierdoor zitten er nog fouten in het model: de naamgeving van meetpunt Buggenum-spoorbrug (MA\_\* i.p.v. LK\_\*; dit punt wordt niet gebruikt in de evaluatie), oude naamgevingen in de bronputten (maar dit wordt niet gebruikt door de randvoorwaarden), oude naamgeving van de kunstwerken, en een andere versie van het bestand met kalibratiefactoren (vermoedelijk enkel een technische aanpassing). Er wordt vanuit gegaan dat geen van deze aanpassingen effect heeft op de modelresultaten. De verbeteringen staan wel opgenomen in de aanbevelingen voor de volgende versie van Baseline-NL.

### 2.3.1 Handmatige aanpassing bij keersluis Heumen

Ter hoogte van keersluis Heumen zijn handmatig de x,y coördinaten van structure\_lines MW\_1.60\_c\_HK\_Heumen (object id 29) aangepast zodat de keersluis langer is geworden in de modelschematisatie. De verlenging van de keersluis is aangegeven in Figuur 2-1 waar de rode lijn de oorspronkelijke situatie aangeeft en de lila lijn de nieuwe situatie. Deze aanpassing was nodig omdat de keersluis in de oorspronkelijke situatie niet goed de flow-links van de modelcellen afsloot.

In meest recentere modellen is deze aanpassing ook verwerkt in Baseline-maatregelen.



Figuur 2-1 aanpassing van de coördinaten van Keersluis Heumen (MW\_1.60\_c\_HK\_Heumen) waarbij de keersluis is verlengd van de oorspronkelijke rode lijn naar de nieuwe lila lijn (figuur aangepast uit persoonlijke communicatie Lianita Suryawinata).

## 2.4 Randvoorwaarden

Vanaf het j19-model ligt de bovenstroomse modelrand niet bij Eijsden maar bij Lixhe. Ten behoeve van de jaarlijkse actualisatie modellen Maas (JAMM) (De Jong, Van der Deijl & Spruyt, 2021) is een nieuwe set randvoorwaarden bepaald. Deze “JAMM-randvoorwaarden” worden gedurende de hele zesde generatie gebruikt om modellen met elkaar te vergelijken en modelveranderingen te toetsen. De randvoorwaarden bij Lixhe en voor de lateralen zijn bepaald met behulp van de Randvoorwaarden Generator Water Modellen (RGWM) v2.3.0 op basis van de afvoer bij Borgharen. De randvoorwaarden zijn gemaakt voor 5 dynamische en 8 stationaire berekeningen, zie Tabel 2-1. Iedere set randvoorwaarden bevat een afvoerrandvoorwaarde bij Lixhe, een QH-relatie bij Keizersveer en 89 lateralen instromingen en onttrekkingen. De looptijd van de simulaties is in alle gevallen 12 dagen.

De modelresultaten worden kwalitatief getoetst op plausibiliteit en kwantitatief vergeleken met simulaties met het j14\_6-model.

Tabel 2-1 Overzicht JAMM-randvoorwaarden. In de naam verwijst <Q> naar de maximale afvoer

Situatie	Naam	Aantal	Maximale afvoer bij Borgharen in m <sup>3</sup> /s
Stationair	S<Q>	8	50, 250, 1500, 2302, 2776, 3224, 4118, 5000
Dynamisch	D<Q>	5	2302, 2776, 3224, 4118, 5000

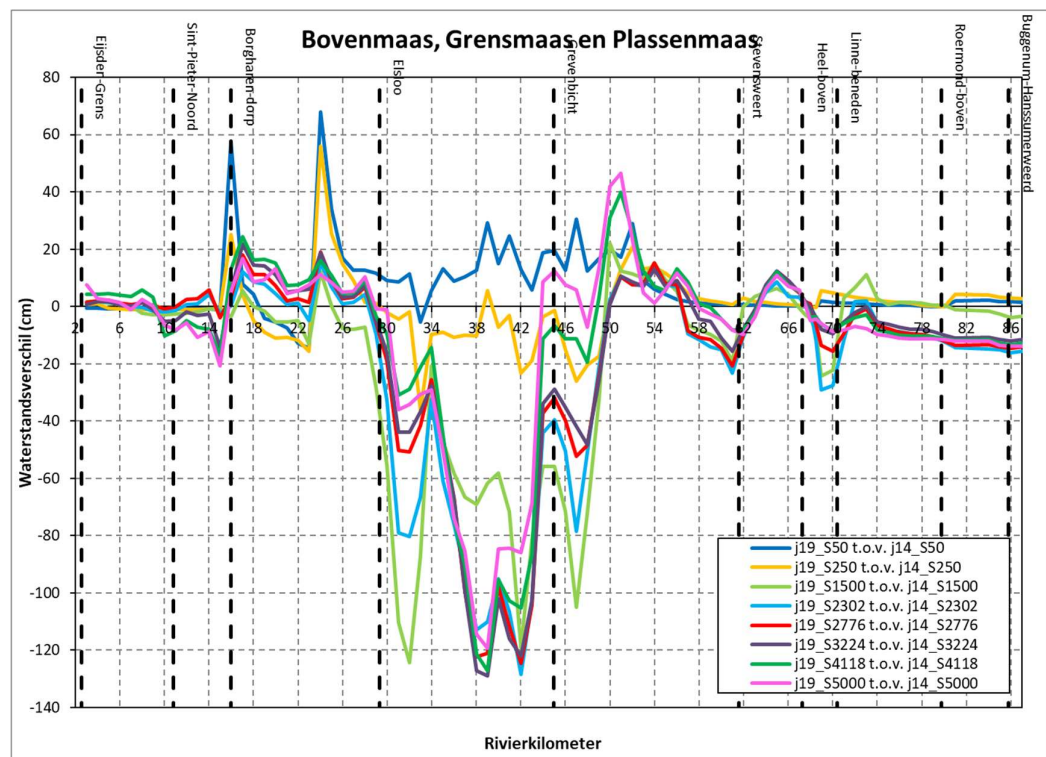
### 3 Resultaten j19-model

In dit hoofdstuk is een vergelijking uitgevoerd tussen het geactualiseerde model j19\_6-v2 en het kalibratie/validatie-model j14\_6-v1. Als vergelijking worden langsdoorsneden gegeven in de onderstaande paragrafen. In Bijlage A zijn statistieken bij de meetstations opgenomen.

#### 3.1 Verschilanalyse j19\_6 en j14\_6

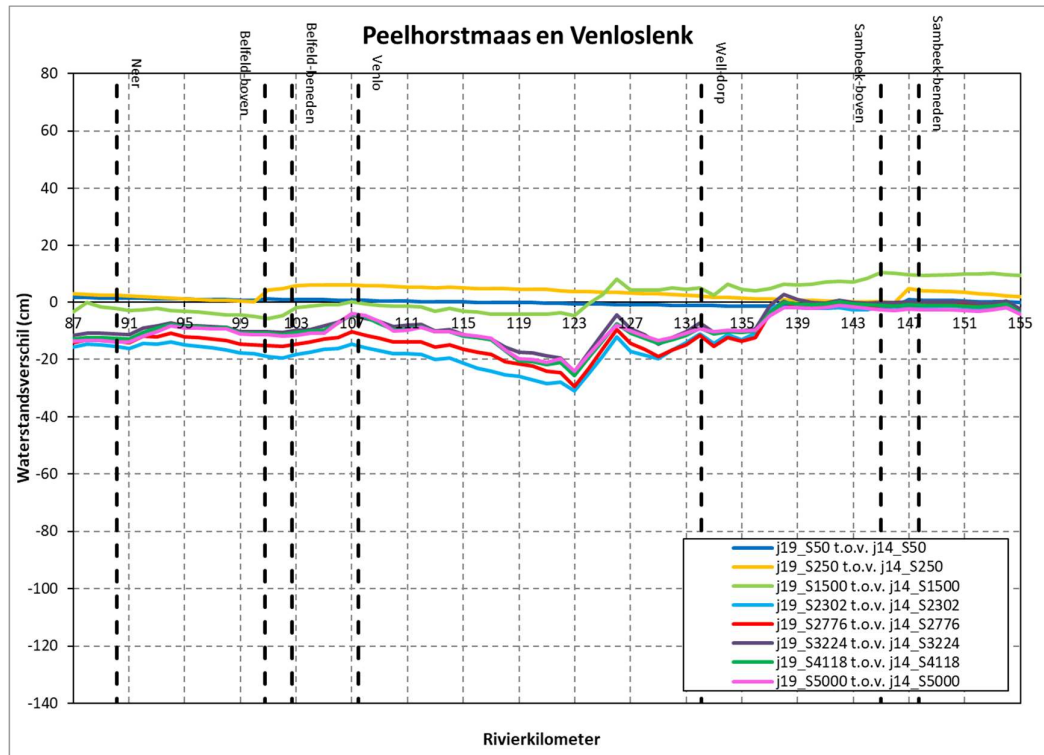
##### 3.1.1 Stationaire afvoeren

In Figuur 3-1, Figuur 3-2 en Figuur 3-3 zijn de verschillen in waterstand (last25) op de as van de rivier tussen de modelschematisaties j19\_6-v2 en j14\_6-v1 weergegeven, voor de stationaire berekeningen met een maximale afvoer als gegeven in Tabel 2-1.

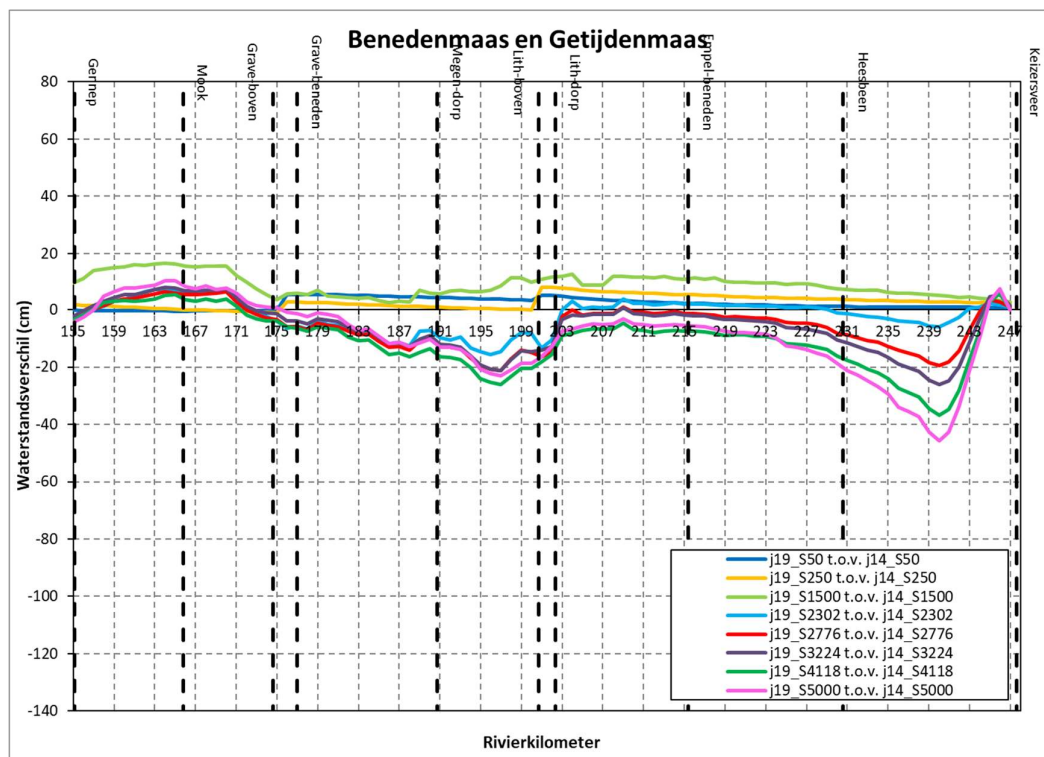


Figuur 3-1: Traject 1: Verschil in waterstand tussen j19\_6-v2 en j14\_6-v1 voor alle stationaire afvoeren.





Figuur 3-2: Traject 2: Verschil in waterstand tussen j19\_6-v2 en j14\_6-v1 voor alle stationaire afvoeren.

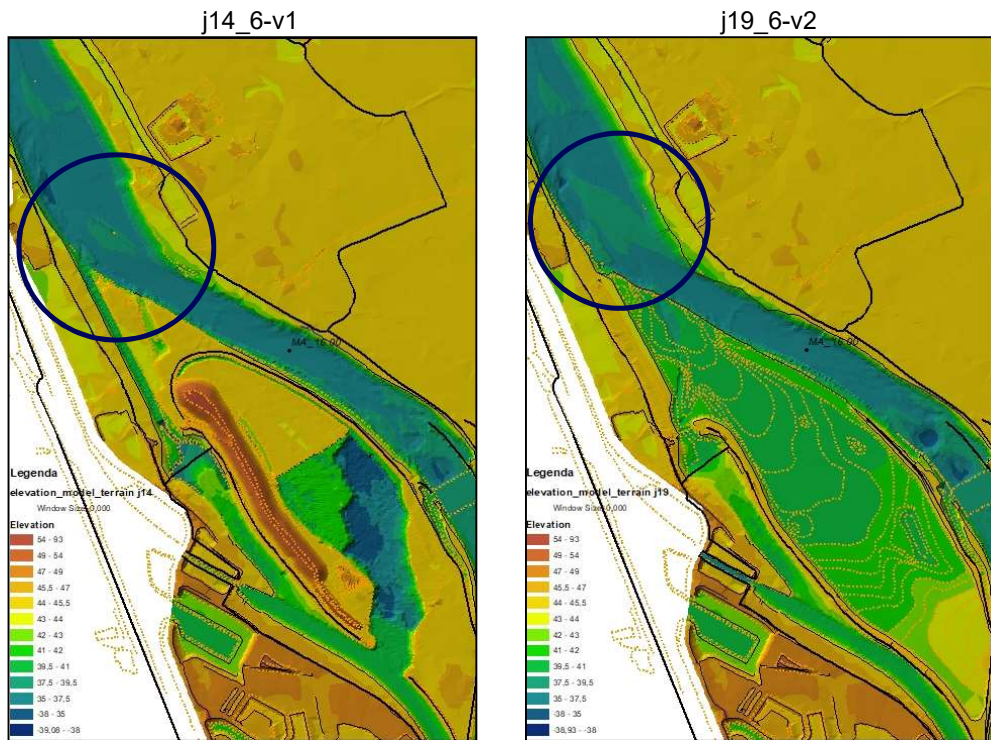


Figuur 3-3: Traject 3: Verschil in waterstand tussen j19\_6-v2 en j14\_6-v1 voor alle stationaire afvoeren.

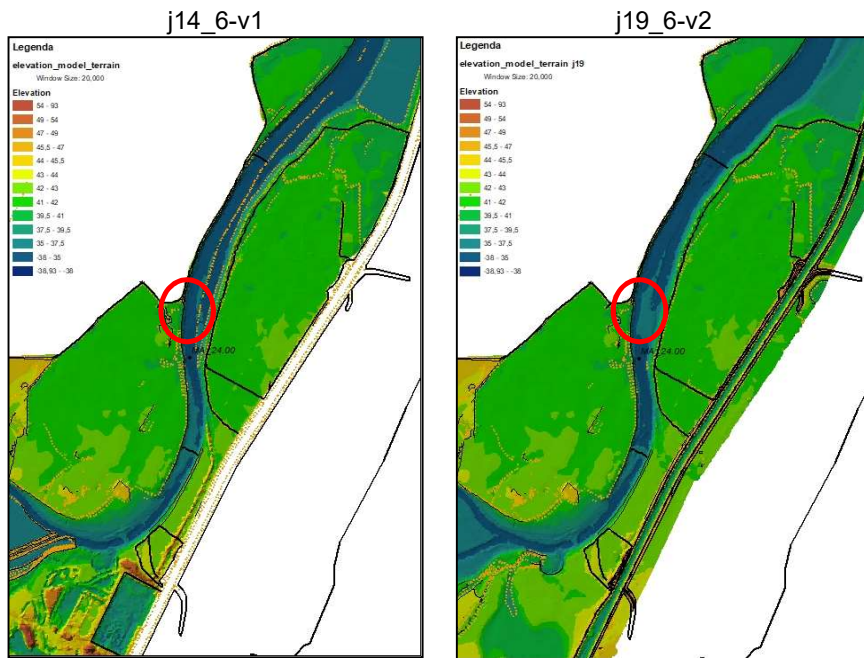
Uit deze figuren blijken de volgende verschillen tussen de waterstanden berekend met D-HYDRO-model j19\_6-v2 en D-HYDRO-model j14\_6-v1:

- Op het traject rkm 2 tot rkm 87:
  - Rkm 2 ligt bovenstrooms van Eijsden en ontbreekt daardoor in het j14\_6-v1-model. Deze spike kan daardoor genegeerd worden.
  - Bij een stationaire afvoer van 1500 m<sup>3</sup>/s en hoger is er een waterstandsval tot 128,8 cm (bij 3224 m<sup>3</sup>/s) te zien op de Grensmaas (rkm 25 tot 49). Dit wordt veroorzaakt door diverse rivierverruimende maatregelen in de uiterwaarden.
  - Bij een lage stationaire afvoer van 50 m<sup>3</sup>/s is er juist een waterstijging tot 67,9 cm (rkm 14 tot 66). Blijkbaar is de doorstroming van het zomerbed gereduceerd.
  - Er zijn twee grote toenames te zien bij lage afvoeren bij rkm16 en rkm 24. In Figuur 3-4 en Figuur 3-5 zijn detailbeelden uit de Baseline-databases gegeven. Hierin is te zien dat de bodem in het zomerbed omhoog is gekomen, en dat dit bovendien over de hele breedte is gebeurd.
  - Bij de afvoer van 250 m<sup>3</sup>/s spelen beide effecten en is er afwisselend waterstijging (rkm 16 – 17, 24 – 29, 49 - 86) en waterstandsval (rkm 18 – 23, 30 - 49).
- Op het traject rkm 87 tot rkm 155:
  - Op dit traject zijn de verschillen veel kleiner. Bij 50 m<sup>3</sup>/s en 250 m<sup>3</sup>/s is de met het j19-model berekende waterstand tot respectievelijk 1,5 en 6 cm hoger.
  - Bij 1500 m<sup>3</sup>/s is tot aan rkm 126 de berekende waterstand tot 5,7 cm lager, en vanaf rkm 126 tot 10,2 cm hoger.
  - Bij hogere afvoer is beperkte waterstandsverlaging zichtbaar ten gevolge van rivierverruimende maatregelen.
- Op het traject rkm 155 tot rkm 247:
  - Bij de afvoeren 50 m<sup>3</sup>/s, 250 m<sup>3</sup>/s en 1500 m<sup>3</sup>/s is de met het j19-model berekende waterstand hoger, tot maximaal 16,2 cm.
  - Bij de afvoeren 2302 m<sup>3</sup>/s, 2776 m<sup>3</sup>/s, 3224 m<sup>3</sup>/s, 4118 m<sup>3</sup>/s en 5000 m<sup>3</sup>/s is de berekende waterstand aan het begin en het einde van het traject hoger, tot maximaal 10,2 cm. Tussen rkm 171 en 203 is er een waterstandsverlaging tot maximaal 45,6 cm.

Uit de analyse van de meetstations (Bijlage A.1) zijn dezelfde conclusies te trekken. Wel wordt opgemerkt dat de meetstations Maaseik-Herenlaak en Maasbeemder-Greend bij lage afvoeren droog vallen. Een afspraak hierover is opgenomen in de aanbevelingen.



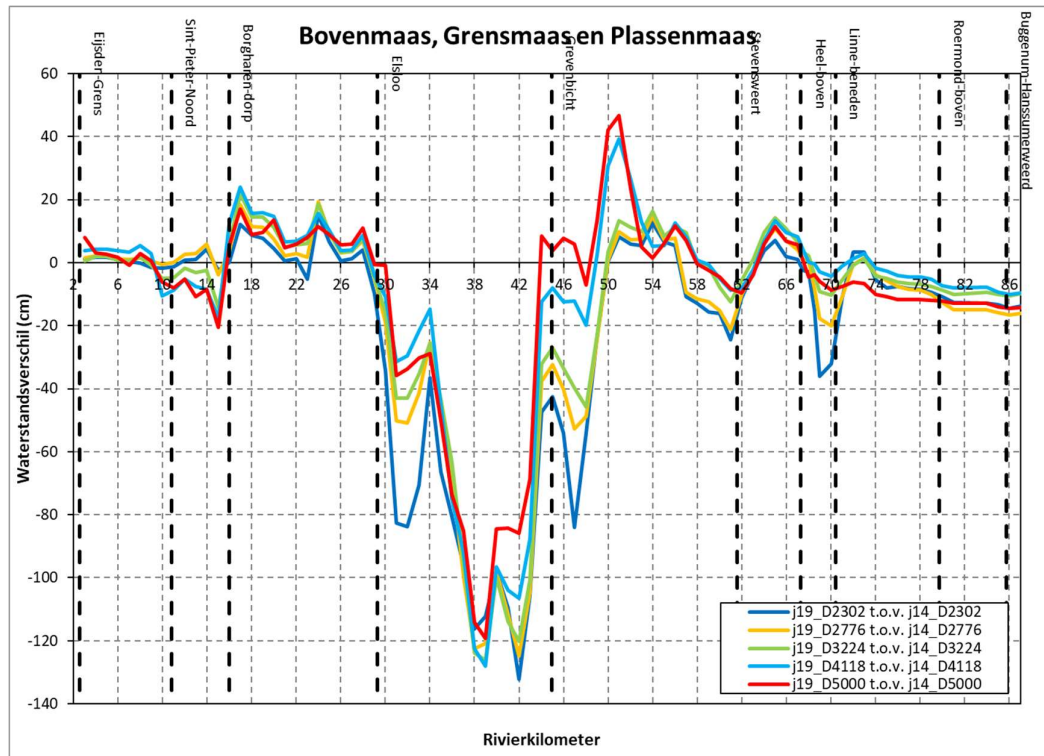
Figuur 3-4 Verschil tussen j14\_6 en j19\_6 ter hoogte van RKM 16. Omcirkeld is een ondiepte die resulteert in een verhoging van de waterstanden.



Figuur 3-5 Verschil tussen j14\_6 en j19\_6 ter hoogte van RKM 24. Omcirkeld is een ondiepte die resulteert in een verhoging van de waterstanden.

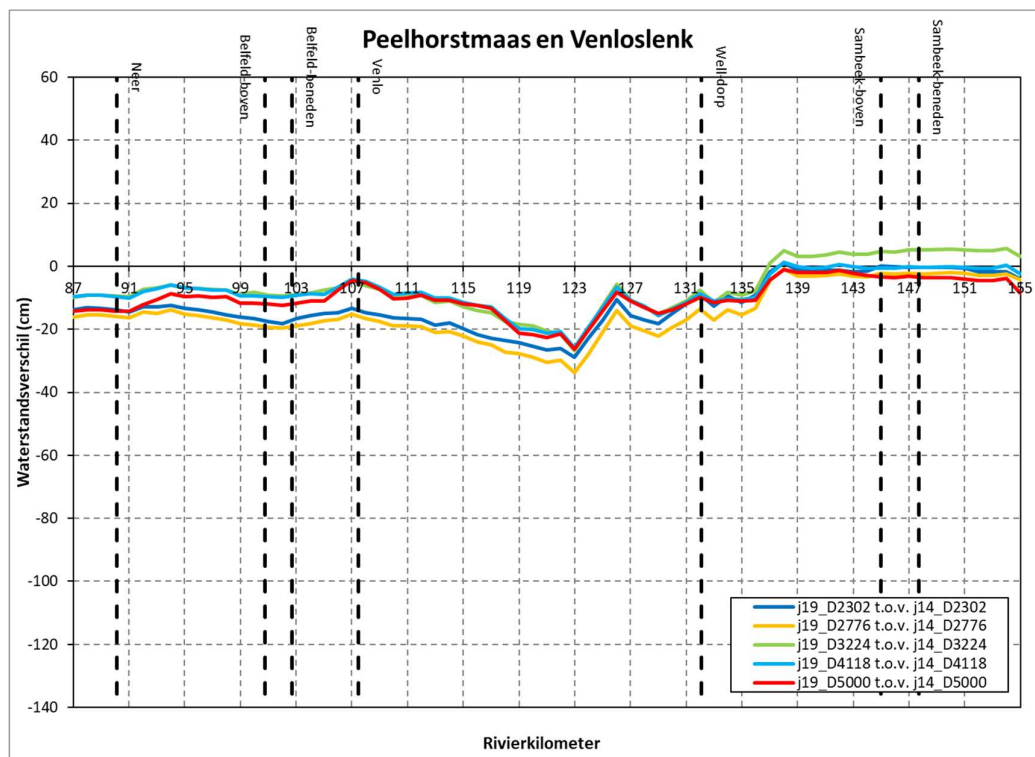
### 3.1.2 Hoge afvoergolven

In Figuur 3-6, Figuur 3-7 en Figuur 3-8 zijn de waterstandsverschillen op de as van de rivier tussen de modelschematisaties j19\_6-v2 en j14\_6-v1 weergegeven voor de dynamische (D) berekeningen met een maximale afvoer als gegeven in Tabel 2-1.

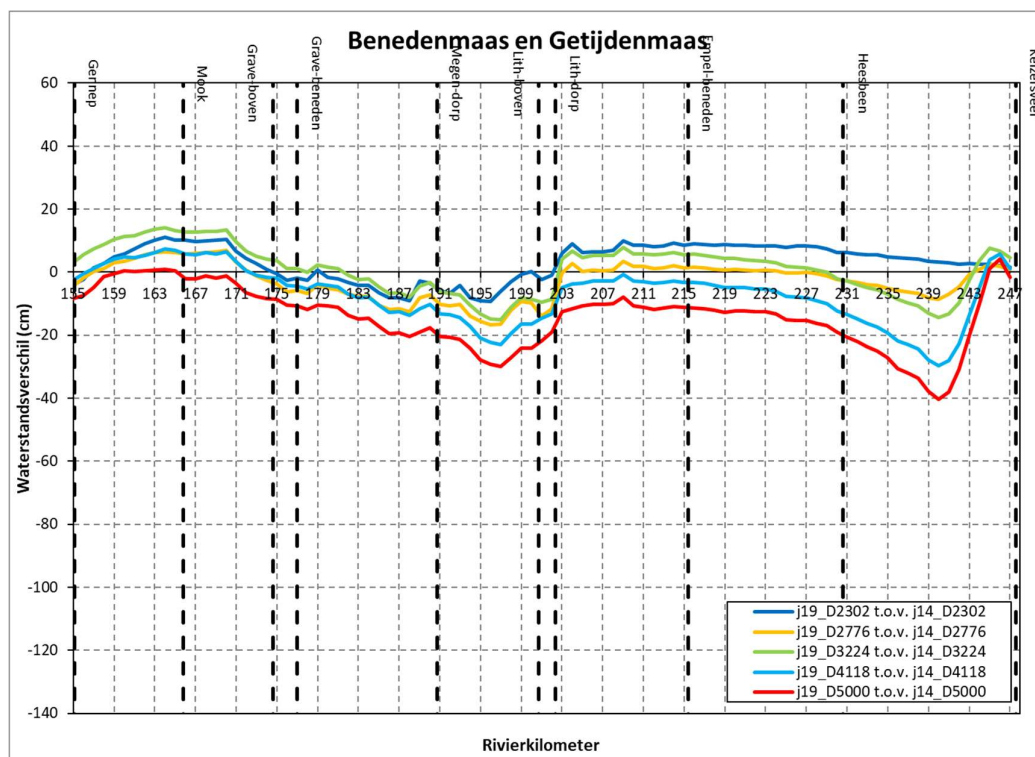


Figuur 3-6: Traject 1: Verschil in waterstand tussen j19\_6-v2 en j14\_6-v1 voor afvoergolven van 2302 m<sup>3</sup>/s, 2776 m<sup>3</sup>/s, 3224 m<sup>3</sup>/s, 4118 m<sup>3</sup>/s en 5000 m<sup>3</sup>/s.





Figuur 3-7: Traject 2: Verschil in waterstand tussen j19\_6-v2 en j14\_6-v1 voor afvoergolven van 2302 m<sup>3</sup>/s, 2776 m<sup>3</sup>/s, 3224 m<sup>3</sup>/s, 4118 m<sup>3</sup>/s en 5000 m<sup>3</sup>/s.



Figuur 3-8: Traject 3: Verschil in waterstand tussen j19\_6-v2 en j14\_6-v1 voor afvoergolven van 2302 m<sup>3</sup>/s, 2776 m<sup>3</sup>/s, 3224 m<sup>3</sup>/s, 4118 m<sup>3</sup>/s en 5000 m<sup>3</sup>/s.

Uit deze figuren blijken de volgende verschillen tussen de waterstanden berekend met D-HYDRO-model j19\_6-v2 en D-HYDRO-model j14\_6-v1:

- Op het traject rkm 2 tot 87 is de berekende waterstand in j19\_6-v2 bij alle dynamische afvoeren voor het merendeel lager dan in j14\_6-v1. Vooral tussen rkm 30 en 48 zijn grote waterstandsdingingen te zien. De verlagingen worden veroorzaakt door realisatie van vele waterstandverlagende maatregelen aan zowel de Nederlandse als de Vlaamse zijde. Daarnaast is tussen rkm 48 en 53 bij zeer hoge afvoeren (vanaf 4118 m<sup>3</sup>/s) een stijging van de waterstand zichtbaar.
- Op het traject rkm 87 tot 155 zijn voor alle dynamische afvoeren de waterstanden in het j19-model lager dan in het j14-model. Uitzondering hierop is het gedeelte van de Maas vanaf rkm 137 bij de dynamische afvoer van 3224 m<sup>3</sup>/s.
- Op het traject rkm 165 tot 245 zijn voor de dynamische afvoer van 5000 m<sup>3</sup>/s de waterstanden lager dan in j14\_6-v1. Voor de dynamische afvoeren van 4118 m<sup>3</sup>/s is dat ook het geval vanaf rkm 173. De waterstanden berekend in j19\_6-v2 voor de dynamische afvoer van 2302 m<sup>3</sup>/s tussen rkm 174 en 203 zijn ook lager dan in j14\_6-v1, maar op de andere rivierkilometers van dit traject hoger. Voor de dynamische afvoeren van 2776 m<sup>3</sup>/s en 3224 m<sup>3</sup>/s zijn de waterstanden van respectievelijk rkm 173 (2776 m<sup>3</sup>/s) en 182 (3224 m<sup>3</sup>/s) tot aan 203 ook lager dan in j14\_6-v1, net als tussen rkm 229 en 243, maar hoger of praktisch gelijk op de andere rivierkilometers van dit traject.

### 3.1.3 Aangetakte kanalen

Speciale aandacht is gegeven aan de modelresultaten bij de aangetakte kanalen: het Julianakanaal, het Maas-Waalkanaal en het Oude Maasje (bij Keizersveer). Op basis van een eerste evaluatie van de resultaten zijn diverse aanpassingen doorgevoerd in de definitieve randvoorwaarden om ook in de kanaalpanen tot een sluitende waterbalans te komen. Dit is gedocumenteerd bij de beschrijving van de randvoorwaarden (De Jong, Van der Deijl & Spruyt, 2020).

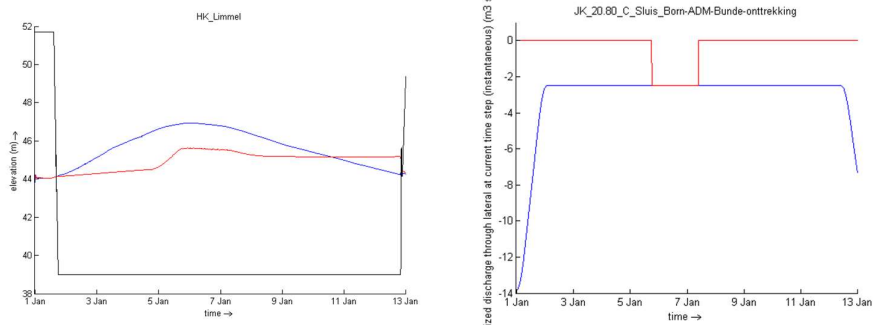
Uiteindelijk wordt op basis van de definitieve resultaten geconcludeerd dat zowel het Julianakanaal en de keersluis Limmel, als het Maas-Waalkanaal en de keersluis Heumen naar behoren functioneren, maar ook nog verbeterpunten hebben.

In Figuur 3-9 (links) is de waterstand in de Maas en in het Julianakanaal weergegeven in combinatie met de 'hoogte onderkant deur' van de keersluis. Hieruit blijkt dat de keersluis bij aanvang van de afvoergolf sluit, maar dat de waterstand op het kanaalpan langzaam toe blijft nemen. Dit wordt veroorzaakt doordat de onttrekking JK\_20.80\_C\_Sluis\_Born-ADM-Bunde-onttrekking droogvalt, waardoor de opgelegde afvoer niet gerealiseerd wordt (zie Figuur 3-9, rechts). Daarnaast valt ook op dat op 5 januari de waterstand plots sterk stijgt. Uit het stroombeeld bij een piekafvoer van 5000 m<sup>3</sup>/s in Figuur 3-10 blijkt op dat moment een kade ter hoogte van JK\_2.10 te overstromen. In het actuele model is het de bedoeling dat primaire kades binnen de modelgrenzen kunnen overstromen<sup>2</sup>.

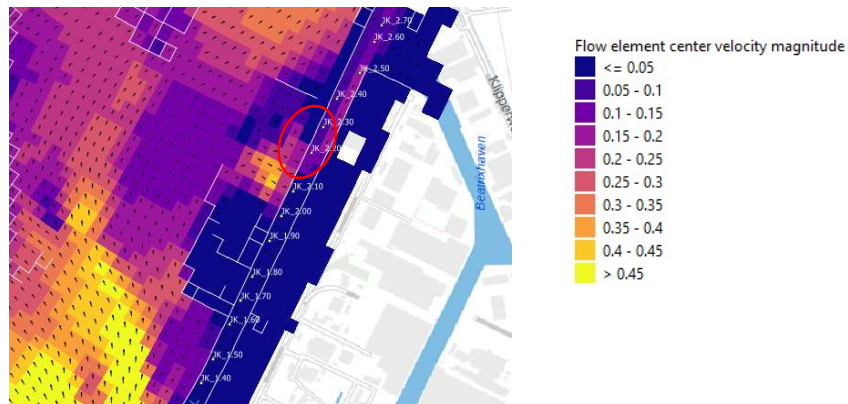
In Figuur 3-11 is keersluis Heumen weergegeven met de waterstand aan beide zijden. Ook deze kering sluit naar verwachting. Bij de piek van de D5000-afvoergolf (8 januari) overstroomt de schutsluis waardoor in het Maas-Waalkanaal de waterstanden snel toenemen (zie Figuur 3-12).

---

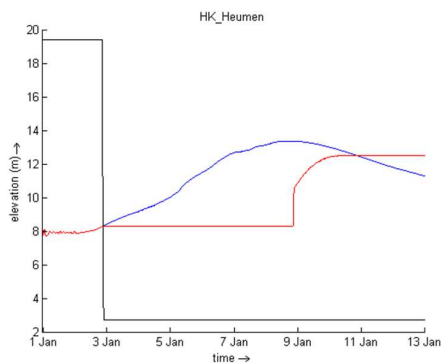
<sup>2</sup> Dit in tegenstelling tot de beno\_mknov-modellen waar primaire keringen als niet-overstroombaar worden verondersteld.



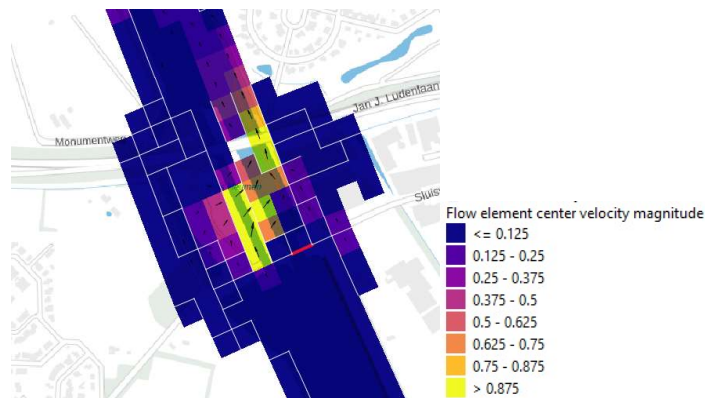
Figuur 3-9: Modelresultaten van simulatie D5000. Links: waterstand rivierzijde bij Borgharen Julianakanaal (blauw); kanaalzijde JK\_2.00 (rood) en de 'Gate Lower Edge Level' van keersluis Limmel (zwart). Rechts: de prescribed discharge (opgelegde onttrekking; blauw) en realized discharge (gerealiseerde onttrekking; rood) aan de bovenzijde van sluis Born.



Figuur 3-10: Stroomsnelheid (m/s) tijdens de piek van de afvoergolf in simulatie D5000 (5 januari 12:00). Weergegeven is de overstroming van de Maas naar het Julianakanaal. Overlaten zijn weergegeven in wit. De overstroming naar het Julianakanaal is aangegeven met een rode cirkel.



Figuur 3-11: Waterstand aan de rivierzijde (blauw) en kanaalzijde (rood) van keersluis Heumen en de 'Gate Lower Edge Level' van de kering (zwart).



Figuur 3-12: Stroomsnelheid (m/s) bij keersluis Heumen tijdens de piek van de afvoergolf D5000 (8 januari 20:00). In wit zijn overlaten weergegeven, in rood de keersluis zelf.

Het Oude Maasje en de keersluis Schipdiep blijken niet goed te functioneren doordat dit gebied met hoogwatervrijelijnen wordt afgesloten van de Maas. Het ontbreken van het Oude Maasje heeft vermoedelijk een verwaarloosbaar effect op de waterstand op de Maas vanwege het kleine oppervlak en omdat de keersluis sluit bij hoge afvoeren. Aanbevolen wordt om dit bij een toekomstige actualisatie te herstellen in Baseline.

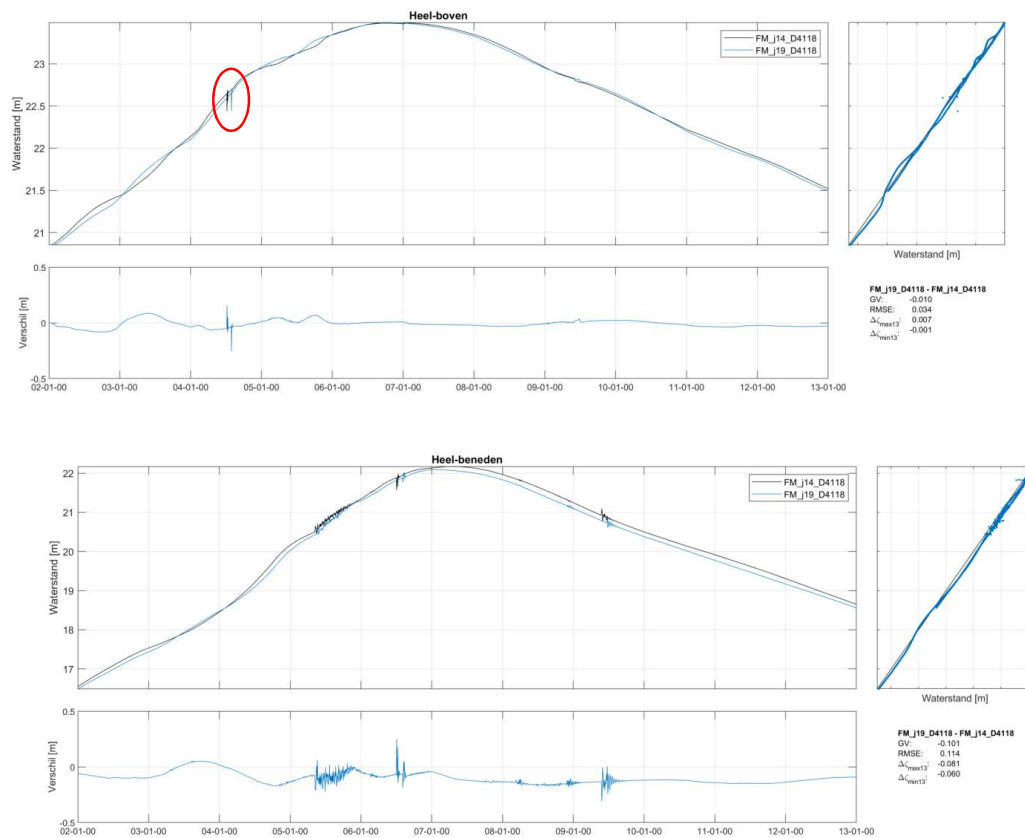
## 3.2 Verstoringen en schommelingen in waterstanden

### 3.2.1 Verstoringen in de waterstanden

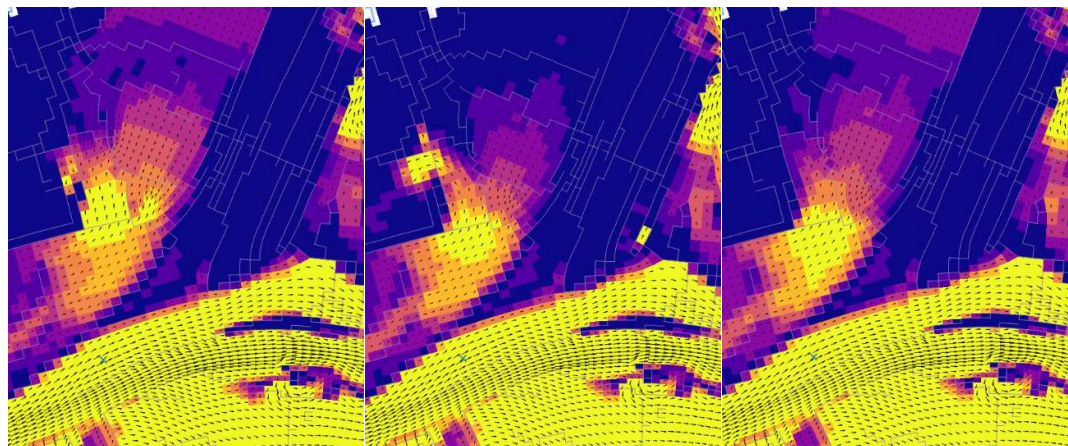
Uit een analyse van de tijdseries van de waterstanden bij alle meetstations, blijkt dat de tijdseries van stations Heel Boven en Heel Beneden een instabiliteit laten zien (zie Figuur 3-13). Bij Heel Boven is sporadisch bij 22.6 m+NAP een schommeling te zien, bij Heel Beneden gedurende langere perioden. Een kaartbeeld van het stroombeeld op opeenvolgende tijdstappen (Figuur 3-14) en een tijdserie op basis van de map-resultaten (Figuur 3-15) tonen ook plotselinge veranderingen in het stroombeeld.

Onderzoek naar het optreden hiervan is uitgevoerd onder issue UNST-4647. Hieruit blijkt dat de verstoring vermoedelijk veroorzaakt wordt door het empirische rekenschema dat nu gebruikt wordt voor de berekening van de afvoer over overlaten. Ook uit kleinere testmodellen en uit ervaringen met de eerdere generaties RWS-modellen in WAQUA blijken overlaten een dergelijke instabiliteit te kunnen veroorzaken, met name als de stroomrichting parallel aan de overlaat is. Uit de simulaties met het testmodel bleek verder dat met de 'numerieke' overlaatformulering (type 6) de instabiliteit niet optreedt. Er kan echter niet zomaar gewisseld worden van formulering door de veranderingen in rekenresultaten die dit geeft en doordat dit schema nog niet om kan gaan met meerdere overlaten op één celwand. Vooral nog worden deze schommelingen daarom geaccepteerd.

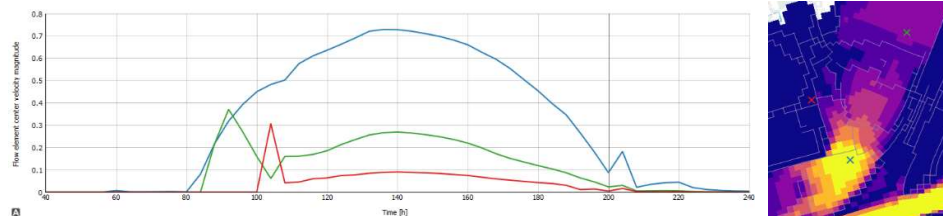




Figuur 3-13 Berekende waterstanden Heel Boven en Heel Beneden (D4118)



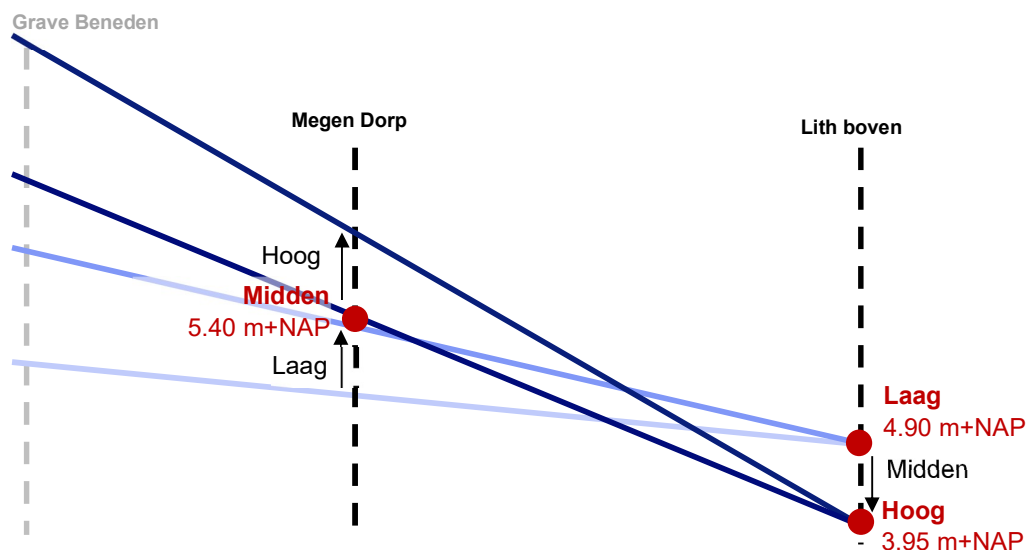
Figuur 3-14 Stroomsnelheid rondom sluis Heel / stuw Linne in simulatie D4118 op 5 januari op tijdstippen 4:00 (links); 8:00 (midden) en 12:00 (rechts).



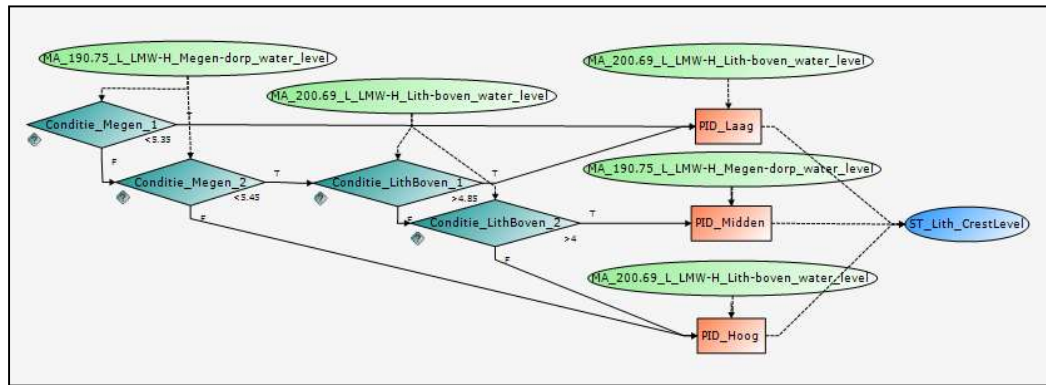
Figuur 3-15 Tijdsree (links) van de stroomsnelheid op drie locaties rondom de inlaat LKW (zie rechts): Bovenstrooms (blauw), in het retentiegebied LKW (groen) en achter een overlaat ten westen van de inlaat (rood).

### 3.2.2 Schommelingen door stuwsturing

Bij lage afvoeren is de sturing van stuw Lith ondanks afstellen instabiel, zoals te zien aan de grote schommelingen in de waterstanden van Lith Boven en Megen Dorp (zie j14-lijnen in Figuur 3-18). In deze paragraaf wordt nader ingegaan op de oorzaak hiervan. Het principe achter de stuwsturing op meerdere stations is reeds gegeven in De Jong (2020) en herhaald in Figuur 3-16. Voor lage afvoer wordt gestuurd op Lith Boven (4.9 m+NAP), voor middelhoge afvoer op Megen (5.4 m+NAP) en voor hoge afvoer wederom op Lith Boven (3.95 m+NAP). De wijze waarop deze logica in RTC-stuwsturing van het model is opgenomen is gegeven in Figuur 3-17.



Figuur 3-16 Langsdoorsnede van waterstanden in stuwpan Lith. In blauw de waterstanden (donkerder betekent een hogere afvoer) en in rood het streeppunt bij lage, gemiddelde en hoge afvoer. De pijlen geven de waterstandsverandering bij toenemende afvoer weer, wanneer gestuurd wordt op het bij de pijl aangegeven afvoerniveau. (Op basis van De Jong, 2021)



Figuur 3-17 Logica van de stuwsturing van stuw Lith. Zolang er gestuurd wordt op Lith Boven (4.90 m+NAP) neemt bij toenemende afvoer de waterstand bij Megen Dorp toe. Als de waterstand bij Megen Dorp hoger wordt dan 5.35 m+NAP, dan wordt gestuurd op vasthouden van 5.40 m+NAP bij Megen Dorp. De waterstand bij Lith Boven zal nu langzaam dalen bij toenemende afvoer. Bij een waterstand lager dan 4.00 m+NAP bij Lith Boven wordt weer gestuurd op Lith Boven, maar ditmaal met een streefpeil van 3.95 m+NAP. Bij verder toenemende afvoer zal de waterstand bij Megen Dorp weer verder stijgen. (Uit: De Jong, 2021)

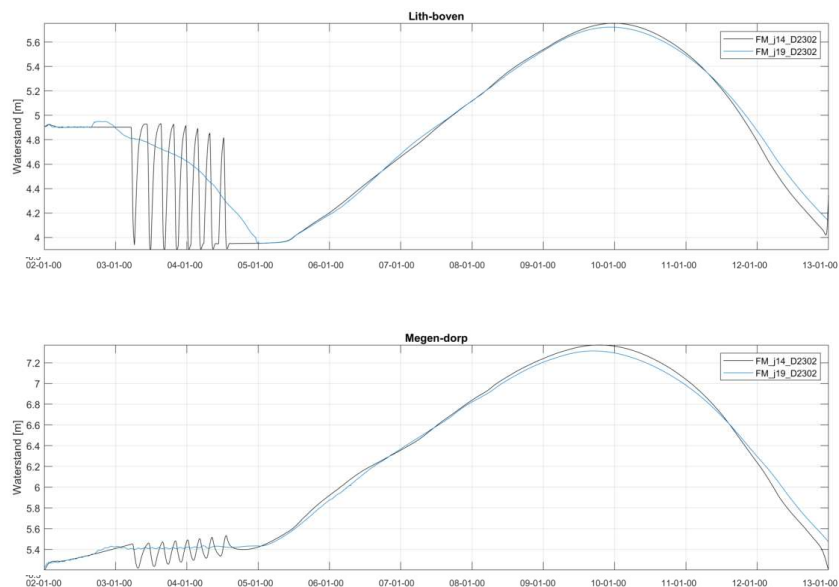
Op basis van een analyse van de waterstanden wordt achterhaald waar de stuwsturing verkeerd gaat. Hieruit wordt geconcludeerd dat bij een stijgende afvoer wordt voorkomen dat de waterstand bij Megen hoger wordt dan 5.45 m+NAP, maar dat op dat moment niet wordt overgeschakeld op de sturing Midden (Megen 5.4 m+NAP), maar op de sturing Hoog waarbij gestuurd wordt op een waterstand van 3.95 m+NAP bij Lith Boven. Dit resulteert vervolgens weer in een snelle waterstandsval bij Megen waardoor weer wordt teruggeschakeld op sturing Laag bij Lith Boven (4.9 m+NAP).

Als poging om dit op te lossen zijn vele simulaties uitgevoerd. Onderstaande twee aanpassingen resulteren in een verbetering<sup>3</sup>:

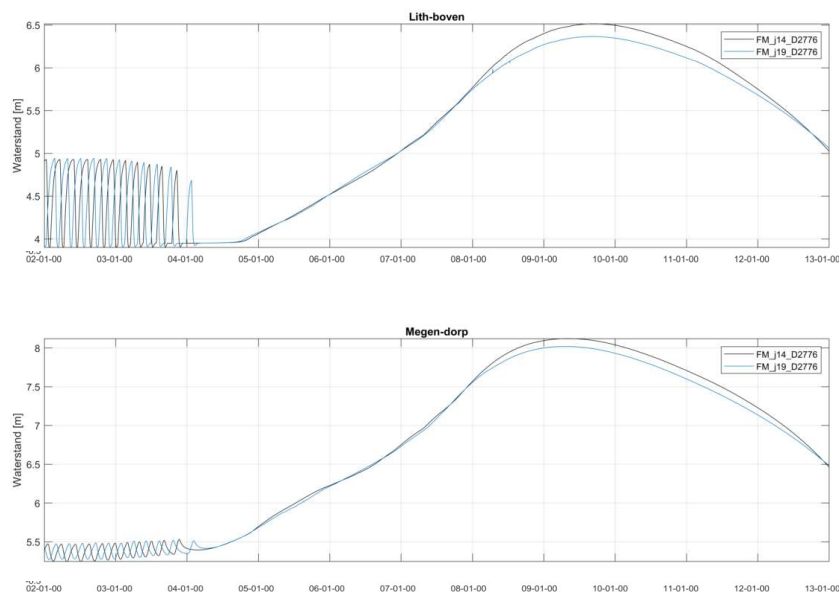
- De waterstand waarbij de logica in de stuwsturing omgeschakeld van sturen op PID-Midden naar PID-Laal is verhoogd van 4.85 m+NAP naar 4.95 m+NAP.
- De PID-coëfficiënten van PID-Midden zijn met een factor 50 verhoogd naar 0.5, 0.0005, -5.

De nieuwe stuwsturing geeft betere resultaten (gegeven in Figuur 3-18, blauwe lijn). In de evalueatie bleek dit echter nog niet de oplossing bij steilere (vaak hogere) afvoergolven, zoals te zien in Figuur 3-19 voor D2776. Aanbevolen wordt verder onderzoek uit te voeren naar verbeteringen in de stuwsturing.

<sup>3</sup> Deze aanpassingen zijn ook doorgevoerd in de rapportage De Jong (2020)



*Figuur 3-18 Schommelingen in waterstanden bij lage afvoeren bij Lith Boven en Megen Dorp (D2302)*



*Figuur 3-19 Schommelingen in waterstanden bij lage afvoeren bij Lith Boven en Megen Dorp (D2776)*

### 3.3 Conclusies

De modelresultaten zien er plausibel uit. Omdat er veel maatregelen worden zijn uitgevoerd tussen j19 en j14 is het voor Deltares niet mogelijk om in te schatten of de verandering in modelresultaat gelijk zijn aan de verwachting. Aan RWS-ZN is gevraagd om te beoordelen of de modelresultaten van j19 genoeg vertrouwen geven om akkoord te gaan met dit nieuwe model. Vergelijking door RWS-ZN met betrekkinglijnen en metingen geven voldoende vertrouwen in het model om dit te accepteren.

## 4 Modelopzet beno-modellen

### 4.1 Opbouwen Baseline-schematisaties

Voor de opbouw van de Baseline 6-database wordt nog gebruik gemaakt van Baseline 5-software. In de speciale lijn van Baseline-schematisaties met de naam ‘\_5-6G’ worden modellen opgebouwd die speciaal bedoeld zijn voor toepassing in Baseline 6. Door nog gebruik te maken van Baseline 5 blijft het mogelijk om ook WAQUA-schematisaties op te bouwen vanuit Baseline (een terugvaloptie) en is het niet nodig om alle maatregelen te converteren naar de Baseline 6-structuur.

De basis voor de nieuwe modellen vormt de Baseline 5-schematisatie “Baseline-maas-j19\_5-6G-w6”. Om te komen tot de schematisatie “Baseline-maas-beno19\_5-6G-w6” zijn achtereenvolgens in “Baseline-maas-j19\_5-6G-w6” 178 Baseline 5-maatregelen ingemixt. De maatregelen zijn zodanig in stappen ingemixt (zie Figuur 4-1) dat er ook tussenvarianten zijn gevormd. Tussenvariant “Baseline-maas-j19leg\_5-6G-w1” is gevormd in stap 1 door het inmixen van de vegetatielegger inclusief stroomlijn (“ma\_leg20\_a1”) in “Baseline-maas-j19\_5-6G-w6”. Na het inmixen van de vergunningen en de maatregelen die enkel de vergunde vegetatie bijstellen ontstaat tussenvariant 2 “Baseline-maas-j19vgn\_5-6G-w1”. Vervolgens ontstaat de schematisatie “Baseline-maas-beno19\_5-6G-w1” door het inmixen van de overige planmaatregelen. De maatregellijsten zijn opgenomen in Appendix C.

Na de controle bij Rijkswaterstaat Zuid-Nederland hebben nog enkele correcties plaatsgevonden op de geleverde maatregelen. Er zijn 4 nieuwe maatregelen opgesteld ten behoeve van het verbeteren van het beno19\_5-6G-w1 model en 1 bestaande maatregel werd opnieuw ingemixt in “Baseline-maas-beno19\_5-6G-w1”. Met deze verbeteringen ontstond “Baseline-maas-beno19\_5-6G-w2”.

Bij het maken van versie “baseline-maas-beno19\_5-6G-w2” was per ongeluk de optie aangezet dat ecotopen geclusterd moesten worden. Dit was niet de bedoeling, daarom zijn opnieuw de 4 maatregelen ingemixt in versie w1 om te komen tot “Baseline-maas-beno19\_5-6G-w3”. Daarnaast waren er in de tussentijd nog extra maatregelen door Rijkswaterstaat Zuid-Nederland gecontroleerd en aangepast. De twee maatregelen ma\_CrHvSam\_a1 en ma\_CrBnO19\_a2 zijn ingemixt in “Baseline-maas-beno19\_5-6G-w3” om te komen tot versie “Baseline-maas-beno19\_5-6G-w4” welke aanvullend is omgezet naar “Baseline-maas-beno\_mknov19\_5-6G-w4” met inmixen van de mknov maatregel.

Na het voltooien van de 4 Baseline 5-6G schematisaties, zijn deze allen geconverteerd naar Baseline 6 middels het onderstaande stappenplan (gelijk aan De Jong, 2021):

- Conversie van de hoogwatervrije\_vlakken (in Baseline 5). De hoogwatervrije\_vlakken met kenmerk ‘pijlers’ en ‘hvatvrij’ worden achtereenvolgens geselecteerd en voor deze selectie vlakken wordt de juiste ruwheidscode ingevuld:
  - Kenmerk = ‘pijlers’ (Ruwheidscode = 3)
  - Kenmerk = ‘hvatvrij’ (Ruwheidscode = 2)
  - Overige features houden hun originele ruwheidscode
- Uitvoeren van de Baseline Converter van Baseline 5 naar Baseline 6
- Aanmaken van initiële condities
- Leeg gooien bridge\_points
- Conversie van (lege) bridge lines en points naar routes en events



- Overlaatinstellingen van kribben (Elevated\_lines\_routes met type 'Groyne') worden geselecteerd en aangepast naar een breedte (CREST\_WIDTH) van 2.5 m, en een helling (SLOPE\_LEFT en SLOPE\_RIGHT) van 3.
- Inmixen van 9 Baseline 6-maatregelen:
  - Vervangen van alle meetpunten
  - Vervangen van alle lateralen
  - Vervangen van alle afvoerraaien
  - Vervangen van alle bruggen
  - Vervangen van alle kunstwerken
  - Verplaatsen secties t.b.v. benedenrand Keizersveer
  - Zomerbedruwheid
  - Kalibratiefactor (aangemaakt met smooth transitions (L = 2000 m; n=20))
  - Theoretische maatregelen (Kromme Nol), noodzakelijk bij schematisaties na 2010 om het bodemhoogtemodel te corrigeren.

Met de conversie van Baseline 5 naar Baseline 6 zijn de volgende 4 schematisaties ontstaan:

- "Baseline-maas-J19leg\_6\_v1"
- "Baseline-maas-J19vgn\_6\_v1"
- "Baseline-maas-beno19\_6-w4"
- "Baseline-maas-beno\_mknov19\_6-w4"

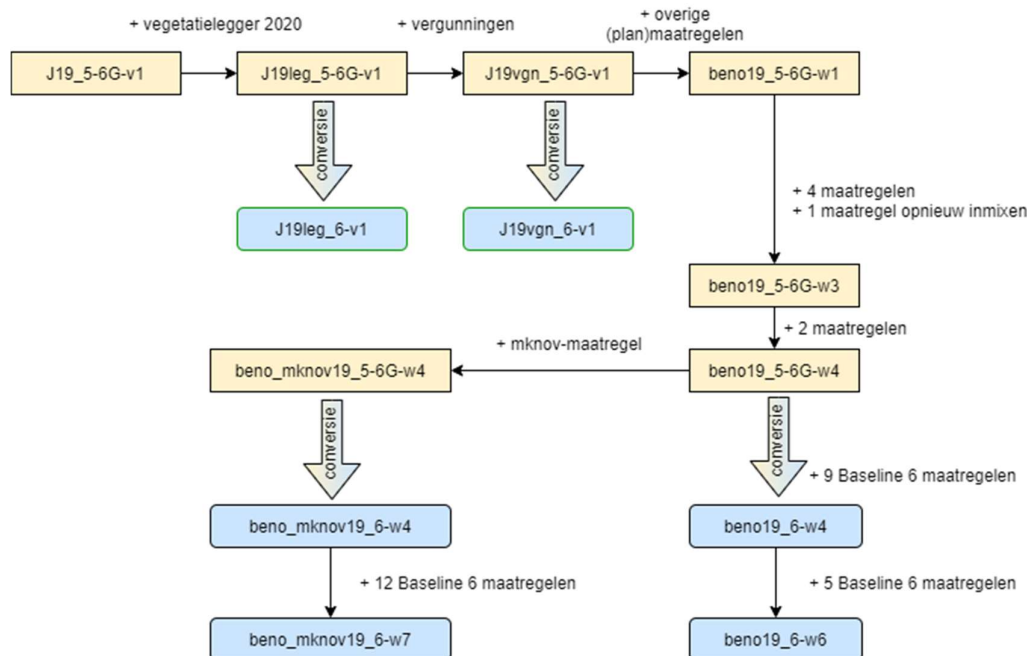
Na controle door Rijkswaterstaat Zuid-Nederland en het waterschap is besloten om nog enkele correcties te verwerken, maar ditmaal in vijf baseline 6 maatregelen zodat niet weer opnieuw de deels handmatige conversie van baseline 5 naar baseline 6 hoeft plaats te vinden. Er zijn dus nog 5 baseline 6 maatregelen ingemixt in "Baseline-maas-beno19\_6-w4" en "Baseline-maas-beno\_mknov19\_6-w4" om te komen tot "Baseline-maas-beno19\_6-w6" en "Baseline-maas-beno\_mknov19\_6-w6".

Achteraf bleek dat het inmixen van de baseline 6 maatregelen in "Baseline-maas-beno\_mknov19\_6-w4" was afgebroken zonder weergave van een error. Om deze reden zijn alle 12 baseline 6 maatregelen nogmaals ingemixt in "Baseline-maas-beno\_mknov19\_6-w4". Het betroffen dit keer slechts 12 i.p.v. 14 maatregelen zoals in de stapsgewijze opbouw van het "Baseline-maas-beno19\_6-w6", omdat daar 2 maatregelen waren die eerdere versies vervingen.

Voor elk van de vier Baseline 6-schematisaties is vervolgens de initiële waterstand berekend via de Advanced Baseline tool "Create initial waterlevel", vervolgens zijn de schematisaties geconverteerd naar Flexible Mesh input files via de Baseline tool "Conversion to D-Flow FM". Hierbij zijn alle onderdelen ingevuld/aangevinkt, behalve de opties:

- In model boundary
- Use cdf enclosure if present

Na goedkeuring van de definitieve rapportage worden de finale werkversies (w-versies) hernoemd naar de definitieve versie v1.



Figuur 4-1 Stappenplan voor de conversie van schematisatie “Baseline-maas-j19\_5-6G-v1” naar “Baseline-maas-beno19\_6-w6” en “Baseline-maas-beno\_mknov19\_6-w7”.

## 4.2 D-HYDRO

De “Baseline-maas-J19leg\_6\_v1”, “Baseline-maas-J19vgn\_6\_v1”, “Baseline-maas-beno19\_6-w6” en “Baseline-maas-beno\_mknov19\_6-w7” Baseline 6-schematisaties zijn met het definitieve rooster uit De Jong (2020) geconverteerd naar D-HYDRO. Deze bestanden vormen de ‘geometry’ map en worden gecombineerd met de mappen boundary conditions, general en initial\_conditions gelijk aan die van het J9\_6-model. De bovenstroomse modelrand is vanaf het j19\_6-model verplaatst van Eijsden naar Lixhe.

In het .mdu-bestand voor het beno19-model moest worden afgeweken van de generieke specificaties voor de parameter Maximum Recursion depth trachytopes (TrMxR). Deze parameter limiteert het ruwheidscodes dat aangeroepen wordt bij samengestelde ruwheidscodes. Voor het draaien van het beno- en mknov-model was het nodig om deze parameter op 12 te zetten (TrtMxR = 12). De verhoging van de recursion depth was noodzakelijk door de samengestelde ruwheidscode 1998 dat een combinatie bleek te zijn van 23 codes.

### 4.2.1 Randvoorwaarden

Met het beno19\_6-model zijn 5 dynamische berekeningen en 8 stationaire berekeningen uitgevoerd, zie Bijlage D. De randvoorwaarden voor de stationaire hoge afvoeren zijn ontwikkeld volgens De Jong, Van der Deijl, Spruyt (2020). Omdat het beno19-model vooral gebruikt wordt voor de beoordeling van plan maatregelen en het BOI- traject welke voornamelijk kijken naar de hoge afvoeren, wordt in deze rapportage vooral gekeken naar de hogere afvoeren vanaf 2302 m<sup>3</sup>/s.

Voor het beno\_mknov19\_6-model zijn alleen de 3 hoogste dynamische en stationaire afvoerniveaus doorgerekend, namelijk de maximale afvoeren van 3224 m<sup>3</sup>/s, 4118 m<sup>3</sup>/s en 5000 m<sup>3</sup>/s.

De randvoorwaarden bij Lixhe en de lateralen zijn bepaald m.b.v. RGWM v2.3.0 op basis van de afvoer bij Borgharen.

Tabel 4-1: Overzicht uitgevoerde simulaties

Naam	Situatie	Bovenstroomse randvoorwaarde bij Borgharen (max. afvoer) in m <sup>3</sup> /s	j19_6-v2a	beno19_6-w6	mknov19_6-w7	beno17_5
S50	Stationair	50	✓	✓	✓	
S250	Stationair	250	✓	✓	✓	
S1500	Stationair	1500	✓	✓	✓	
S2302	Stationair	2302	✓	✓	✓	
S2776	Stationair	2776	✓	✓	✓	✓
S3224	Stationair	3224	✓	✓	✓	✓
S4118	Stationair	4118	✓	✓	✓	✓
S5000	Stationair	5000	✓	✓	✓	✓
D2302	Dynamisch	2302	✓	✓	✓	
D2776	Dynamisch	2776	✓	✓	✓	✓
D3224	Dynamisch	3224	✓	✓	✓	✓
D4118	Dynamisch	4118	✓	✓	✓	✓
D5000	Dynamisch	5000	✓	✓	✓	

Ter vergelijking zijn dezelfde berekeningen ook uitgevoerd voor Maas-j19\_6-v2a (zie Tabel 2-1). Daarnaast zijn voor deze afvoeren de berekeningen van het vijfde generatie beno17\_5 model bij Rijkswaterstaat Zuid-Nederland opgevraagd. De lateralen in het vijfde generatie model wijken echter af van de zesde generatie, waardoor mogelijk kleine verschillen in de modelresultaten zullen ontstaan. Ook is de afvoergolf D5000 niet beschikbaar in WAQUA.

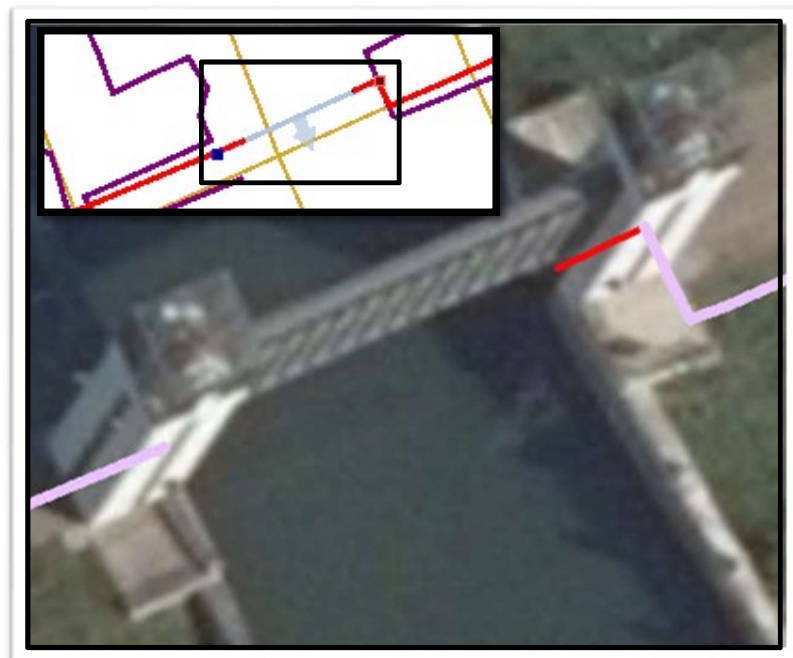
#### 4.2.2 Initiële condities

Initiële condities zijn aangemaakt voor de situatie met een afvoer van 25, 250, 500 en 1000 m<sup>3</sup>/s bij Lixhe, zonder toevoeging van lateralen. Daarvoor is met het model een initiële berekening uitgevoerd startend vanaf het initiële waterstandsveld dat door baseline is berekend. In de berekening worden vervolgens de afvoeren van 25, 250, 500 en 1000 m<sup>3</sup>/s achterelkaar trapsgewijs opgegeven en iedere afvoer is 9 dagen lang stationair doorgerekend voordat overgegaan wordt naar de volgende afvoer. Het berekende waterstandsvlak aan het eind van elke stationaire periode is weggeschreven als initieel waterstandsveld behorende bij de betreffende afvoer.

#### 4.2.3 Handmatige aanpassing bij Keersluis Heumen

In het j19-model werden al ter hoogte van keersluis Heumen handmatig de x,y coördinaten van structure\_lines MW\_1.60\_c\_HK\_Heumen (object id 29) aangepast zodat de keersluis langer is geworden in de modelschematisatie en nu wel goed de flow links van de modelcellen afsluit (zie Figuur 2-1). In het beno19-model is er echter nog een extra aanpassing nodig bij deze keersluis doordat de flow\_blocking\_lines uit de maatregel Ma\_hwvprimairekeringen\_a1 alle flow links doorkruisen. Hierdoor is er geen stroming en partitionering van het model mogelijk. Dit probleem ontstaat doordat het rooster niet is uitgelijnd op de sluisopening bij Heumen waardoor de projectie naar het rooster ongelukkig uitkomt en de opening nu dicht wordt gezet door de flow\_blocking\_lines. Om dit op te lossen is de betreffende lijn ingekort door het laatste punt van deze lijn te verwijderen. Dit is zichtbaar in Figuur 4-2, waarin het stukje rode lijn vervalt en de lila lijn overblijft.

In meest recentere modellen (zie hoofdstuk 6) is deze aanpassing ook verwerkt in Baseline-maatregelen.



*Figuur 4-2 Aanpassing van de thin dam (flow\_blocking\_lines object id 25 ) bij Keersluis Heumen waarbij het laatste punt van de lijn is verwijderd. Hierdoor vervalt het stukje rode lijn en blijft de lila lijn over (figuur aangepast uit persoonlijke communicatie Lianita Suryawinata).*

## 5 Resultaten beno-modellen

Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van de simulaties zoals gespecificeerd in sectie 4.2.1. Om te toetsen of de opbouw van het beno19\_6-model goed is gegaan wordt een vergelijking uitgevoerd met twee andere modellen: het actuele model in de zesde generatie j19\_6-v2 (zie Hoofdstuk 3), en het voorgaande beleidsmodel in de vijfde generatie beno17\_5.

### 5.1 Verschilanalyse beno19\_6 en j19\_6

#### 5.1.1 Dynamische berekeningen

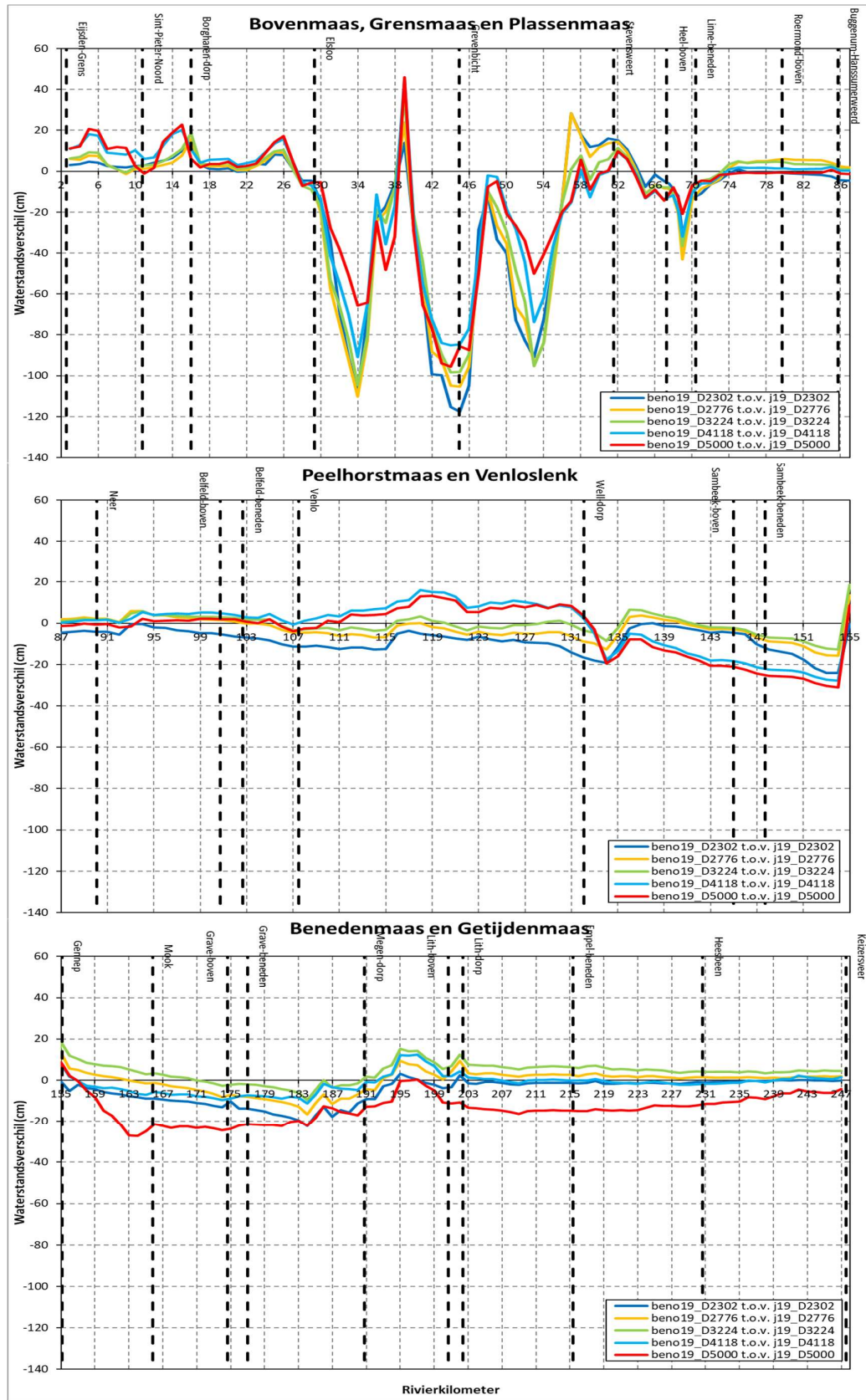
In Figuur 5.1 zijn de max13 waterstandsverschillen op de as van de rivier weergegeven tussen de model-schematisaties beno19\_6-w6 en j19\_6-v2a voor de dynamische (d) berekeningen met een maximale afvoer van respectievelijk 2302 m<sup>3</sup>/s, 2776 m<sup>3</sup>/s, 3224 m<sup>3</sup>/s, 4118 m<sup>3</sup>/s en 5000 m<sup>3</sup>/s.

Verschillen in waterstand worden o.a. veroorzaakt door de verschillen in ruwheid en bodemhoogte door de nog uit te voeren (plan)maatregelen. De verschillen in bodemhoogtes van de eerdere Baselineversies beno19\_6-w4 en j19\_6-v2 zijn weergegeven in de kaarten van Appendix E. Deze kaarten zijn alleen beschikbaar voor de beno19-werkversie-w4 en niet opnieuw geüpdatet voor de definitieve beno19-versie omdat de verwachting is dat de laatste veranderingen tussen deze versies slechts een minimaal/lokaal effect hebben op de verschillen in bodemhoogte.

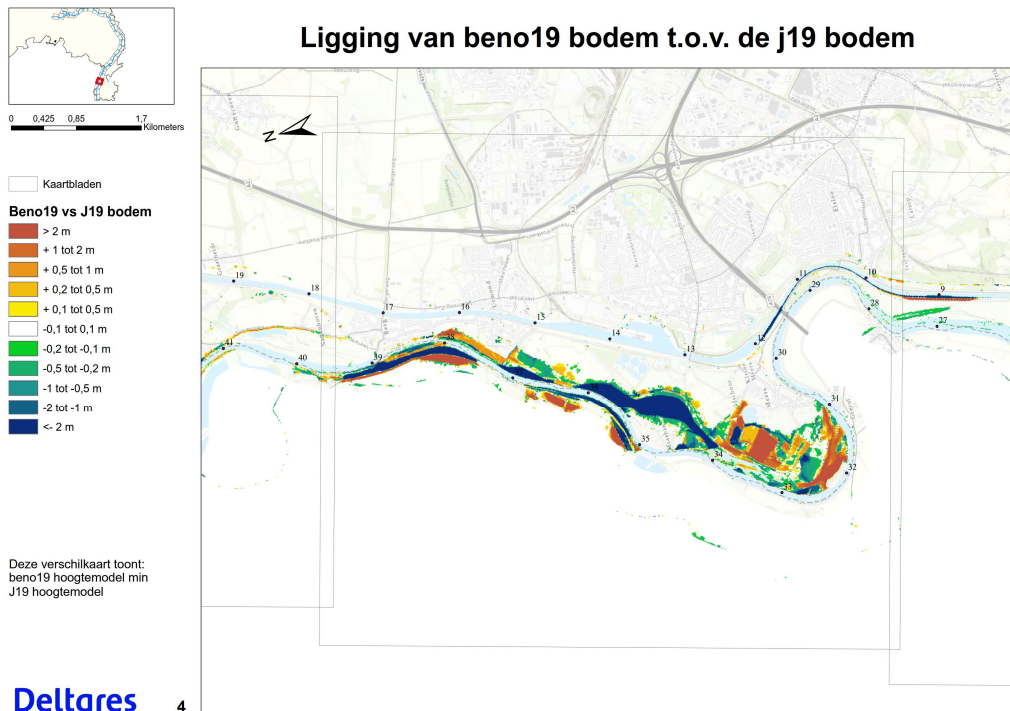
Op het eerste traject tot aan rkm 86 zijn de verschillen tussen de waterstand in beno19\_6-w6 en j19\_6 veel groter dan op de volgende twee trajecten, als gevolg van de grootschalige maatregelen. Tot aan rkm 26 is de berekende waterstand in beno19\_6-w6 bij de meeste dynamische afvoeren iets hoger dan in j19\_6-v2a. Op het traject rkm 26 tot 56 is de berekende waterstand in beno19\_6-w6 bij alle dynamische afvoeren voor het merendeel lager dan in j19\_6-v2a. Bij hogere afvoeren is het waterstandsverschil kleiner dan bij lagere afvoeren, maar voor alle afvoeren zijn een aantal belangrijke pieken in het waterstandsverschil te zien:

- rkm 34/35: Voor de realisatie van nevengeul Maasband wordt de bodem van dit traject verlaagd (zie Figuur 5.2), wat resulteert in een waterstandsval in het beno19\_6-w6 model t.o.v. het j19\_6-v2a model.
- rkm 45: Ook de afgravingen bij rivierversuiming Koeweide en Elerweert over rivierkilometer 44,7-49 resulteren in een waterstandsval in het beno19\_6-w6 model t.o.v. het j19\_6-v2a model. (zie Figuur 5.3).
- rkm 53: Dit knikpunt wordt waarschijnlijk veroorzaakt door inlaatwerken Heerenlaak bij rkm 52.9 en de Contelmo inlaten bij 54.4-54.9 welke een deel van de Maasafvoer via plas Heerenlaak en Molenplas doen stromen (zie Figuur 5.4).

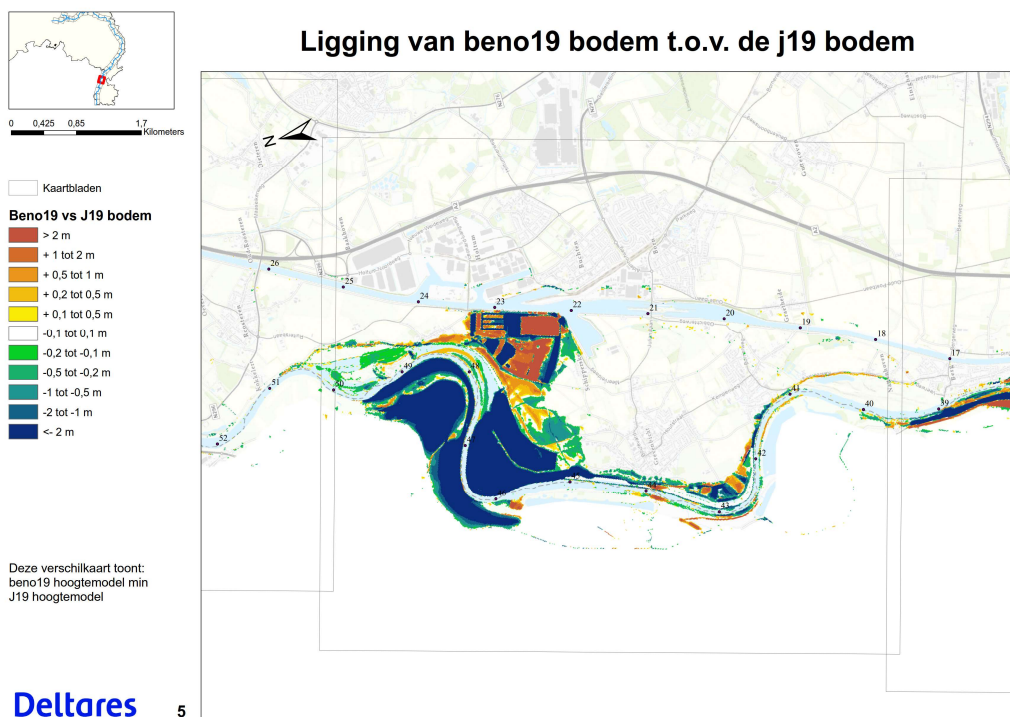




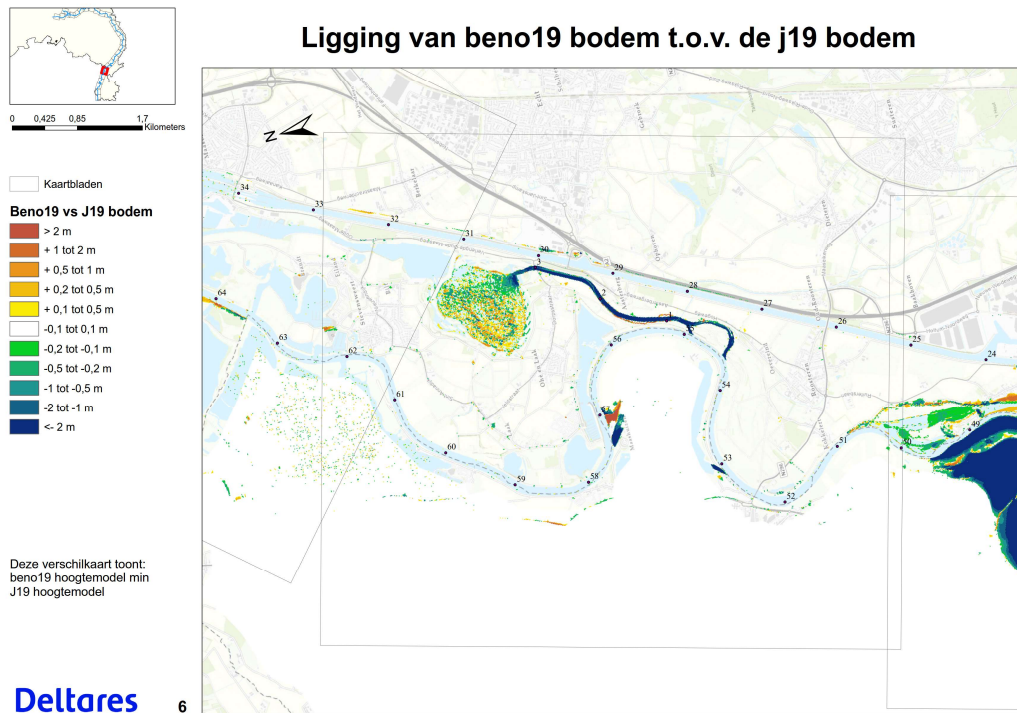
Figuur 5.1: Verschil in max13 waterstand tussen beno19\_6- w6 en j19\_6-v2a voor een afvoer van 2302 m<sup>3</sup>/s, 2776 m<sup>3</sup>/s, 3224 m<sup>3</sup>/s, 4118 m<sup>3</sup>/s en 5000 m<sup>3</sup>/s aan de hand van een dynamische berekening.



*Figuur 5.2: Verschil in bodemhoogte tussen beno19\_6-w4 en j19\_6-v2 voor o.a. locatie Nevengeul Maasband (rkm 34-36)*



*Figuur 5.3: Verschil in bodemhoogte tussen beno19\_6-w4 en j19\_6-v2 voor o.a. locatie rivierverruiming Koeweide (rkm 44-49)*

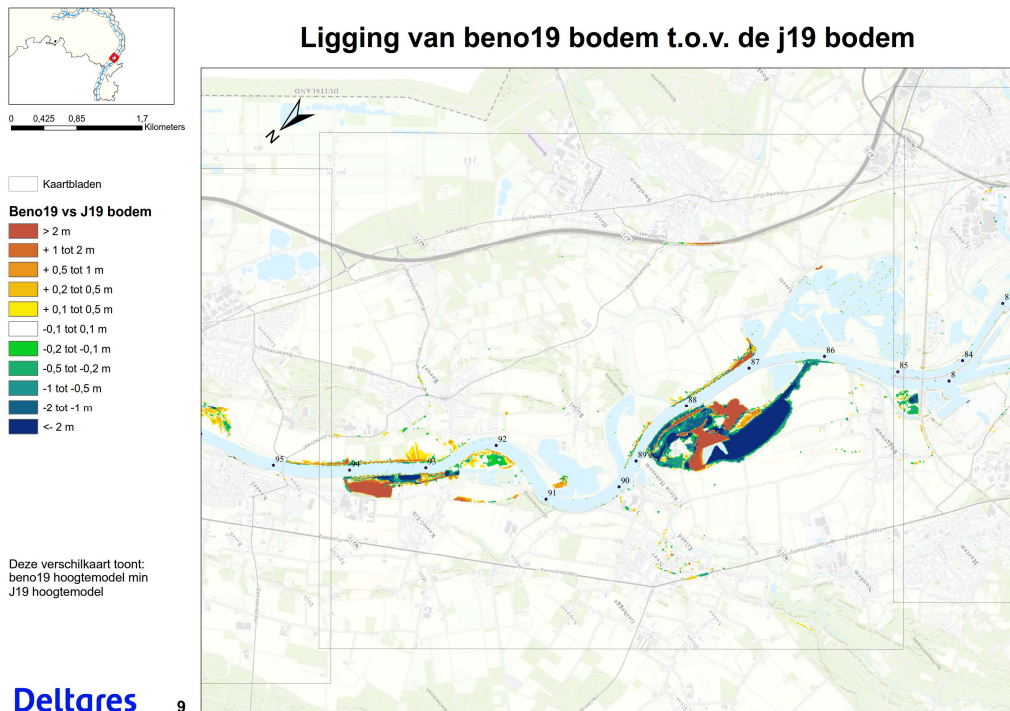


*Figuur 5.4: Verschil in bodemhoogte tussen beno19\_6-w4 en j19\_6-v2 voor o.a. de verlaging van de bodemligging bij het Inlaatwerk Heerenlaak plas bij rkm 53, de verruiming van Geleenbeek/Oude Maasje bij rkm 55 en de verlegging van de monding van de plas bij rkm 57.*

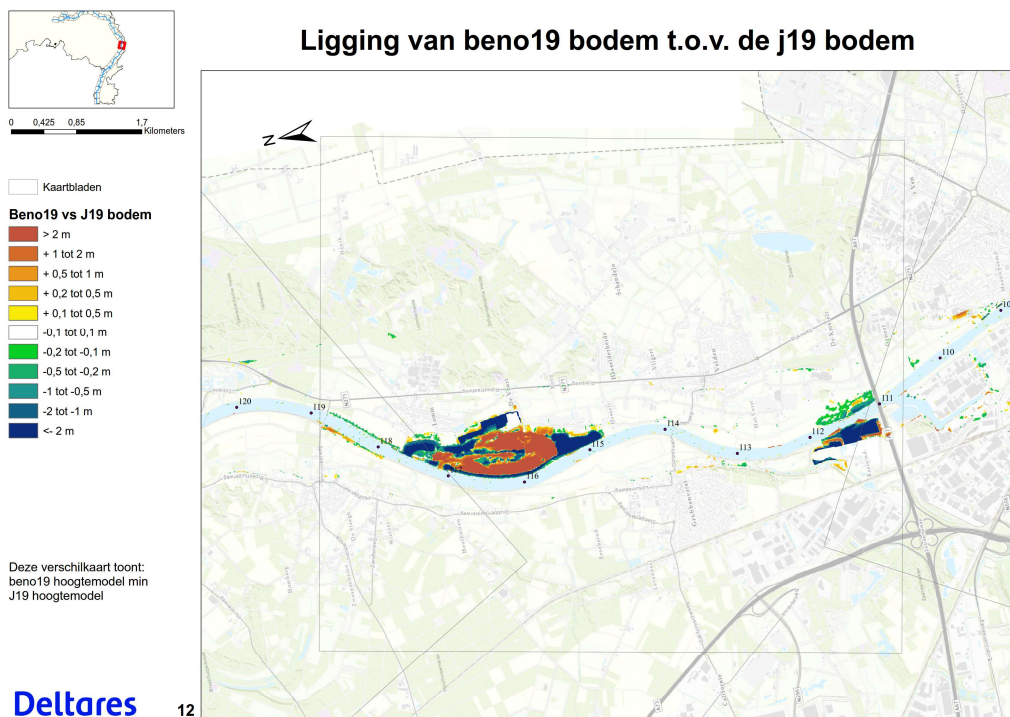
Op het tweede traject van rkm 87 tot 155 (Figuur 5.1) zijn voor de lagere dynamische afvoeren van 2302, 2776 en 3224 m<sup>3</sup>/s de waterstanden in het algemeen lager in beno19\_6-w6 dan in j19\_6-v2a. Bij de afvoeren van 4118 en 5000 m<sup>3</sup>/s is de waterstand juist hoger. Uitzondering hierop is het gedeelte van de Maas vanaf rkm 137 tot rkm 154 waar de waterstand voor de hogere afvoeren juist lager is in het beno19\_6-w6 dan in het j19\_6-v2a model. Binnen dit tweede traject zijn een paar belangrijke pieken in het waterstandsverschil zichtbaar:

- rkm 115: verlaging van de waterstanden wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de geplande verdieping in de ecologische variant van hoogwatergeul Lomm (zie Figuur 5.6).
- rkm 134: De sterke verlaging van de waterstanden wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het geplande ontwerp van Maaspark Well met hoogwatergeul Well-Aijen (zie Figuur 5.7).
- rkm 154: De sterke waterstandsval wordt hier veroorzaakt door het opheffen van de 'flessenhals' in MIRT project Oeffelt.

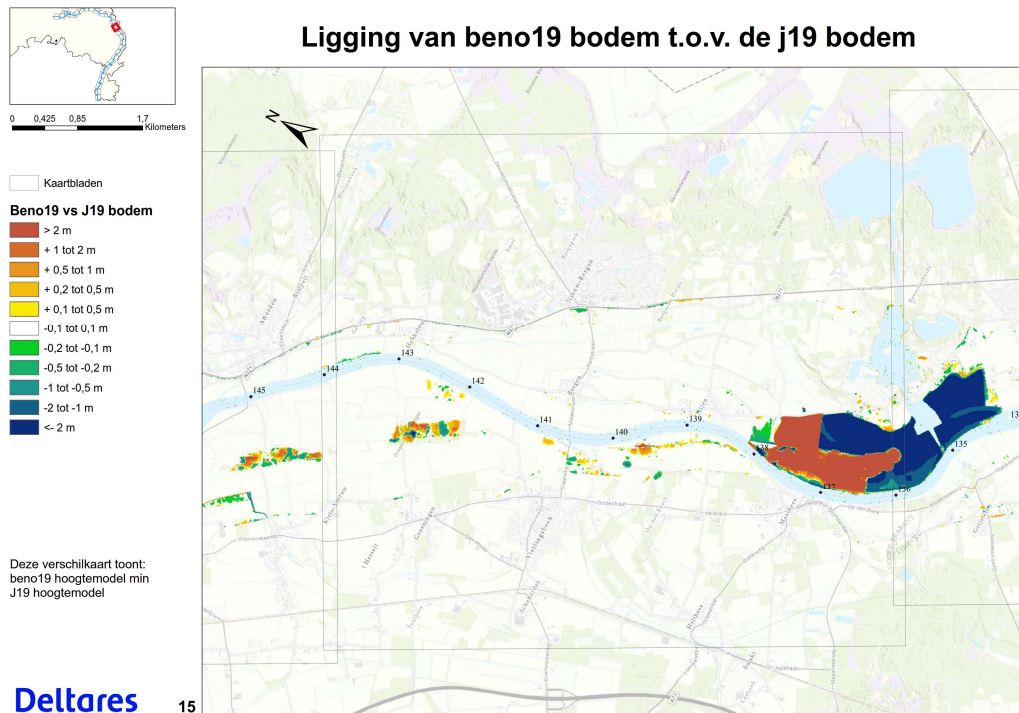




*Figuur 5.5: Verschil in bodemhoogte tussen beno19\_6-w4 en j19\_6-v2 voor o.a. de verlaging van de bodemligging bij het maatregel Meeuwisshof bij rkm 93*



*Figuur 5.6: Verschil in bodemhoogte tussen beno19\_6-w4 en j19\_6-v2 voor o.a. de verlaging van de bodemligging door de geplande verdieping in van hoogwatergeul Lomm (rkm 115-118).*

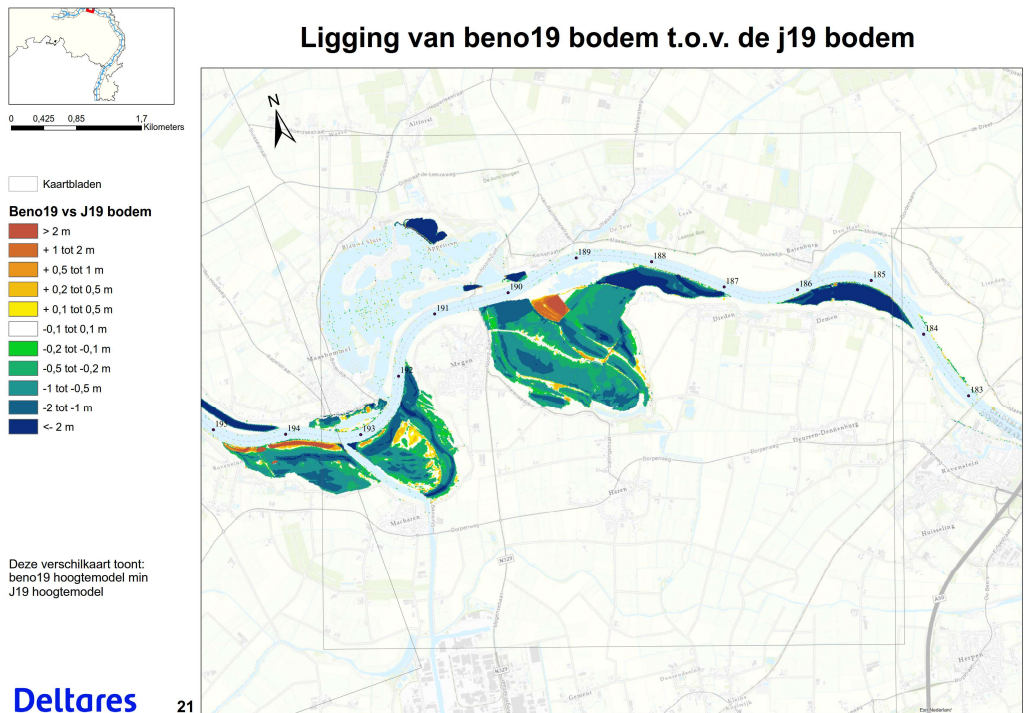


Figuur 5.7: Verschil in bodemhoogte tussen beno19\_6-w4 en j19\_6-v2 voor o.a. de verlaging van de bodemligging door het geplande ontwerp van Maaspark Well (rkm 134,2-138,2).

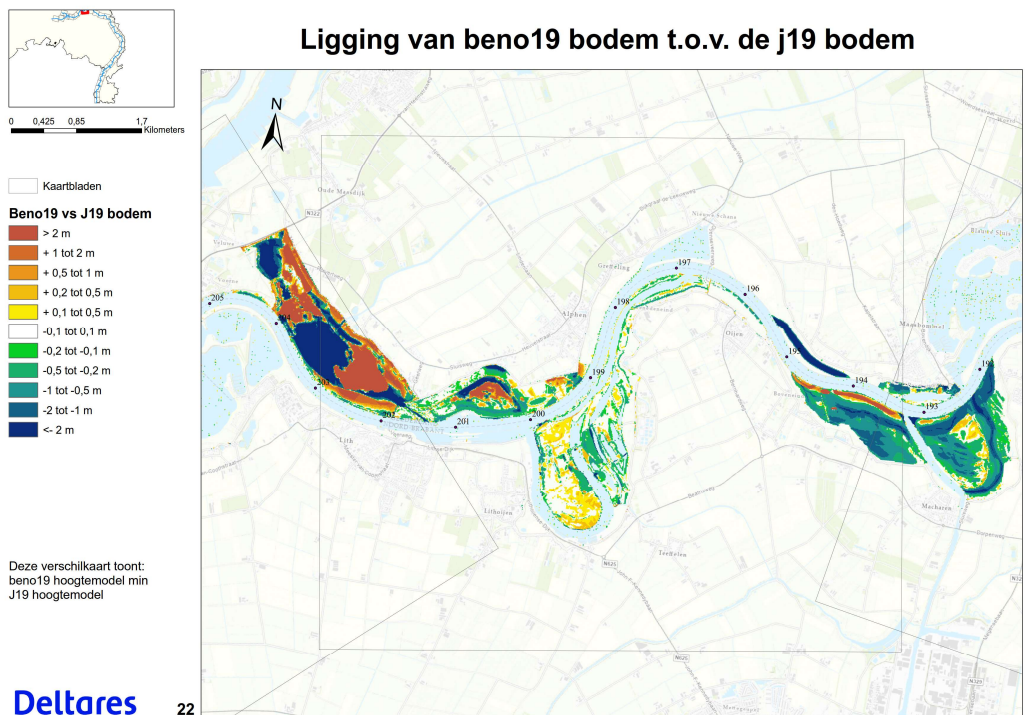
Op het derde traject van rkm 155 tot 247 (Figuur 5.1) is voor de dynamische afvoeren van 5000 m<sup>3</sup>/s de waterstand lager dan in j19\_6-v2a. Vanaf rkm 171 t/m rkm 194 is dat ook het geval voor alle andere dynamische afvoeren. Binnen dit derde traject zijn een paar kleine pieken in het waterstandsverschil zichtbaar:

- rkm 184-189: Op dit traject is de herinrichting van de uiterwaarden bij Demen en Dieden de reden voor de waterstandsdeling (Figuur 5.8).
- rkm 191-194: De waterstandsverlaging wordt hier veroorzaakt door zowel de bodemverlagingen voor de afgravingen, de verruiming en de nieuwe nevengeul/plas aantakkingen in het inrichtingsplan project Meanderende Maas voor locatie Appeltern, Maasbommel (Figuur 5.8 en Figuur 5.9).





*Figuur 5.8: Verschil in bodemhoogte tussen beno19\_6-w4 en j19\_6-v2 voor de herinrichting van de uiterwaarden bij Demen en Dieden (rkm 184-187). Ook is weergegeven de bodemverlaging door de inrichtingsplannen van Meanderende Maas voor locatie Appeltern, Maasbommel (rkm 191-194)*



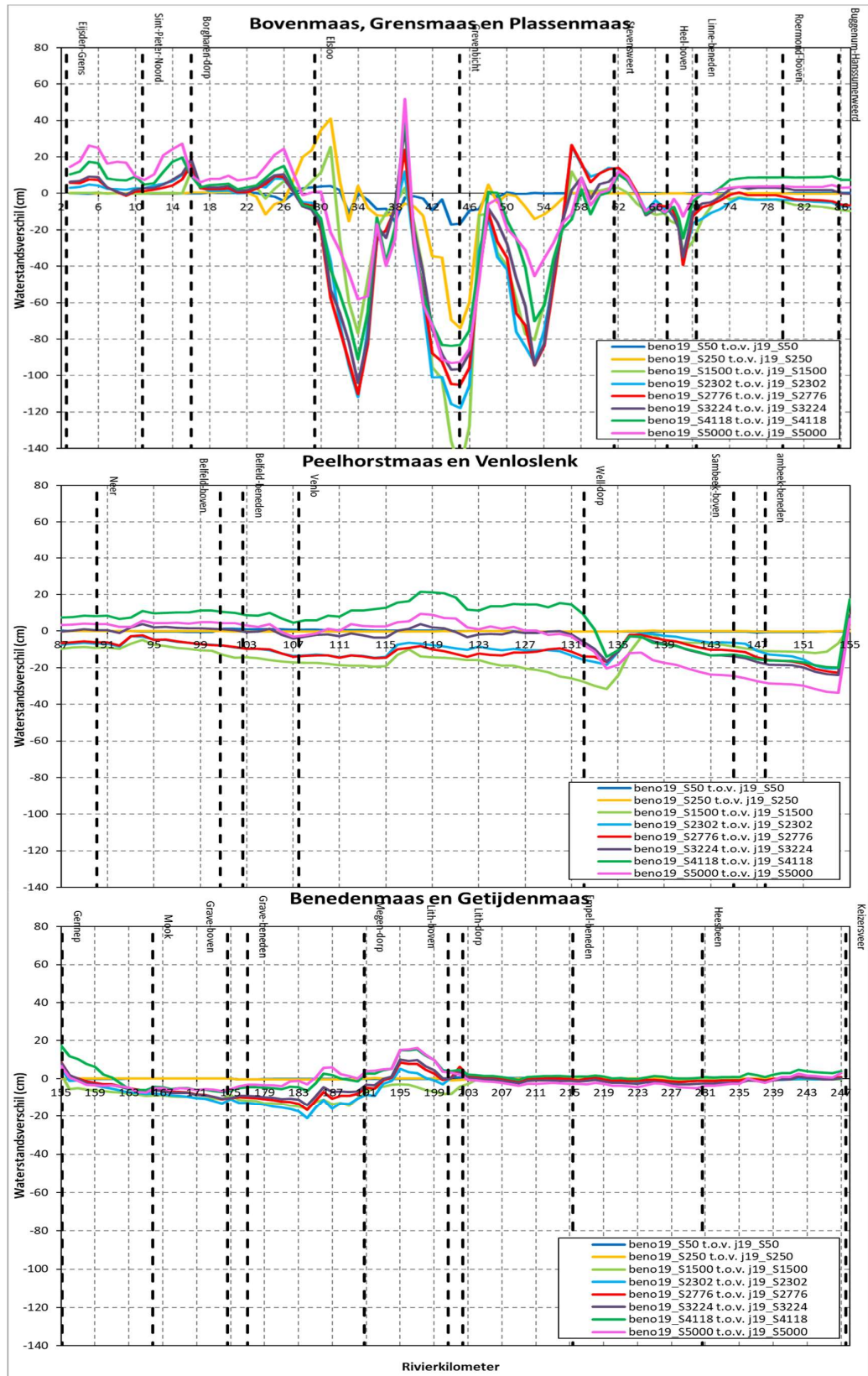
*Figuur 5.9: Verschil in bodemhoogte tussen beno19\_6-w4 en j19\_6-v2 voor project Meanderende Maas voor locatie Appeltern, Maasbommel (rkm 191-194). Ook is weergegeven de door het ontgrondingsproject over de Maas en door de aanleg van de natuurvriendelijke oevers in de Getijde Maas (rkm 200-204)*

### 5.1.2 Stationaire berekeningen

In Figuur 5.10 zijn de last25 waterstandsverschillen op de as van de rivier weergegeven tussen de modelschematisaties beno19\_6-w6 en j19\_6-v2a voor de stationaire (s) berekeningen met een afvoer van respectievelijk 50 m<sup>3</sup>/s, 250 m<sup>3</sup>/s, 1500 m<sup>3</sup>/s, 2302 m<sup>3</sup>/s, 2776 m<sup>3</sup>/s, 3224 m<sup>3</sup>/s, 4118 m<sup>3</sup>/s en 5000 m<sup>3</sup>/s.

Voor de stationaire afvoeren van 2302 m<sup>3</sup>/s, 2776 m<sup>3</sup>/s, 3224 m<sup>3</sup>/s, 4118 m<sup>3</sup>/s en 5000 m<sup>3</sup>/s zijn dezelfde variatie en pieken in de waterstandsverschillen zichtbaar als voor de dynamische berekeningen van deze afvoeren. Echter zijn de grootste verschillen van de stationaire simulaties 5 tot 10 cm lager dan voor de dynamische afvoeren. Dit is met name het geval voor de hogere afvoeren van 4118 en 5000 m<sup>3</sup>/s. Dit wordt veroorzaakt doordat topvervlakking en laterale instromingen resulteren in verschillende absolute waterstanden en daardoor ook in verschillend functioneren van de maatregel.

In Figuur 5.10 is ook zichtbaar dat niet alle maatregelen langs de Maas ook een waterstandverlagend effect hebben bij lage afvoeren. Zo is er bij rkm 53 geen knikpunt in het waterstandsverschil zichtbaar voor de laagste afvoer van 50 m<sup>3</sup>/s. Dit komt waarschijnlijk doordat de inlaatwerken bij Heerenlaak en Contelmo bij deze afvoer en waterstand nog niet meestromen. Dit is ook het geval voor de maatregelen langs de gehele Peelhorstmaas, de Venloslenk, Benedenmaas en Getijdenmaas, waar het verschil tussen het beno19\_6-w6 en het j19\_6-v2a model voor de stationaire afvoeren van 50 en 250 m<sup>3</sup>/s minimaal is.



Figuur 5.10: Verschil in last25 waterstand tussen beno19\_6-w4 en j19\_6-v2 voor afvoer van 50 m<sup>3</sup>/s, 250 m<sup>3</sup>/s, 1500 m<sup>3</sup>/s, 2302 m<sup>3</sup>/s, 2776 m<sup>3</sup>/s, 3224 m<sup>3</sup>/s, 4118 m<sup>3</sup>/s en 5000 m<sup>3</sup>/s aan de hand van een stationaire berekening.

## 5.2 Verschilanalyse beno19\_6 en beno17\_5

In Figuur 5.11 zijn de max13 waterstandsverschillen op de as van de rivier weergegeven tussen de modelschematisaties dflowfm2d-maas-beno19\_6-w6 en waqua-maas-beno17\_5-v1 voor de dynamische (d) berekeningen met een maximale afvoer van respectievelijk 2302 m<sup>3</sup>/s, 2776 m<sup>3</sup>/s, 3224 m<sup>3</sup>/s en 4118 m<sup>3</sup>/s. Opgemerkt wordt dat de lateralen in het vijfde generatie afwijken van de zesde generatie, waardoor mogelijk kleine verschillen in de modelresultaten zullen ontstaan. Daarnaast is de afvoergolf D5000 niet beschikbaar in WAQUA.

De verschillen kunnen komen door verschillen in (plan)maatregelen en bijbehorende bodemhoogtes, maar ook door de verschillende roosters, kalibratiemethodiek, lateralen, rekenpc's en software van de vijfde en zesde generatie. De verschillen kunnen daarom niet altijd geïdentificeerd worden en worden dan ook niet allemaal besproken. De verschillen in bodemhoogtes zijn weergegeven in de kaarten van Appendix F.

Op het eerste traject is tot aan rkm 28 de berekende waterstand in beno19\_6-w6 bij alle dynamische afvoeren hoger dan in beno17\_5-v1. Ook op het traject rkm 56-68 is de berekende waterstand in beno19\_6-w6 bij alle dynamische afvoeren hoger dan in beno17\_5-v1. Op het traject rkm 28 tot 56 is de berekende waterstand in beno19\_6-w6 bij alle dynamische afvoeren voor het merendeel lager dan in beno17\_5-v1. Hier varieert de grootte van waterstandsverschil per afvoer, maar voor alle afvoeren zijn een aantal belangrijke pieken in het waterstandsverschil te zien:

- rkm 35
- rkm 47/48
- rkm 52/53

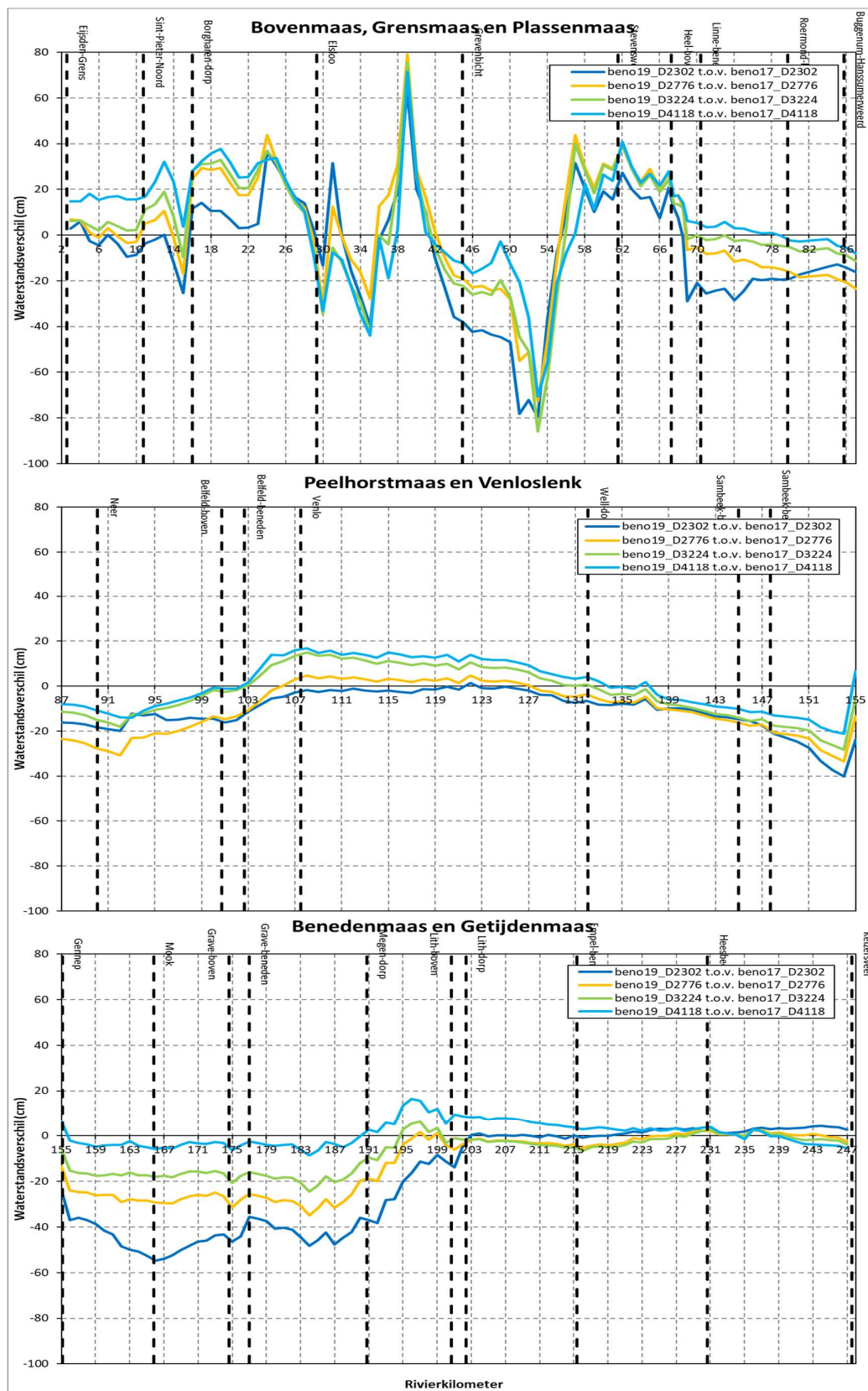
Op het tweede traject van rkm 87 tot 155 zijn de waterstanden van rkm 103 tot 127 hoger in beno19\_6-w6 dan in beno17\_5-v1. Dit verschil in waterstand is het grootst voor de D4118-afvoer maar tussen de hoogste twee afvoeren is het verschil minimaal. Op de overige stukken van dit traject is de waterstand in het beno19\_6-w6 model juist lager dan in beno17\_5-v1. Binnen dit tweede traject zijn een paar grotere pieken in het waterstandsverschil zichtbaar:

- rkm 102-103
- rkm 154: De sterke waterstandsval wordt hier veroorzaakt door het opheffen van de 'flessenhals' en de geplande afgravingen in MIRT project Oeffelt.

Op het derde traject van rkm 155 tot 247 is tot aan rkm 194 de waterstand lager in beno19\_6-w6 dan in beno17\_5-v1. Hierna is de waterstand in zowel het hoogste-afvoerscenario van D4118 als het laagste scenario van D2302 m<sup>3</sup>/s hoger in beno19\_6-w6 dan in beno17\_5-v1. Binnen dit derde traject zijn een paar kleine pieken in het waterstandsverschil zichtbaar:

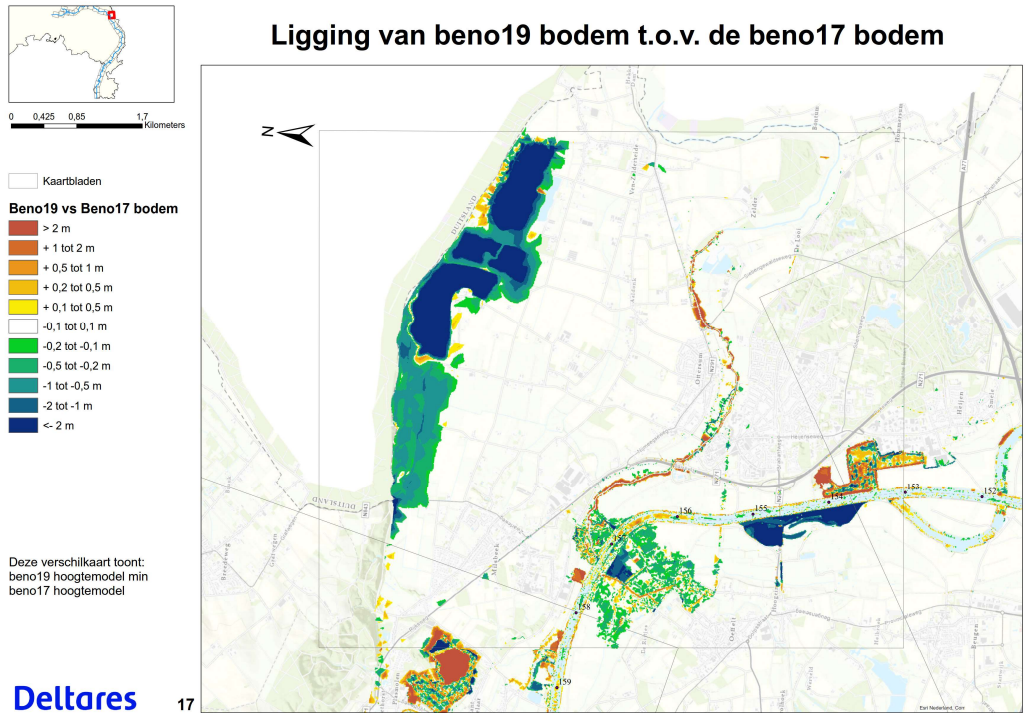
- rkm 184-189: Op dit traject zijn de inrichtingsplannen van Demen Dieden, de Diedensche uiterwaard en de Diedensche Uiterdijk de reden voor de waterstandsval (Figuur 5.13).
- rkm 191-194: Op dit traject zijn de maatregelen van Meanderende Maas toegepast in beno19\_6-w4, welke nog niet zijn geschematiseerd in beno17\_5-v1.



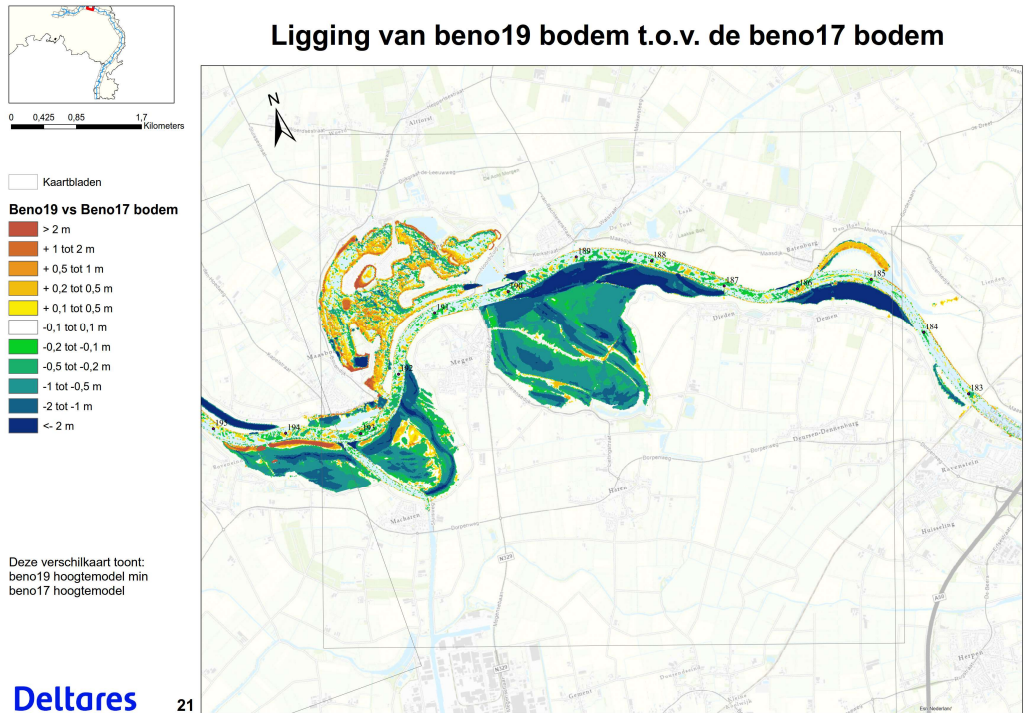


Figuur 5.11: Verschil in waterstand tussen beno19\_6-w4 en beno17\_5-v1 voor afvoergolven van 2302 m<sup>3</sup>/s, 2776 m<sup>3</sup>/s, 3224 m<sup>3</sup>/s en 4118 m<sup>3</sup>/s aan de hand van een dynamische berekening.





Figuur 5.12: Verschil in bodemhoogte tussen beno19\_6-w4 en beno17\_5-v1 voor de inrichtingsplannen bij Oeffelt (rkm 154)



Figuur 5.13: Verschil in bodemhoogte tussen beno19\_6-w4 en beno17\_5-v1 voor de inrichtingsplannen bij Dieden (rkm 184-189)

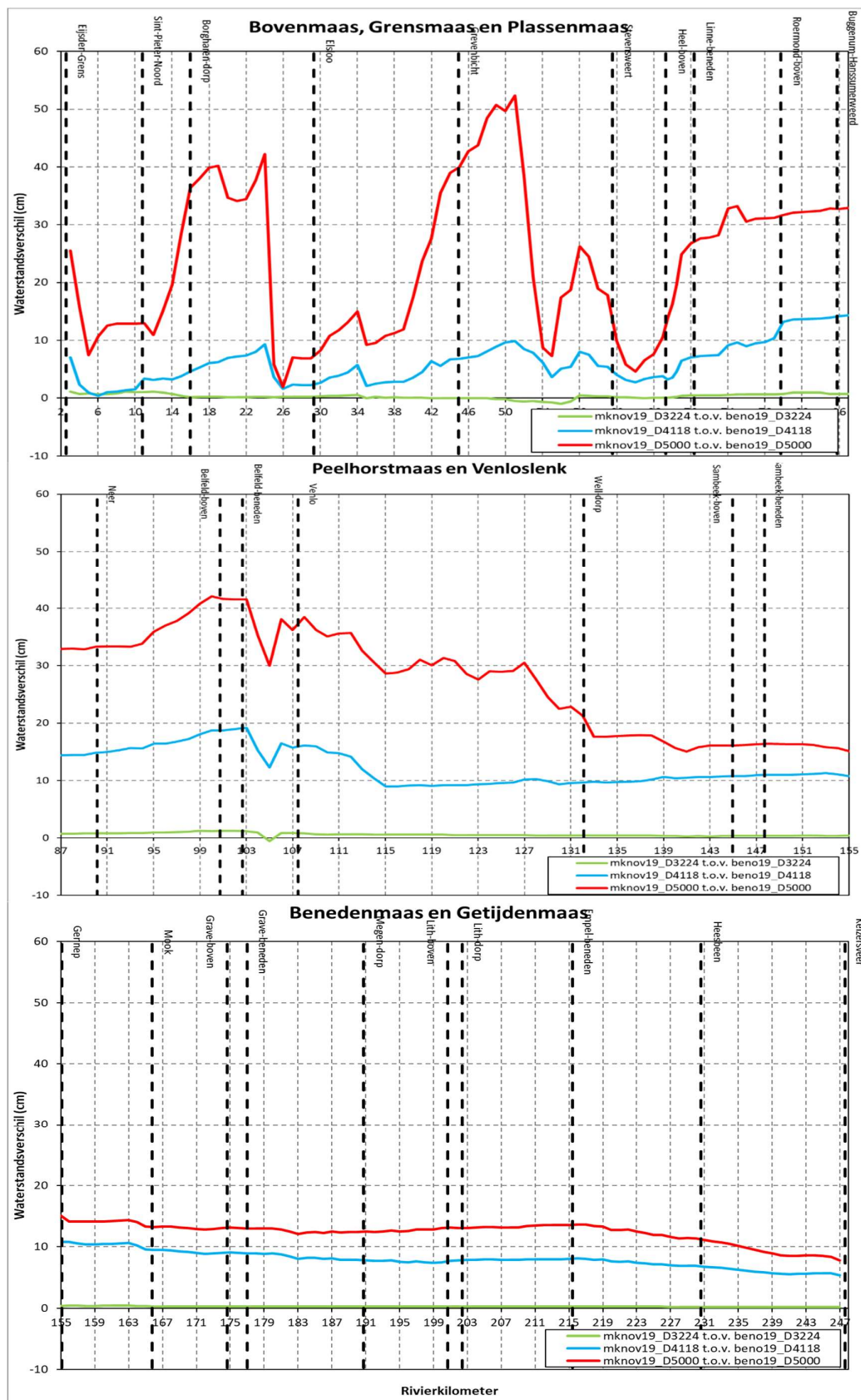
## 5.3 Verschilanalyse beno\_mknov19\_6 en beno19\_6

### 5.3.1 Dynamische berekeningen

In Figuur 5.14 is het waterstandsverschil van het maximum van het lopend gemiddelde over 13 waterstanden (max13) op de rivieras weergegeven tussen de beno\_mknov19\_6-w7 en beno19\_6-w6 modelschematisaties voor de dynamische berekeningen met een maximale afvoer van 3224 m<sup>3</sup>/s, 4118 m<sup>3</sup>/s en 5000 m<sup>3</sup>/s.

Uit de figuur blijkt dat het verschil in de max13 waterstand verwaarloosbaar is voor een afvoer van 3224 m<sup>3</sup>/s. Voor de hogere afvoeren van 4118 m<sup>3</sup>/s en 5000 m<sup>3</sup>/s zijn er wel grotere verschillen tot 51 cm waarneembaar. Deze verschillen nemen toe met de afvoer en zijn het grootst op de Grensmaas (rkm 15-68) omdat daar de grootste reductie in stroomoppervlak ontstaat door het niet-overstroombaar maken van de Maaskades. Daarnaast zorgen de niet-overstroombare kades ook voor een afname van de topvervlakking waardoor over de hele Maas de waterstanden toenemen. In stroomafwaartse richting neemt dit effect langzaam af.

Pieken in het verschil in de waterstanden tussen de beno\_mknov19\_6-w7 en beno19\_6-w6 schematisatie ontstaan met name tussen rkm 12-25, rkm 40-52, rkm 56-60 en vanaf rkm 65.



Figuur 5.14 Verschil in max13 waterstand tussen beno\_mknov19\_6-w4 en beno19\_6-w4 voor een afvoer van 3224 m³/s, 4118 m³/s en 5000 m³/s aan de hand van een dynamische berekening.

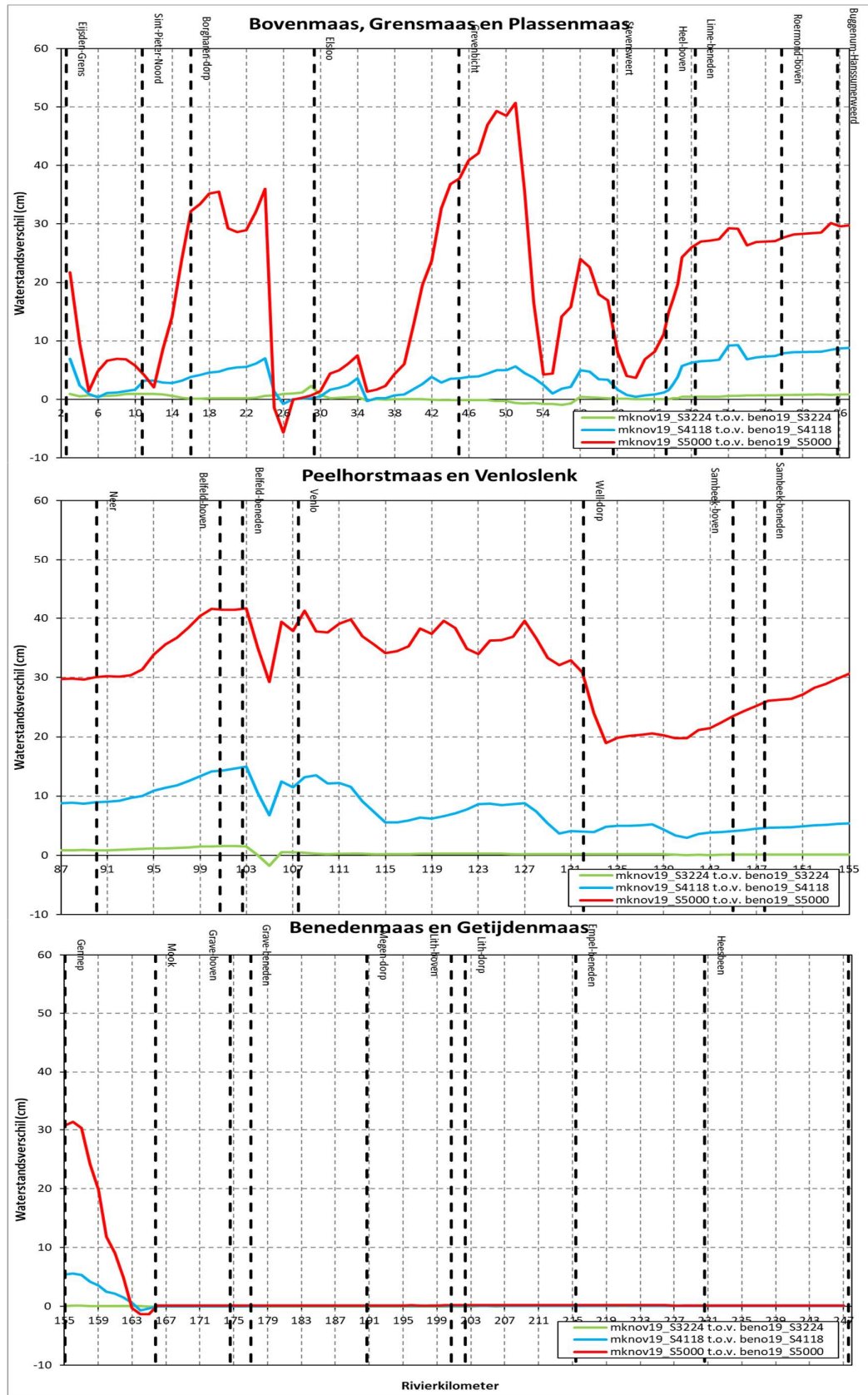
### 5.3.2 Stationaire berekeningen

In Figuur 5.15 zijn de last25 waterstandsverschillen weergegeven voor de rivieras tussen de beno\_mknov19\_6-w7 en beno19\_6-w6 modelschematisaties voor de stationaire (S) berekeningen met een maximale afvoer van respectievelijk 3224 m<sup>3</sup>/s, 4118 m<sup>3</sup>/s en 5000 m<sup>3</sup>/s. De verschillen tussen de simulaties vertonen hetzelfde patroon als voor de dynamische berekeningen welke zijn weergegeven in Figuur 5.14.

De pieken in het verschil vinden ook voor de stationaire berekeningen plaats tussen rkm 12-25, rkm 40-52, rkm 56-60 en vanaf rkm 65. Wel zijn de verschillen tijdens deze pieken ongeveer 3 tot 7 cm kleiner door het ontbreken van het effect van topvervlakking. Bovendien is het verschil op de Bovenmaas en Grensmaas ook een aantal keer negatief voor de simulaties van 3224 en 4228 m<sup>3</sup>/s. Dit laatste impliceert dat de waterstand van de stationaire simulaties daalt doordat de maaskades niet overstroombaar zijn.

In Figuur 5.15 valt vooral op dat benedenstrooms van rkm 160 geen verschillen meer zijn tussen beide modellen. Dit komt omdat de overstroombare keringen (en dus ook de aanpassing naar niet-overstroombaar in beno\_mknov) enkel aanwezig in de Maasvallei en niet meer langs de Bedijkte Maas.





Figuur 5.15 Verschil in last25 waterstand tussen beno\_mknov19\_6-w4 en beno19\_6-w4 voor een afvoer van 3224 m<sup>3</sup>/s, 4118 m<sup>3</sup>/s en 5000 m<sup>3</sup>/s aan de hand van een stationaire berekening.

## 5.4 Instabiliteiten

Ook in het beno19-model worden instabiliteiten gevonden. Omdat dit reeds is gerapporteerd in sectie 3.2 wordt er hier niet verder op ingegaan. De instabiliteiten hebben een identiek karakter en bestaan uit zowel lokale verstoringen in de waterstanden, als schommelingen ten gevolge van de stuwsturing.

## 5.5 Conclusies

Simulaties uitgevoerd met het beno19\_6-model zijn vergeleken met het j19\_6-model en beno17\_5-model. Bij hoge afvoeren ontstaan er in het Beno19\_6-model tot 120 cm lagere waterstanden op de Grensmaas t.g.v. winterbedverruiming. Benedenstrooms van de Grensmaas is het verschil tussen de +20 en -40 cm.

In de vergelijking tussen de dynamische berekeningen van beno19\_6-w6 en beno17\_5-v1 ontstaan de grootste verschillen weer op het eerste traject van de Grensmaas. Het verschil in waterstand varieert tussen -80 en +80 cm op de Grensmaas en tussen -60 en +20 cm benedenstrooms daarvan.

De verschillen tussen beno\_mknov19\_6-w7 en beno19\_6-w6 ontstaan vooral door opstuwung in de Maasvallei, oplopend tot +50 cm (zowel in dynamische als stationaire berekening). Bij Bedijkte Maas zijn er geen verschillen bij stationaire som maar wel verschillen tot +15 cm verschil bij dynamische som door de afname in topvervlakking.

Alle resultaten zijn plausibel en veel zijn te verklaren aan de hand van veranderingen in bodemhoogte of andere maatregelen.



## 6 Beno-model op basis van Baseline-NL

De werkversie van het beno-model zoals dit beschreven staat in hoofdstuk 5, is opgebouwd met maatregelen vanuit het j19\_5-6G-model in Baseline 5 (zie sectie 4.1). Voor de definitieve modellen is het de wens van Rijkswaterstaat dit op te bouwen vanuit een beno-versie van Baseline-NL (baseline\_nl\_land-beno19\_6-v1). Het voordeel van deze aanpak vanuit het landelijke model, is dat consistentie wordt verkregen in de overlapgebieden met andere deelmodellen (zoals het overlapgebied met de Rijn-Maasmonding) en dat vervolgprojecten voortbouwen op uniforme referentie.

De beno-versie van Baseline-NL is een samenvoeging van beno-schematisaties. Voor de Maas is gebruik gemaakt van de werkversie van het beno-model dat beschreven staat in Hoofdstuk 5: baseline-maas-beno19\_6-w6. In Baseline-NL zijn hierop nog enkele beperkte (technische) aanpassingen doorgevoerd middels de volgende G6-maatregelen:

- ma\_bronput\_a9
- ma\_meetp18\_a15
- ma\_struct\_a6
- ma\_hwvprimairekeringen\_a3

Voor het verkrijgen van de beno-schematisatie van de Maas wordt een uitsnede ('clip') gemaakt vanuit dit Baseline-NL (zie ook sectie 2.1). Voor het verkrijgen van de beno\_mknov-schematisatie wordt hier een enkele maatregel (ma\_mknov19\_a1) ingemixt. Voor de hr2023-schematisatie worden deze zelfde stappen doorlopen, maar dan op basis van de Baseline-NL-schematisatie van hr2023 (een variant van beno19, waarin ook de BOI-uitvoerlocaties zijn ingemixt). De definitieve modellen zijn daarmee als volgt tot stand gekomen.

<i>baseline_nl_land-beno19_6-v1</i>	→ <i>Uitsnede</i>	→ <i>maas-beno2019_6-v1</i>
<i>maas-beno2019-v1</i>	→ <i>Inmixen mknov-maatregel</i>	→ <i>maas-beno_mknov2019_6-v1</i>
<i>baseline_nl_land-hr2023_6-v1</i>	→ <i>Uitsnede</i>	→ <i>maas-hr2023_6-v1</i>
<i>maas-hr2023-v1</i>	→ <i>Inmixen mknov-maatregel</i>	→ <i>maas-hr_mknov2023_6-v1</i>

Met deze definitieve schematisaties is geen uitgebreide verschilanalyse (zoals hoofdstuk 5) uitgevoerd. Er is wel een controleberekening uitgevoerd (simulatie D4118) om te valideren dat deze nieuwe projectie gelijke resultaten geeft met het eerder getoetste beno19\_6-w6-model. Hieruit volgt dat de modelresultaten aan elkaar gelijk zijn en de verschilanalyse in hoofdstuk 5 dus ook geldig is voor de definitieve modellen.

## 7 Conclusies

Deze rapportage beschrijft de actualisatie van het zesde-generatie D-HYDRO-model van de Maas.

Dit resulteert allereerst in de modellen **baseline-maas-j19\_6-v2** en **dflowfm2d-maas-j19\_6-v2a**. Ter validatie van het nieuwe model zijn simulaties uitgevoerd met de 13 JAMM-randvoorwaarden van de zesde generatie. Aan RWS-ZN is gevraagd om te beoordelen of de modelresultaten van j19 genoeg vertrouwen geven om akkoord te gaan met dit nieuwe model. Vergelijking door RWS-ZN met betrekkinglijnen en metingen geven voldoende vertrouwen in het model om dit te accepteren.

Na goedkeuring van het **baseline-maas-j19\_6-v2** model zijn ook het **baseline-maas-beno19\_6-w6**-model en het **baseline-maas-beno\_mknov19\_6-w7**-model ontwikkeld voor de Maas. Simulaties zijn uitgevoerd voor **dflowfm2d-maas-beno19\_6-w6** en **dflowfm2d-maas-beno\_mknov19\_6-w7** met de 13 JAMM-randvoorwaarden. Deze zijn vergeleken met het j19\_6-model en beno17\_5-model. De modelresultaten zien er plausibel uit en de grote verschillen tussen beno19\_6 en j19\_6 zijn te verklaren aan de hand van veranderingen in het bodemhoogtemodel in Baseline. Verschillen tussen beno\_mknov19\_6-w7 en beno19\_6-w6 ontstaan vooral op de Grensmaas. Over het algemeen verhogen de niet-overstroombare kades langs de Grensmaas de waterstanden voor de hogere dynamische afvoeren van de beno\_mknov19\_6-w7 modelschematisatie. Deze verhoging kan oplopen tot zo'n 50 cm. Aan RWS-ZN is de conceptversie van deze rapportage voorgelegd ter controle van de modelresultaten. Nadien zijn de resultaten als definitief vrijgegeven.

Voor de definitieve versies van het beno-model is echter niet het bovenstaande model hernoemt naar v1 (zoals gebruikelijk), maar is een nieuwe projectie gemaakt op basis van Baseline-NL (**baseline\_nl\_land-beno19\_6-v1**). Deze resultaten zijn voor een enkele afvoergolf vergeleken met resultaten van beno19\_6-w6 en tonen aan dat beide modellen overeenkomen. Dit resulteert in de modellen **baseline-maas-beno19\_6-v1** en **dflowfm2d-maas-beno19\_6-v1a**. Door inmixen van de mknov-maatregel ontstaan ook de schematisaties **baseline-maas-beno\_mknov19\_6-v1** en **dflowfm-maas-beno\_mknov19\_6-v1a**. Deze zelfde stappen zijn uitgevoerd voor het Baseline-NL model inclusief BOI-uitvoerlocaties (**baseline\_nl\_land-hr2023\_6-v1**). Dit resulteert in de modellen **baseline-maas-hr2023\_6-v1**, **dflowfm2d-maas-hr2023\_6-v1a**, **baseline-maas-hr\_mknov2023\_6-v1** en **dflowfm2d-maas-hr\_mknov2023\_6-v1a**.

## 8 Aanbevelingen

Op basis van de actualisatie worden de volgende aanbevelingen gedaan voor het D-HYDRO model:

- Er zijn schommelingen in de waterstand van Lith Boven door stuwsturing geconstateerd. Verbeteringen zijn doorgevoerd in de logica van de stuwsturing, waardoor bij lage afvoeren de schommelingen zijn verdwenen. Bij een steilere aanloop van een afvoergolf (vanaf D2776) zijn de schommelingen echter nog aanwezig. Geadviseerd wordt om verdere verbeteringen door te voeren aan de stuwsturing.

Op basis van de actualisatie worden de volgende aanbevelingen gedaan voor de Baseline-schematisatie:

- De schematisering van de sluiscomplexen (met name Born, Maasbracht, Heumen, maar ook de overige sluizen) is veel fijner dan de resolutie van het rooster, waardoor de werkelijke stroming hier niet goed gemodelleerd kan worden. In de schematisatie ontbreken soms kades of sluisdeuren. Door RWS-WVL is aangegeven dat deze ontbrekende elementen gecorrigeerd moeten worden in een nieuwe versie van Baseline-NL. Uit de modellering blijkt wel dat dit na discretisatie geen problemen geeft in het leeglopen van de panden. In de huidige modellering worden deze panden enkel voor waterbeheer voldoende gemodelleerd. Aanbevolen wordt om de functie van deze kanalen in het systeem en gewenste modellering en onderzoeksvragen nader uit te werken en mogelijk te verbeteren in de schematisatie. Hierbij kan rekening gehouden worden met de afwijkende uitgangspunten in het model van de Rijn. Mogelijke verbeteringen zijn het maken van 'roosterspecifieke maatregelen' (kunstmatige aanpassingen in de geometrie om het functioneren van de sluiscomplexen in het model te verbeteren) of aanpassingen in het rooster zodat de roosterlijnen aan de binnenkant van de kades vallen.
- In de gebruikte Baseline-NL-schematisatie is gebruik gemaakt van een oude versie van de G6-maatregelen (zie voetnoot 1). Hierdoor is de naamgeving niet overal up-to-date. In een nieuwe versie van Baseline-NL wordt dit gecorrigeerd.
- Er zitten inconsistenties in de kilometrering op het Julianakanaal en Maas-Waalkanaal (ook i.r.t. tot lateralen en meetstations). Het is niet zeker of dit daadwerkelijk een fout is, maar wordt hier aangegeven als aandachtspunt.
- In het model liggen de meetstations Maasbeemder-Greend en Maaseik-Herenlaak bij lage afvoeren droog. Deze stations zijn nu uitgesloten van de analyse. Met RWS-ZN is afgesproken dat in de volgende actualisatie de locatie van de meetstations wordt bijgewerkt door het inmixen van een nieuwe 'meetstations-maatregel'.
- Er zijn in totaal 7 werkversies ontstaan voor het baseline-maas-beno19\_6-w6- en baseline-maas-beno\_mknov19\_6-w7-model. De doorlooptijd van het opbouwen van deze schematisaties was meer dan een jaar. Bij een goede kwaliteitscontrole op Baseline-niveau (bij RWS en/of bij Deltares) zouden een aantal van deze werkversies niet nodig zijn geweest.
- Voor het draaien van het beno- en mknov-model was het nodig om de recursion depth te verhogen. Dit kwam door de samengestelde ruwheidscode 1998. Deze code bleek een combinatie te zijn van 23 codes. In geen van de andere modelschematisaties in Nederland was het verhogen van de recursion depth noodzakelijk. Daarom is de vraag aan Rijkswaterstaat Zuid Nederland waar deze code voor wordt gebruikt en of deze combinatie zo moet blijven bestaan of veranderd zou kunnen en moeten worden.

## 9 Referenties

- De Jong, J.S., Van der Deijl, E. Spruyt, A. (2020) Synthetische randvoorwaarden zesde generatie. Deltares memo 11205258-002-ZWS-0009 concept d.d. 19-11-2020
- Jong, J., de (2021). Ontwikkeling zesde-generatie Maas-model: Modelbouw, kalibratie en validatie. Deltares rapport 11200569-003-ZWS-0014, Versie 1.1, okt 2021
- Minns, T., A.S. Spruyt, D. Kerkhoven (2017). Specificaties zesde-generatie modellen met D-HYDRO: Generieke technische en functionele specificaties. Deltares rapport 11203714-013-ZWS-0001
- Visser, T., Jong, J. de (2020). Vergelijking D-HYDRO-berekeningen Maas j19\_6-w6 t.o.v. j14\_6-v1. Deltares memo 11200569-002-ZWS-0011, Versie 0.6, december 2020

# A Waterstandsverschillen bij meetstations

## A.1 Stationaire afvoeren

In onderstaande tabel zijn de statistische gegevens (bias) weergegeven voor de LMW- en HIC-locaties op de Maas. In de evaluatie van de bias is de eerste dag van de simulatie buiten beschouwing gelaten. Nadere analyse geeft echter aan dat nog steeds een effect van de initiële condities een bijdrage tot enkele millimeters kan hebben in de berekening van de bias.

Gemiddelde waterstandsverschil over 11 dagen (m)	S50	S250	S1500	S2302	S2776	S3224	S4118	S5000
Eijsden-Grens	-0.003	0.018	0.031	0.021	0.020	0.010	0.060	0.138
Sint-Pieter-Noord	-0.009	-0.010	-0.025	-0.014	-0.008	-0.060	-0.102	-0.086
Borgharen-Julianakanaal	0.000	0.000	0.000	-0.025	-0.030	-0.131	-0.161	-0.187
Borgharen-dorp	0.577	0.252	-0.042	-0.012	0.015	0.030	0.102	0.029
Lanaken-Smeermaas	-0.002	-0.072	-0.008	0.085	0.113	0.146	0.164	0.092
Uikhoven	0.342	0.266	0.013	0.067	0.081	0.081	0.084	0.056
Elsloo	0.112	0.015	-0.332	-0.142	-0.086	-0.078	-0.055	-0.016
Eisden-Mazenhoven	0.157	-0.033	-0.400	-0.529	-0.425	-0.383	-0.246	-0.371
Maasbeemder-Greend	-0.255	-0.255	-0.255	-0.680	-0.447	-0.378	-0.233	-0.368
Meeswijk-veer	0.294	0.058	-0.633	-1.121	-1.225	-1.294	-1.261	-1.168
Negenoord	0.132	-0.219	-1.053	-1.267	-1.282	-1.268	-1.086	-0.882
Grevenbicht	0.195	-0.008	-0.554	-0.397	-0.320	-0.285	-0.066	0.130
Rotem	0.195	-0.011	-0.552	-0.391	-0.313	-0.280	-0.063	0.130
Maaseik	0.110	0.141	0.118	0.087	0.092	0.096	0.172	0.097
Maaseik-Herenlaak	-3.133	-3.133	-0.050	-0.077	-0.069	0.058	0.110	0.099
Ophoven-de-Spaenjerd	0.008	0.033	-0.006	-0.108	-0.115	-0.098	-0.113	-0.119
Stevensweert	0.007	0.017	-0.092	-0.119	-0.095	-0.047	-0.011	-0.049
Heel-boven	0.000	0.000	-0.041	-0.009	0.002	-0.001	-0.021	-0.033
Linne-beneden	0.015	0.045	-0.200	-0.285	-0.176	-0.100	-0.074	-0.081
Roermond-boven	0.000	0.000	0.003	-0.104	-0.112	-0.088	-0.094	-0.102
Heel-beneden	0.011	0.033	-0.036	-0.136	-0.132	-0.101	-0.090	-0.091
Buggenum-Hanssummerweerd	0.009	0.030	-0.049	-0.151	-0.151	-0.120	-0.121	-0.132
Neer	0.006	0.024	-0.031	-0.141	-0.139	-0.107	-0.110	-0.124
Belfeld-boven	-0.003	0.000	-0.062	-0.166	-0.149	-0.099	-0.090	-0.097
Belfeld-beneden	0.025	0.054	-0.048	-0.173	-0.150	-0.097	-0.086	-0.093
Venlo	0.021	0.060	-0.015	-0.139	-0.117	-0.059	-0.045	-0.044
Well-dorp	0.000	0.021	0.031	-0.090	-0.097	-0.068	-0.076	-0.086
Sambeek-boven	-0.006	0.000	0.082	0.001	0.009	0.012	0.009	-0.016
Sambeek-beneden	-0.033	0.043	0.059	-0.013	0.000	0.005	0.004	-0.021
Gennepe	-0.040	0.018	0.069	-0.027	-0.022	-0.016	-0.022	-0.050
Mook	-0.045	0.000	0.131	0.079	0.082	0.089	0.058	0.069
Grave-boven	-0.047	-0.010	0.034	-0.025	-0.013	0.000	-0.022	-0.010
Grave-beneden	-0.001	0.028	0.031	-0.046	-0.041	-0.029	-0.050	-0.036
Megen-dorp	-0.005	0.009	0.031	-0.068	-0.083	-0.082	-0.118	-0.123
Lith-boven	-0.006	0.000	0.066	-0.078	-0.119	-0.115	-0.148	-0.165
Lith-dorp	0.021	0.082	0.085	-0.030	-0.056	-0.059	-0.090	-0.098
Empel-beneden	-0.631	-0.191	0.075	0.029	0.014	0.007	-0.033	-0.047
Heesbeen	0.014	0.038	0.048	0.009	-0.031	-0.055	-0.103	-0.144
Keizersveer	0.011	0.023	0.012	0.000	0.005	0.007	-0.002	-0.009
<b>Gemiddelde</b>	<b>-0.050</b>	<b>-0.068</b>	<b>-0.091</b>	<b>-0.159</b>	<b>-0.143</b>	<b>-0.127</b>	<b>-0.103</b>	<b>-0.103</b>
<b>RMS Gemiddelde</b>	<b>0.530</b>	<b>0.510</b>	<b>0.258</b>	<b>0.330</b>	<b>0.320</b>	<b>0.317</b>	<b>0.285</b>	<b>0.264</b>

Tabel A.1: Waterstandsverschillen (bias) van j19\_6-v2 t.o.v. j14\_6-v1 bij stationaire afvoeren op de LMW- en HIC locaties op de Maas. Gemarkeerd zijn de waarden die groter zijn dan 5 cm, vet gemarkeerd zijn verschillen groter dan 10 cm.

## A.2 Hoge afvoergolven

In onderstaande tabel zijn de statistische gegevens (bias en dmax13) weergegeven voor de LMW- en HIC-locaties op de Maas.

	D2302		D2776		D3224		D4118		D5000	
	B	dmax <sub>13</sub>	B	dmax <sub>13</sub>	B	dmax <sub>13</sub>	B	dmax <sub>13</sub>	B	dmax <sub>13</sub>
Eijsden-Grens	0.026	0.023	0.026	0.022	0.023	0.011	0.025	0.058	0.046	0.141
Sint-Pieter-Noord	-0.020	-0.013	-0.017	-0.006	-0.025	-0.058	-0.044	-0.105	-0.051	-0.083
Borgharen-Julianakanaal	-0.011	-0.025	-0.013	-0.028	-0.032	-0.131	-0.071	-0.166	-0.098	-0.185
Borgharen-dorp	-0.012	-0.013	-0.013	0.017	-0.010	0.031	0.020	0.096	0.028	0.031
Lanaken-Smeermaas	-0.006	0.084	0.025	0.115	0.054	0.147	0.100	0.159	0.111	0.094
Uikhoven	0.045	0.066	0.044	0.083	0.049	0.083	0.065	0.079	0.070	0.063
Eisloo	-0.239	-0.148	-0.228	-0.084	-0.213	-0.075	-0.165	-0.062	-0.105	-0.014
Eisden-Mazenhoven	-0.375	-0.578	-0.414	-0.424	-0.432	-0.359	-0.425	-0.251	-0.407	-0.368
Maasbeemder-Greend	-0.734	-1.206	-0.430	-0.446	-0.439	-0.356	-0.461	-0.239	-0.562	-0.365
Meeswijk-veer	-0.633	-1.143	-0.789	-1.225	-0.920	-1.272	-1.104	-1.269	-1.179	-1.167
Negenoord	-1.000	-1.294	-1.091	-1.284	-1.151	-1.249	-1.191	-1.098	-1.159	-0.882
Grevenbicht	-0.473	-0.425	-0.461	-0.321	-0.438	-0.269	-0.351	-0.076	-0.232	0.083
Rotem	-0.471	-0.419	-0.458	-0.315	-0.434	-0.264	-0.347	-0.073	-0.228	0.130
Maaseik	0.114	0.074	0.119	0.091	0.124	0.121	0.141	0.177	0.122	0.100
Maaseik-Herenlaak	-0.042	-0.089	-0.050	-0.075	-0.024	0.128	0.008	0.106	0.023	0.103
Ophoven-de-Spaenjerd	-0.011	-0.117	-0.036	-0.118	-0.049	-0.078	-0.077	-0.112	-0.099	-0.119
Stevensweert	-0.084	-0.127	-0.090	-0.099	-0.083	-0.024	-0.066	-0.012	-0.063	-0.046
Heel-boven	-0.014	-0.031	-0.011	0.106	-0.009	0.015	-0.010	0.007	-0.013	-0.034
Linne-beneden	-0.153	-0.319	-0.182	-0.195	-0.188	-0.097	-0.177	-0.036	-0.158	-0.087
Roermond-boven	-0.028	-0.105	-0.049	-0.121	-0.055	-0.084	-0.073	-0.070	-0.092	-0.121
Heel-beneden	-0.067	-0.135	-0.085	-0.154	-0.088	-0.091	-0.101	-0.081	-0.109	-0.107
Buggenum-Hanssummerweerd	-0.078	-0.149	-0.098	-0.169	-0.103	-0.109	-0.115	-0.103	-0.129	-0.147
Neer	-0.066	-0.140	-0.085	-0.160	-0.089	-0.094	-0.102	-0.097	-0.117	-0.141
Belfeld-boven	-0.099	-0.167	-0.119	-0.184	-0.115	-0.086	-0.113	-0.089	-0.117	-0.112
Belfeld-beneden	-0.092	-0.179	-0.113	-0.191	-0.111	-0.086	-0.111	-0.086	-0.114	-0.107
Venlo	-0.058	-0.141	-0.081	-0.162	-0.079	-0.060	-0.076	-0.052	-0.076	-0.058
Well-dorp	-0.014	-0.089	-0.040	-0.134	-0.045	-0.075	-0.060	-0.086	-0.075	-0.097
Sambeek-boven	0.025	0.009	0.014	-0.017	0.026	0.052	0.016	-0.002	0.000	-0.030
Sambeek-beneden	0.016	-0.006	0.004	-0.026	0.016	0.050	0.006	-0.004	-0.009	-0.035
Gennep	0.020	-0.043	-0.002	-0.048	0.007	0.027	-0.007	-0.028	-0.029	-0.089
Mook	0.079	0.103	0.069	0.063	0.092	0.132	0.084	0.060	0.056	-0.018
Grave-boven	-0.010	-0.004	-0.030	-0.034	-0.006	0.042	-0.008	-0.015	-0.029	-0.084
Grave-beneden	-0.003	-0.023	-0.025	-0.062	-0.013	0.008	-0.027	-0.047	-0.052	-0.111
Megen-dorp	-0.003	-0.057	-0.043	-0.101	-0.038	-0.062	-0.067	-0.131	-0.102	-0.202
Lith-boven	0.035	-0.032	-0.048	-0.149	-0.053	-0.120	-0.087	-0.171	-0.123	-0.241
Lith-dorp	0.025	0.017	0.003	-0.076	-0.004	-0.041	-0.036	-0.104	-0.070	-0.168
Empel-beneden	0.039	0.086	0.037	0.012	0.043	0.052	0.016	-0.037	-0.021	-0.120
Heesbeen	0.026	0.063	0.017	-0.025	0.011	-0.025	-0.033	-0.132	-0.076	-0.202
Keizersveer	0.002	0.011	0.001	0.006	0.010	0.040	0.005	0.008	-0.005	-0.017
<b>Gemiddelde</b>	<b>-0.111</b>	<b>-0.171</b>	<b>-0.122</b>	<b>-0.152</b>	<b>-0.123</b>	<b>-0.108</b>	<b>-0.129</b>	<b>-0.105</b>	<b>-0.134</b>	<b>-0.123</b>
<b>RMS Gemiddelde</b>	<b>0.262</b>	<b>0.375</b>	<b>0.267</b>	<b>0.324</b>	<b>0.283</b>	<b>0.312</b>	<b>0.299</b>	<b>0.288</b>	<b>0.302</b>	<b>0.271</b>

Tabel A.2: Bias en dmax13 waarden (m) van j19\_6-v2 t.o.v. j14\_6-v1 in berekende waterstand bij dynamische afvoeren op de LMW- en HIC locaties op de Maas. Gemarkeerd zijn de waarden die groter zijn dan 5 cm, vet gemarkeerd zijn verschillen groter dan 10 cm.



## B Waterstandsverschillen tussen j19\_6-v2 en j19\_6-v1 bij meetstations

In Tabel B.1 zijn de statistische gegevens voor 2 dynamische afvoergolven (bias en dmax13) en 1 stationaire afvoergolf (bias) weergegeven voor de LMW- en HIC-locaties op de Maas.

De onderstaande vergelijking bevat een verandering in zowel randvoorwaarden (in v1 is een tussenversie gebruikt waaraan nog veel aanpassingen zijn aangebracht), stuwsturing (toevoeging van keersluizen) als eventueel in de geometrie (door overstap naar Baseline-NL). Dit maakt een eerlijke vergelijking lastig. Verdergaande analyse van de verschillen is daarom buiten beschouwing gelaten in deze studie. Aangenomen wordt dat de resultaten van de v2-versie beter zijn/dichter bij de werkelijkheid liggen. Onderstaande tabel dient enkel voor de vergelijking met de eerdere memo Visser & De Jong (2020).

Tabel B.1: Waterstandsverschillen van j19\_6-v2 t.o.v. j19\_6-v1 bij 2 dynamische en 1 stationaire afvoeren op de LMW- en HIC locaties op de Maas. Gemarkeerd zijn de waarden die groter zijn dan 5 cm, vet gemarkeerd zijn verschillen groter dan 10 cm.

FM-j19-v2 minus FM-j19-v1 (m)	D2302 dmax13	D4118 dmax13
Eijsden-Grens	-0.010	0.016
Sint-Pieter-Noord	-0.071	0.061
Borgharen-Julianakanaal	-0.206	0.129
Borgharen-dorp	-0.004	0.106
Lanaken-Smeermaas	0.002	0.061
Uikhoven	0.006	0.077
Elsloo	-0.002	0.068
Eisden-Mazenhoven	-0.003	0.067
Maasbeemder-Greend	-0.165	0.062
Meeswijk-veer	0.004	0.063
Negenoord	0.002	0.064
Grevenbicht	0.002	0.051
Rotem	0.002	0.051
Maaseik	0.004	0.029
Maaseik-Herenlaak	-0.002	0.053
Ophoven-de-Spaenjerd	-0.001	0.034
Stevensweert	0.000	0.034
Heel-boven	-0.005	0.018
Linne-beneden	-0.020	0.020
Roermond-boven	-0.019	0.035
Heel-beneden	-0.023	0.193
Buggenum-Hanssummerweerd	-0.021	0.035
Neer	-0.022	0.035
Belfeld-boven	-0.022	0.042
Belfeld-beneden	-0.026	0.037
Venlo	-0.021	0.036
Well-dorp	-0.014	0.018
Sambeek-boven	-0.007	0.023
Sambeek-beneden	-0.023	0.024
Gennep	-0.038	0.016
Mook	-0.051	0.007
Grave-boven	-0.094	-0.018
Grave-beneden	-0.037	0.005
Megen-dorp	-0.057	-0.006
Lith-boven	-0.105	-0.057
Lith-dorp	-0.048	-0.031
Empel-beneden	-0.079	-0.055
Heesbeen	-0.044	-0.062
Keizersveer	-0.016	-0.071
<b>Gemiddelde</b>	-0.032	0.033
<b>RMS Gemiddelde</b>	0.055	0.060

FM-j19-v2 minus FM-j19-v1 (m)	S1500 Bias
Eijsden-Grens	0.013
Sint-Pieter-Noord	-0.003
Borgharen-Julianakanaal	0.000
Borgharen-dorp	-0.012
Lanaken-Smeermaas	-0.028
Uikhoven	-0.036
Elsloo	-0.027
Eisden-Mazenhoven	-0.047
Maasbeemder-Greend	0.000
Meeswijk-veer	-0.026
Negenoord	-0.059
Grevenbicht	-0.067
Rotem	-0.067
Maaseik	-0.099
Maaseik-Herenlaak	-0.082
Ophoven-de-Spaenjerd	-0.072
Stevensweert	-0.076
Heel-boven	-0.102
Linne-beneden	-0.080
Roermond-boven	-0.120
Heel-beneden	-0.171
Buggenum-Hanssummerweerd	-0.169
Neer	-0.183
Belfeld-boven	-0.198
Belfeld-beneden	-0.192
Venlo	-0.180
Well-dorp	-0.153
Sambeek-boven	-0.146
Sambeek-beneden	-0.214
Gennep	-0.208
Mook	-0.206
Grave-boven	-0.231
Grave-beneden	-0.145
Megen-dorp	-0.127
Lith-boven	-0.165
Lith-dorp	-0.118
Empel-beneden	-0.144
Heesbeen	-0.099
Keizersveer	-0.044
<b>Gemiddelde</b>	-0.105
<b>RMS Gemiddelde</b>	0.126

## C Maatregellijsten beno-modellen

### C.1 Maatregellijsten baseline-maas-beno19\_5-6G-w4

Maatregellijst om van j19\_5-6G-w6 naar j19leg\_5-6G-w1 te geraken  
(maatregel\_lijst\_j19\_5-6G\_j19leg\_5-6G.txt):

```
#
# De naam voor deze variant is : j19leg_5-6G-w1
# De basis voor deze variant is : j19_5-6G-w6
#
# Maatregellijst samengesteld Lianita Suryawinata RWS-ZN
# 30-04-2020
#
d:\baseline\maas\ma_leg20_a1
#
```

Maatregellijst om van j19leg\_5-6G-w1 naar j19vgn\_5-6G-w1 te geraken  
(maatregel\_lijst\_j19leg\_5-6G\_j19vgn\_5-6G.txt):

```
#
# De naam voor deze variant is : j19vgn_5-6G-w1
# De basis voor deze variant is : j19leg_5-6G-w1
#
# Maatregellijst samengesteld Lianita Suryawinata RWS-ZN
# 12-06-2020
# aanpassingen t.o.v. versie 29-05-2020:
# ma_krw_keb_a1 is verwijderd
# ma_krw_bh_u_a1 is gewijzigd en het wordt ma_krw_bh_u_a2
# ma_krw_gk_a2 is toegevoegd
#
# inmixen maatregelen t.g.v. vegetatielegger
#
# maatregelen 2012
..\..\maas_maatr\ma_alem14_a1
..\..\maas_maatr\ma_blmaa13_a1
..\..\maas_maatr\ma_blven13_a1
..\..\maas_maatr\ma_hvven13_a1
..\..\maas_maatr\ma_maasw12_a1
..\..\maas_maatr\ma_nvobg13_a1
..\..\maas_maatr\ma_nvogm12_a1
..\..\maas_maatr\ma_nvow13_a1
..\..\maas_maatr\ma_nvoos13_a1
..\..\maas_maatr\ma_rawei16_a1
..\..\maas_maatr\ma_niftr13_a1
..\..\maas_maatr\ma_sluiheu_a1
..\..\maas_maatr\ma_zbrug14_a1
# maatregelen 2013
..\..\maas_maatr\ma_bberg13_a1
..\..\maas_maatr\ma_borhlan_a1
..\..\maas_maatr\ma_slhee17_a1
# maatregelen 2014
..\..\maas_maatr\ma_stwei16_a1
..\..\maas_maatr\ma_zwvrt15_a1
# maatregelen 2015
..\..\maas_maatr\ma_bstey15_a1
..\..\maas_maatr\ma_gebrk15_a1
..\..\maas_maatr\ma_kanjel_a1
..\..\maas_maatr\ma_kesvar2_a8
..\..\maas_maatr\ma_oudem15_a1
..\..\maas_maatr\ma_vests17_a1
# maatregelen 2016
```

```

..\..\maas_maatr\ma_blslu17_a1
..\..\maas_maatr\ma_empwd17_a1
..\..\maas_maatr\ma_gadm16_a1
..\..\maas_maatr\ma_henwd17_a1
..\..\maas_maatr\ma_krw3blw_a4
..\..\maas_maatr\ma_krw3hrw_a2
..\..\maas_maatr\ma_neerb17_a2
..\..\maas_maatr\ma_vlootbk_a1
..\..\maas_maatr\ma_zgwe116_a2
# maatregelen 2017
..\..\maas_maatr\ma_beeka17_a1
..\..\maas_maatr\ma_genhs17_a1
..\..\maas_maatr\ma_maasb17_a1
..\..\maas_maatr\ma_marin17_a2
..\..\maas_maatr\ma_venwb17_a1
# maatregelen 2018
..\..\maas_maatr\ma_mwbos17_a2
..\..\maas_maatr\ma_oudma18_a1
# maatregelen 2019
..\..\maas_maatr\ma_gekam18_a1
..\..\maas_maatr\ma_janbk18_a1
..\..\maas_maatr\ma_molbk18_a1
..\..\maas_maatr\ma_oefrm18_a1
..\..\maas_maatr\ma_oevbe18_a1
..\..\maas_maatr\ma_oevgr18_a1
..\..\maas_maatr\ma_oevis18_a1
..\..\maas_maatr\ma_oevur18_a1
..\..\maas_maatr\ma_visit18_a1
..\..\maas_maatr\ma_debaend_a3
#
# Maatregelen vergunningen
#
..\..\maas_maatr\ma_erase17_a2
..\..\maas_maatr\ma_hegheum_a1
..\..\maas_maatr\ma_igpmaas_a4
..\..\maas_maatr\ma_igpmaas_a5
..\..\maas_maatr\ma_igpmaas_a7
..\..\maas_maatr\ma_igpmaas_a8
..\..\maas_maatr\ma_igpmaas_b2
..\..\maas_maatr\ma_overdm_a3
..\..\maas_maatr\ma_lldo_a4
..\..\maas_maatr\ma_actberc_a2
#
..\..\maas_maatr\ma_ontberc_a1
..\..\maas_maatr\ma_4esluis_a2
..\..\maas_maatr\ma_cvaiact_a1
..\..\maas_maatr\ma_cvitijd_a3
..\..\maas_maatr\ma_lomplus_a4
..\..\maas_maatr\ma_welruw3_a4
..\..\maas_maatr\ma_nvo2_05_a1
..\..\maas_maatr\ma_nvo2_07_a1
..\..\maas_maatr\ma_nvo2_09_a1
..\..\maas_maatr\ma_nvo2_18_a1
#
..\..\maas_maatr\ma_nvo2_29_a1
..\..\maas_maatr\ma_maash15_a1
..\..\maas_maatr\ma_rosslag_a2
..\..\maas_maatr\ma_dmwwans_a1
..\..\maas_maatr\ma_vgnhb17_a1
..\..\maas_maatr\ma_wijnaer_a2
..\..\maas_maatr\ma_owvarv4_a1
..\..\maas_maatr\ma_owklbuf_a1
..\..\maas_maatr\ma_molen_a1
..\..\maas_maatr\ma_mdbmidl_b1
#
..\..\maas_maatr\ma_mdbrijk_a1
..\..\maas_maatr\ma_mdbstr1_a1
..\..\maas_maatr\ma_mdbven1_b1

```

```

..\..\maas_maatr\ma_ruwsmal_a1
..\..\maas_maatr\ma_smalbrk_a1
..\..\maas_maatr\ma_actloos_a3
..\..\maas_maatr\ma_looska_a2
..\..\maas_maatr\ma_kadevis_a2
#
# maatregelen KRW - verbetering beno17_5
#
..\..\maas_maatr\ma_delzb95_a1
#
..\..\maas_maatr\ma_krw_mol_a1
..\..\maas_maatr\ma_krw_kon_a1
..\..\maas_maatr\ma_krw_bug_a1
..\..\maas_maatr\ma_krw_al_a1
..\..\maas_maatr\ma_krw_bie_a1
..\..\maas_maatr\ma_krw_wbm_a1
..\..\maas_maatr\ma_krw_wrv_a1
..\..\maas_maatr\ma_krw_stb_a1
..\..\maas_maatr\ma_krw_vvn_a1
..\..\maas_maatr\ma_krw_arb_a1
..\..\maas_maatr\ma_krw_ar_a1
..\..\maas_maatr\ma_krw_ar2_a1
..\..\maas_maatr\ma_krw_wan_a1
..\..\maas_maatr\ma_krw_vmz_a1
..\..\maas_maatr\ma_krw_brg_a1
..\..\maas_maatr\ma_krw_hlg_a1
..\..\maas_maatr\ma_krw_zom_a1
..\..\maas_maatr\ma_krw_oef_a1
..\..\maas_maatr\ma_krw_cuy_a1
..\..\maas_maatr\ma_krw_ooy_a1
..\..\maas_maatr\ma_krw_mar_a1
..\..\maas_maatr\ma_krw_eva_a1
..\..\maas_maatr\ma_krw_pal_a1
..\..\maas_maatr\ma_krw_bw_a1
..\..\maas_maatr\ma_krw_kow_a1
..\..\maas_maatr\ma_krw_hoe_a1
..\..\maas_maatr\ma_krw_hw_a1
..\..\maas_maatr\ma_krw_hbw_a1
..\..\maas_maatr\ma_krw_bok_a1
..\..\maas_maatr\ma_krw_wel_a1
..\..\maas_maatr\ma_krw_bhu_a2
..\..\maas_maatr\ma_krw_cu_a1
..\..\maas_maatr\ma_krw_gk_a2
#
# maatregelen maaswerken, vlaanderen, overige vergunningen
#
..\..\maas_maatr\ma_mwjulka_a1
..\..\maas_maatr\ma_mwbos17_a1
..\..\maas_maatr\ma_mwmmu17_a1
..\..\maas_maatr\ma_mwgre17_a1
..\..\maas_maatr\ma_mwkoe15_a3
..\..\maas_maatr\ma_mwdrp19_a1
..\..\maas_maatr\ma_inlkwbo_a1
..\..\maas_maatr\ma_meesref_a1
..\..\maas_maatr\ma_meesmol_a1
..\..\maas_maatr\ma_booveuz_a1
..\..\maas_maatr\ma_booveuz_b1
..\..\maas_maatr\ma_bvdijk_a1
..\..\maas_maatr\ma_mhegveg_a1
..\..\maas_maatr\ma_rsmow17_a2
..\..\maas_maatr\ma_grm3g17_a1
..\..\maas_maatr\ma_elerwrt_a1
..\..\maas_maatr\ma_ermpwkd_a1
..\..\maas_maatr\ma_konings_a1
..\..\maas_maatr\ma_maash19_a1
..\..\maas_maatr\ma_mbvar2w_a1
..\..\maas_maatr\ma_kadm19_a1
..\..\maas_maatr\ma_recplas_a2

```

```
..\..\maas_maatr\ma_bveind_b2
..\..\maas_maatr\ma_kadab84_a1
..\..\maas_maatr\ma_vis17ep_a1
..\..\maas_maatr\ma_hrwrddo_a3
..\..\maas_maatr\ma_keentf1_a1
..\..\maas_maatr\ma_nvo2p17_a1
..\..\maas_maatr\ma_verkorn_a1
..\..\maas_maatr\ma_odm80m_a1
..\..\maas_maatr\ma_meeuw_b1
..\..\maas_maatr\ma_wijn_b1
#
# einde
#
```

Maatregellijst om van j19vgn\_5-6G-w1 naar beno19\_5-6G-w1 te geraken  
(maatregel\_lijst\_j19vgn\_5-6G\_beno19\_5-6G.txt):

```
#
# De naam voor deze variant is : beno19_5-6G
# De basis voor deze variant is : j19vgn_5-6G
#
# Maatregellijst samengesteld Lianita Suryawinata RWS-ZN
# 12-06-2020
# aanpassingen t.o.v. versie 30-04-2020:
# maatregelen Noordelijke sectors zijn toegevoegd
#
# maatregelen van MIRT projecten zoals Meanderende Maas
#
# Aangevuld met maatregel ma_mazmees_a1 op 1-7-2020. Jurjen de Jong Deltares
#
..\..\maas_maatr\ma_Ddbvar_a1
..\..\maas_maatr\ma_oevdeme_a1
..\..\maas_maatr\ma_oevdied_a1
..\..\maas_maatr\ma_dem9010_a1
..\..\maas_maatr\ma_uitdijk_a1
..\..\maas_maatr\ma_mmmvka1_a1
..\..\maas_maatr\ma_mmgapp_a1
..\..\maas_maatr\ma_mmsbom_a1
..\..\maas_maatr\ma_mmgmsb_a1
..\..\maas_maatr\ma_mmmvka2_a1
..\..\maas_maatr\ma_oefvar3_a1
#
# maatregelen van het HWBP programma
#
..\..\maas_maatr\ma_hwbpmv_a1
..\..\maas_maatr\ma_pplvg35_a1
..\..\maas_maatr\ma_pmmrb35_a1
#
# maatregelen van Noordelijke Sector
#
..\..\maas_maatr\ma_gbencon_a1
..\..\maas_maatr\md_fh17ii_a1
#
# maatregel Mazenhoven-Meeswijk
#
..\..\maas_maatr\ma_mazmees_a1
#
#
# einde
#
```



Maatregellijst om van beno19\_5-6G-w1 naar beno19\_5-6G-w3 te geraken  
(maatregel\_ljst\_beno19\_5-6G-w1\_beno19\_5-6G-w3.txt):

```
#
# De naam voor deze variant is : beno19_5-6G-w3
# De basis voor deze variant is : beno19_5-6G-w1
#
# Maatregellijst samengesteld Lianita Suryawinata RWS-ZN
# 28-08-2020
# correctie beno19_5-6G-w1
#
# ..\..\maas_maatr_w2\ma_erasTmp_a1
# ..\..\maas_maatr_w2\ma_CrBn019_a1
# ..\..\maas_maatr\ma_rsmow17_a2
# ..\..\maas_maatr_w2\ma_mwdrp19_a2
# ..\..\maas_maatr_w2\ma_vsgre20_a3
#
#
# einde
#
```

Maatregellijst om van beno19\_5-6G-w3 naar beno19\_5-6G-w4 te geraken  
(maatregel\_ljst\_beno19\_5-6G-w3\_beno19\_5-6G-w4.txt):

```
#
# De naam voor deze variant is : beno19_5-6G-w4
# De basis voor deze variant is : beno19_5-6G-w3
#
# Maatregellijst samengesteld Lianita Suryawinata RWS-ZN
# 05-03-2021
# correctie beno19_5-6G-w3
#
# ..\..\maas_maatr_w4\ma_CrHvSam_a1
# ..\..\maas_maatr_w4\ma_CrBn019_a2
#
#
# einde
#
```

## C.2 Maatregellijst baseline-maas-beno\_mknov19\_5-6G-w4

Maatregellijst om van beno19\_5-6G-w4 naar mknov19\_5-6G-w4 te geraken (maatregel\_lijst\_beno19\_5-6G-w4\_mknov19\_5-6G-w4.txt):

```
#
# De naam voor deze variant is : mknov19_5-6G-w4
# De basis voor deze variant is : beno19_5-6G-w4
#
# Maatregellijst samengesteld Lianita Suryawinata RWS-ZN
# 03-07-2020
#
# maatregel niet-overstroombare kaden
#
# ..\..\maas_maatr\ma_mknov19_a1
#
# einde
#
```

## C.3 Maatregellijsten baseline 6

Maatregellijsten om van beno19\_5-6G-w4 naar beno19\_6-w4.1 te geraken (measure\_list\_6G\_p1.txt en measure\_list\_6G\_p2.txt):

```
#####
#
# De naam voor deze variant is : Definitieve variant beno19_6-w4.1
# De basis voor deze variant is : Geconverteerde beno19_5-6G-w4
#
#####
#
#
# ..\..\maas_6_maatr\ma_bronput_a7
# ..\..\maas_6_maatr\ma_bruggen_a4
# ..\..\maas_6_maatr\ma_kalibf_a7
# ..\..\maas_6_maatr\ma_meetp18_a13
# ..\..\maas_6_maatr\ma_Qraai6G_a8
# ..\..\maas_6_maatr\ma_seckeiz_a1
# ..\..\maas_6_maatr\ma_struct_a5
# ..\..\maas_6_maatr\ma_zomerb_a3
#
# vanaf j10 en j14
# ..\..\maas_6_maatr\hu_kromnol_a1
#
#
#
```

```
#####
#
# De naam voor deze variant is : Definitieve variant beno19_6-w4.2
# De basis voor deze variant is : Geconverteerde beno19_6-w4.1
#
#####
#
#
# ..\..\maas_6_maatr\ma_meetp18_a14
# ..\..\maas_6_maatr\ma_bronput_a8
# ..\..\maas_6_maatr_benoBOI\ma_hwvlprimairekeringen_a1
#
#
#
#
```

Maatregellijsten om van beno19\_6-w4.2 naar beno19\_6-w6 te geraken  
(measure\_list\_6G\_beno19\_6\_w4\_beno19\_6\_w6.txt):

```
#####  
#  
# De naam voor deze variant is : Definitieve variant beno19_6-w6  
# De basis voor deze variant is : Geconverteerde beno19_6-w4.2  
#  
#####  
#  
#  
#  
# ..\..\maas_maatr6\Ma_updatebandijkenvbeno_a2  
# ..\..\maas_maatr6\Ma_crosssectiesperkm_a1  
#  
# einde  
#
```

Maatregellijsten om van mknov19\_5-6G-w4 naar mknov19\_5-6G-w7 te geraken  
(measure\_list\_6G\_mknov.txt):

```
#####  
#  
# De naam voor deze variant is : Definitieve variant mknov19_6-w7  
# De basis voor deze variant is : Geconverteerde mknov19_6-w4  
#  
#####  
#  
#  
#  
# ..\..\maas_6_maatr\ma_bronput_a8  
# ..\..\maas_6_maatr\ma_bruggen_a4  
# ..\..\maas_6_maatr\ma_kalibf_a7  
# ..\..\maas_6_maatr\ma_meetp18_a14  
# ..\..\maas_6_maatr\ma_Qraai6G_a8  
# ..\..\maas_6_maatr\ma_seckeiz_a1  
# ..\..\maas_6_maatr\ma_struct_a5  
# ..\..\maas_6_maatr\ma_zomerb_a3  
# ..\..\maas_6_maatr\ma_hwv\primairekeringen_a1  
#  
# vanaf j10 en j14  
# ..\..\maas_6_maatr\hu_kromnol_a1  
#  
# ..\..\maas_6_maatr\Ma_updatebandijkenvbeno_a2  
# ..\..\maas_6_maatr\Ma_crosssectiesperkm_a1  
#  
# einde  
#
```

## D Overzicht randvoorwaarden beno19\_6-w4

<i>Naam</i>	<i>Situatie</i>	<i>Bovenstroomse randvoorwaarde bij Borgharen (max. afvoer) in m<sup>3</sup>/s</i>	<i>Zijdelingse debieten</i>	<i>Bovenstroomse en Benedenstroomse randvoorwaarde (Lixhe en Keizersveer)</i>
S50	Stationair	50	Maas_S50_lat.bc	Maas_S50_bnd.bc
S250	Stationair	250	Maas_S250_lat.bc	Maas_S250_bnd.bc
S1500	Stationair	1500	Maas_S1500_lat.bc	Maas_S1500_bnd.bc
S2302	Stationair	2302	Maas_S2302_lat.bc	Maas_S2302_bnd.bc
S2776	Stationair	2776	Maas_S2776_lat.bc	Maas_S2776_bnd.bc
S3224	Stationair	3224	Maas_S3224_lat.bc	Maas_S3224_bnd.bc
S4118	Stationair	4118	Maas_S4118_lat.bc	Maas_S4118_bnd.bc
S5000	Stationair	5000	Maas_S5000_lat.bc	Maas_S5000_bnd.bc
D2302	Dynamisch	2302	Maas_D2302_lat.bc	Maas_D2302_bnd.bc
D2776	Dynamisch	2776	Maas_D2776_lat.bc	Maas_D2776_bnd.bc
D3224	Dynamisch	3224	Maas_D3224_lat.bc	Maas_D3224_bnd.bc
D4118	Dynamisch	4118	Maas_D4118_lat.bc	Maas_D4118_bnd.bc
D5000	Dynamisch	5000	Maas_D5000_lat.bc	Maas_D5000_bnd.bc

# E Verschilkaarten bodemhoogtes beno19\_6-w4 en j19\_6-w6

Opgeleverd als losse PDF

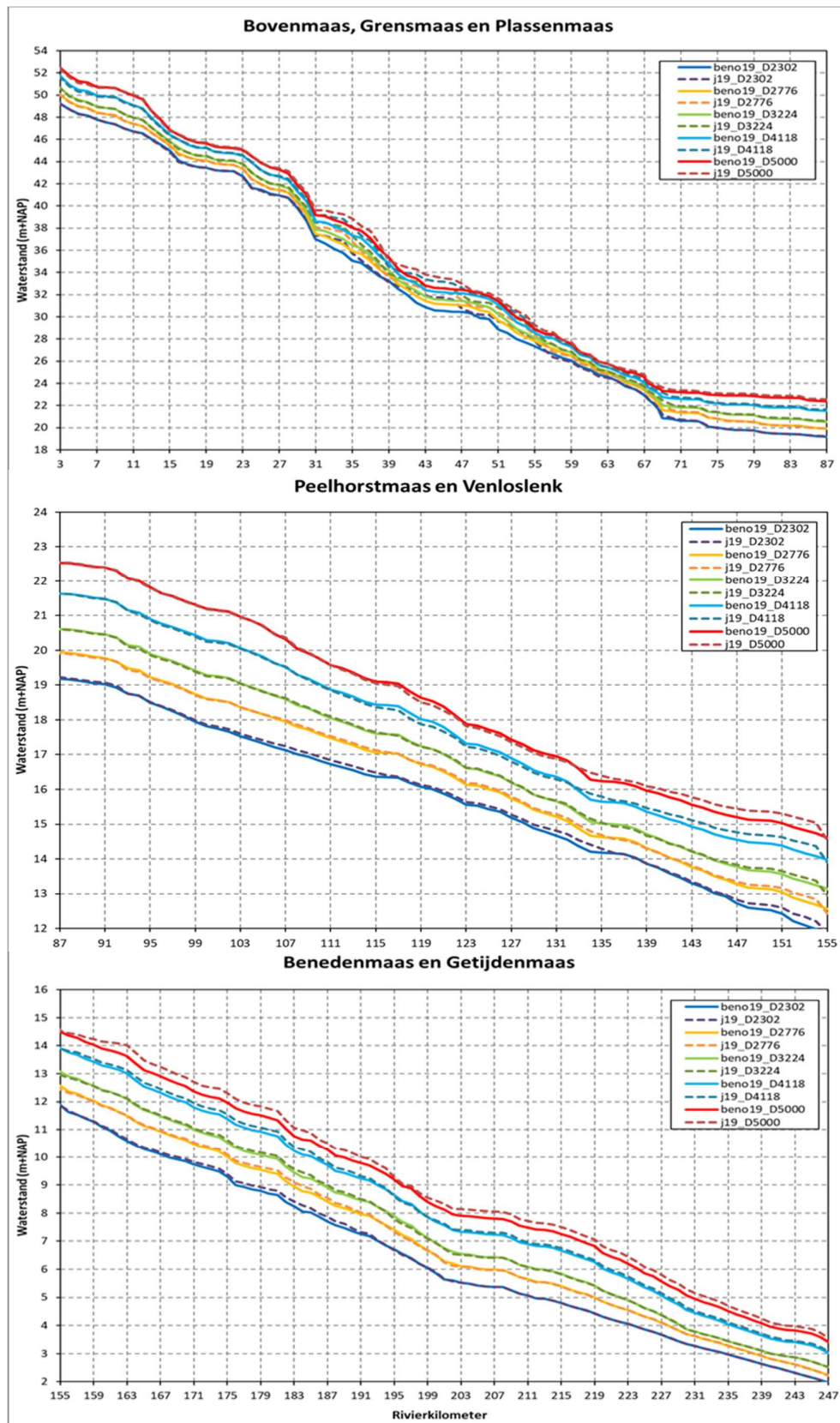


# F Verschilkaarten bodemhoogtes beno19\_6-w4 en beno17\_5-v1

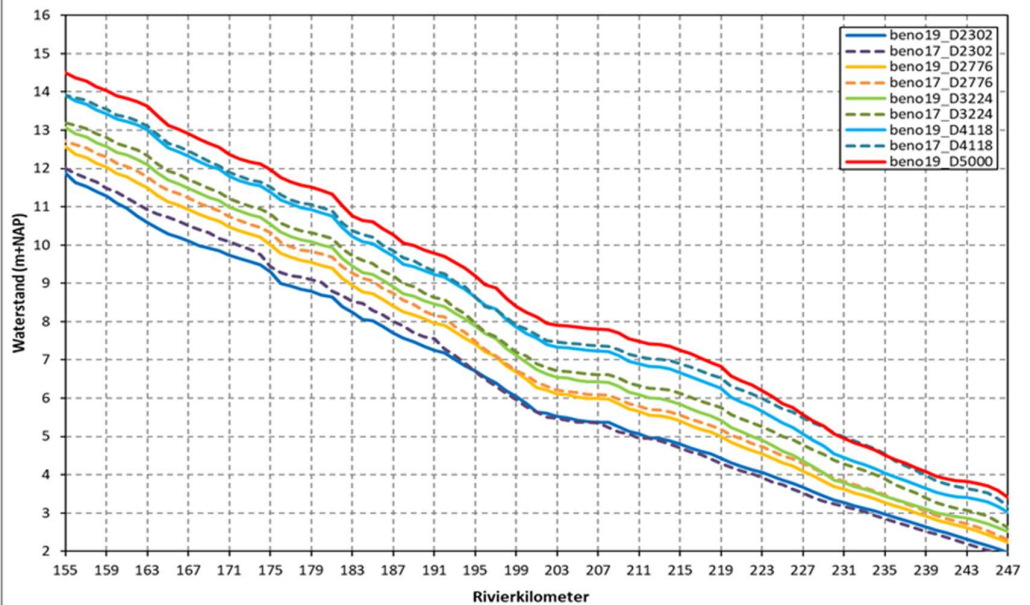
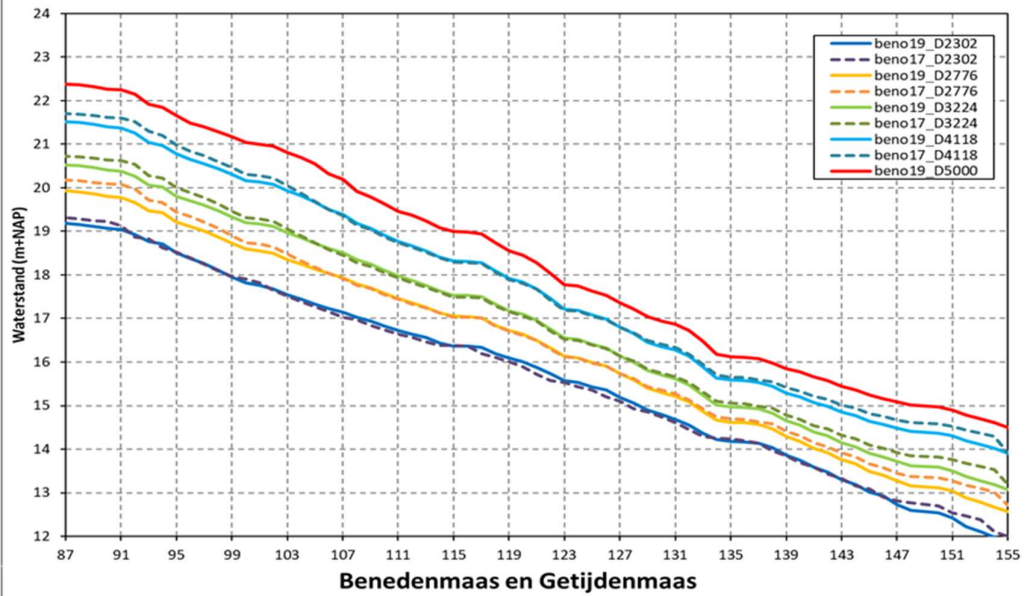
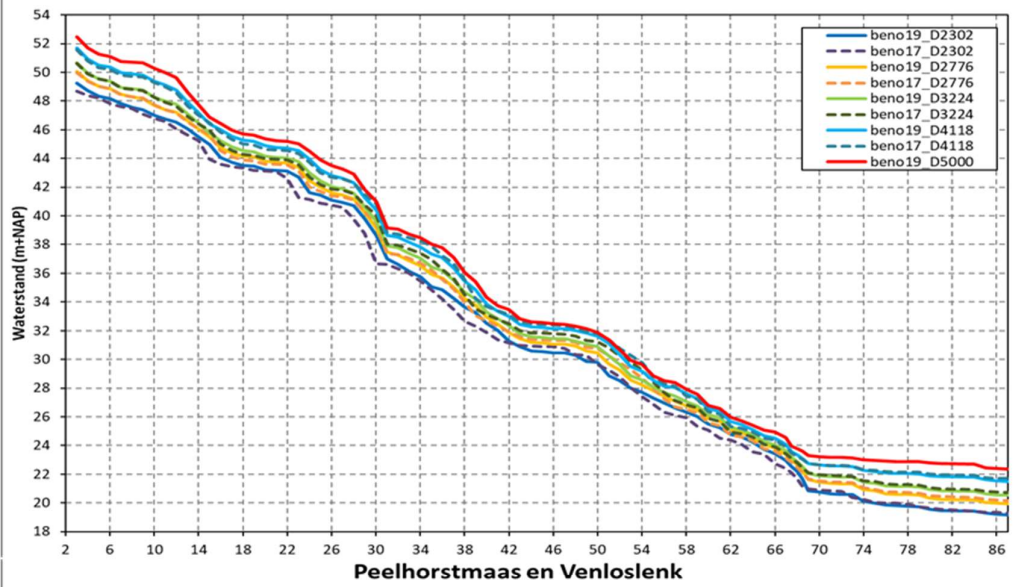
Opgeleverd als losse PDF

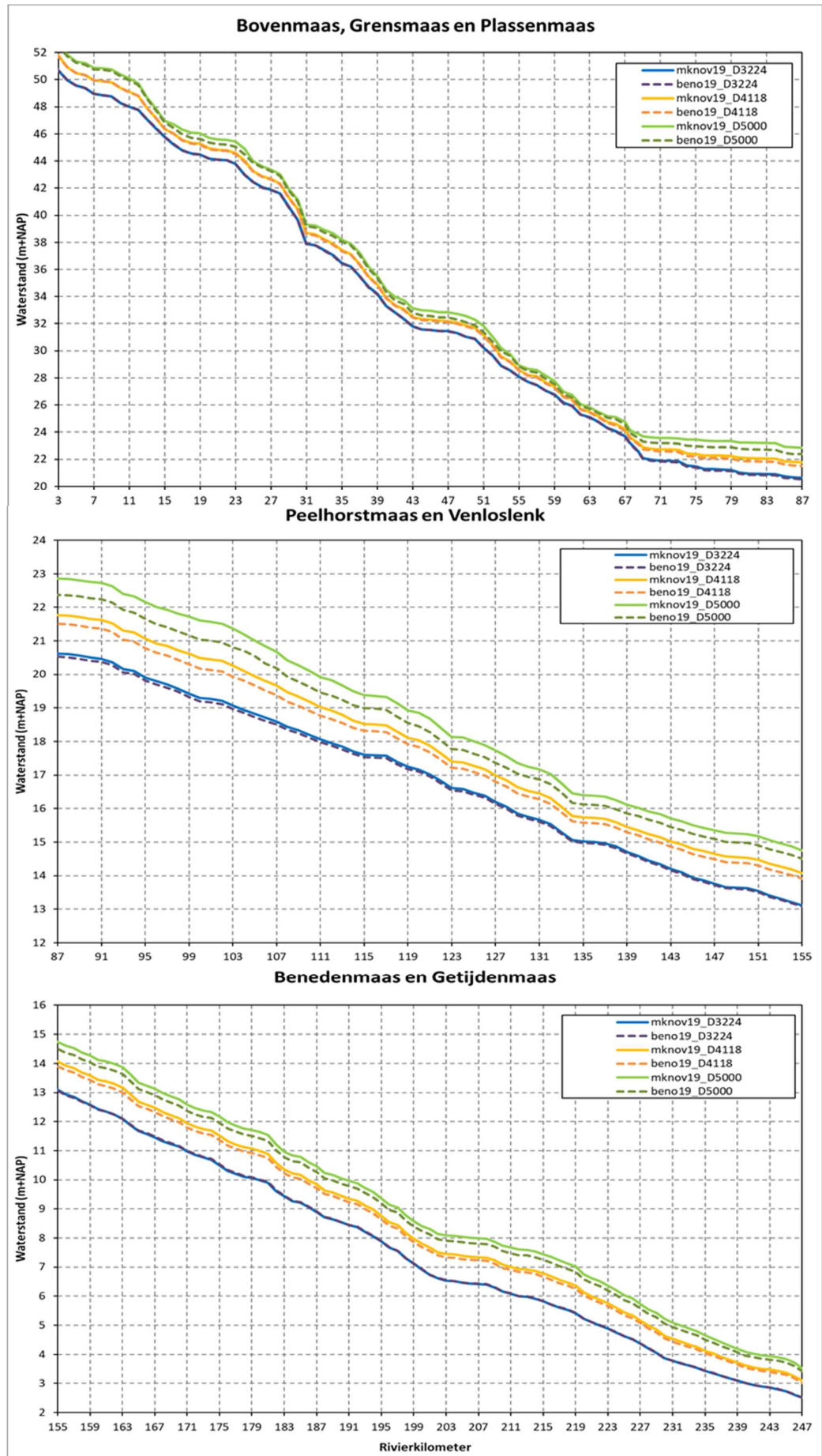
# G Absolute waterstanden

## G.1 Dynamische berekeningen (max13)



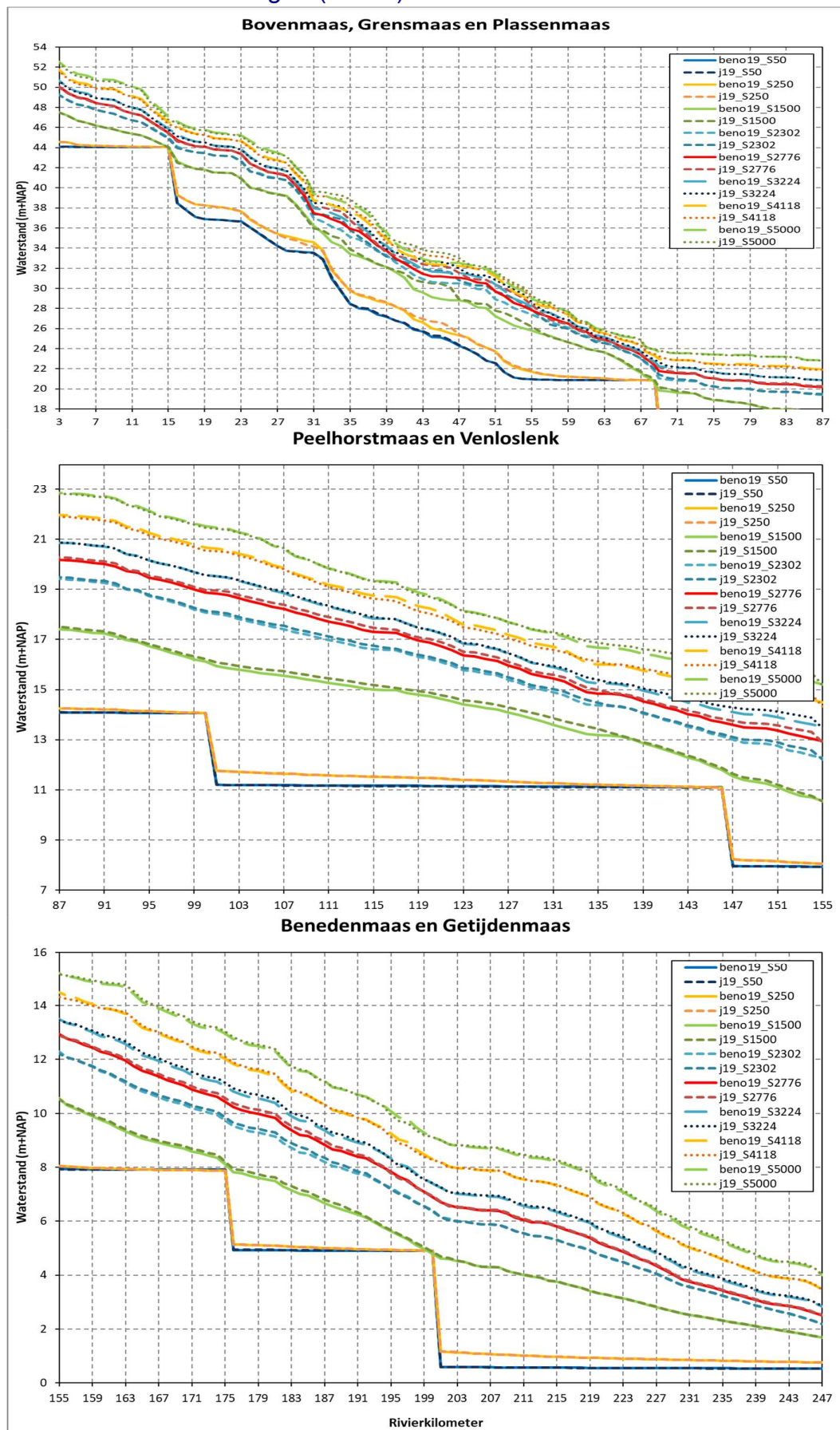
### Bovenmaas, Grensmaas en Plassenmaas

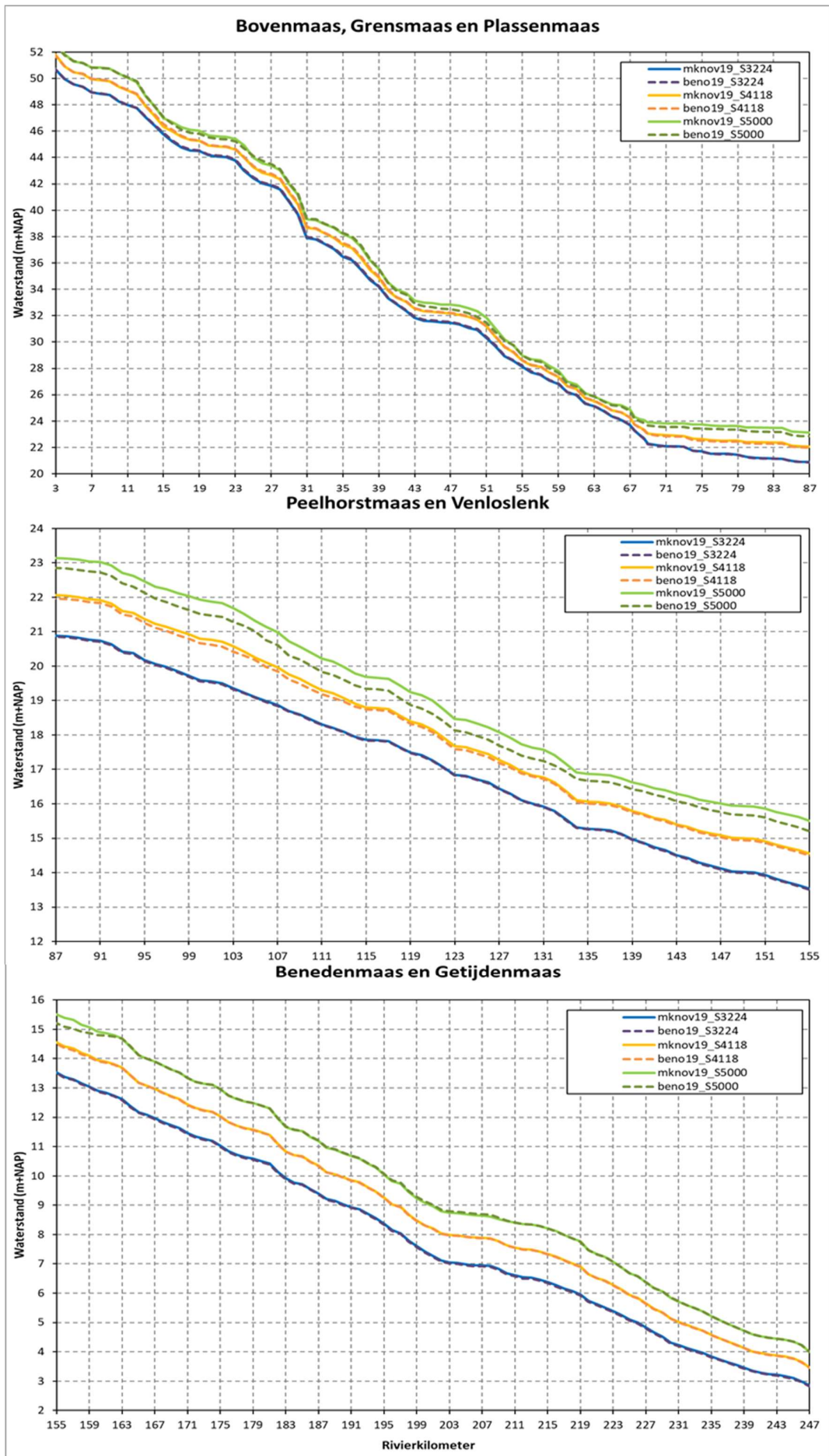






## G.2 Stationaire berekeningen (last25)





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)