

## Memo

**Datum**

29 maart 2021

**Contactpersoon**

Eveline van der Deijl

**Ons kenmerk**

11206813-002-ZWS-0006

**Doorkiesnummer**

+31(0)88 335 7312

**E-mail**

Eveline.vanderDeijl@deltares.nl

**Aantal pagina's**

1 van 54

**Onderwerp**

Deelonderzoek lange duikers in de Maas modellen

## 1 Introductie

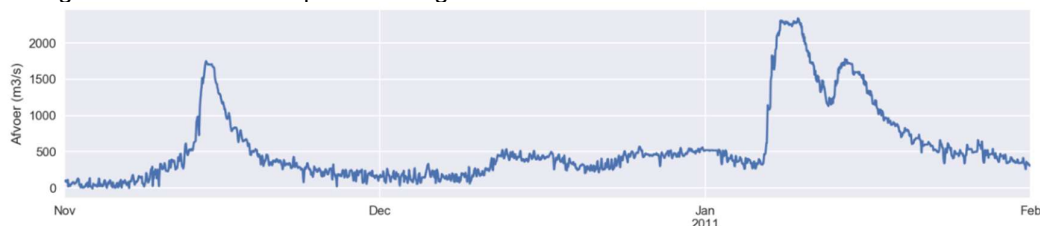
In 2020 is de nieuwe functionaliteit ontwikkeld in het rekenhart van dflowfm om 'lange duikers' te schematiseren (Van Dam, 2020). Deze functionaliteit is nog niet beschikbaar in de GUI (de Deltashell). Uit testen voor de duikers bij Lent bleken goede resultaten en door RWS is aangegeven graag deze nieuwe functionaliteit toe te passen voor de Maas (Domhof, 2020).

Er zijn twee parallelle toepassingen op gestart: een onderzoek naar de effecten van de toepassing van "actuele duikers" (die in de jaren van de actuele en kalibratiemodellen al aanwezig zijn) en de toepassing van "nieuwe duikers" (die nog worden aangelegd en van toepassing zijn op het toekomstige 'beno' model). Dit memo beschrijft zowel de toepassing van 5 actuele duikers, die al in 2010-2011 aanwezig waren, als de toepassing van 5 nieuwe duikers in het beno19model. Gegevens van huidige duikers zijn al opgenomen in de rapportage (De Jong, 2020). Daarnaast zijn er enkele duikers (Heerelaak, Elerweerd en Contelmo) die vanaf het beno19-model opgenomen zouden moeten worden. De werking van de duikers wordt beschreven in hoofdstuk 3.1, waarin ook de tijdseries van de afvoeren en waterstanden boven en benedenstrooms van enkele duikers worden beschreven. Daarnaast worden de verschillen in waterstand op de rivier-as bepaald voor de simulatie met en zonder duikers. Deze resultaten worden beschreven in Hoofdstuk 3.2 Conclusies en aanbevelingen worden vervolgens gegeven in hoofdstuk 5.

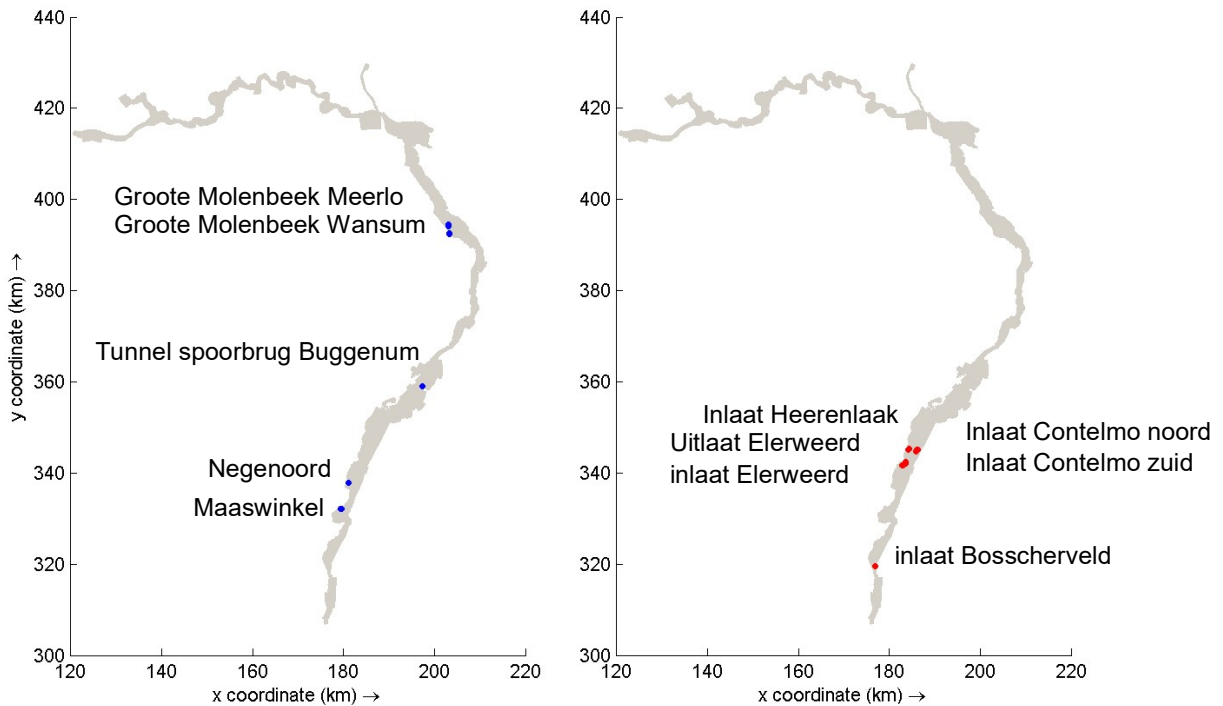
## 2 Methode

Er zijn twee parallelle toepassingen gestart: een onderzoek naar de effecten van de toepassing van "actuele duikers" en de toepassing van "nieuwe duikers".

Voor de toepassing van actuele duikers is gebruik gemaakt van het dflowfm2d-maas-j10\_6-v1 Maas model waarmee de 3 maanden van het hoogwater in 2010-2011 (HW2011, zie Figuur 2-1) zijn doorgerekend. Dit is gedaan voor zowel een simulatie met, als een simulatie zonder lange duikers. Voor de simulatie met lange duikers zijn in totaal 5 lange duikers geschematiseerd in de Maas\_structures\_Q25.ini, waarnaar wordt verwezen in de .mdu. Deze schematisatie van de lange duikers is zichtbaar in bijlage A.1 en de positie langs de Maas is weergegeven met de blauwe punten in Figuur 2-2.

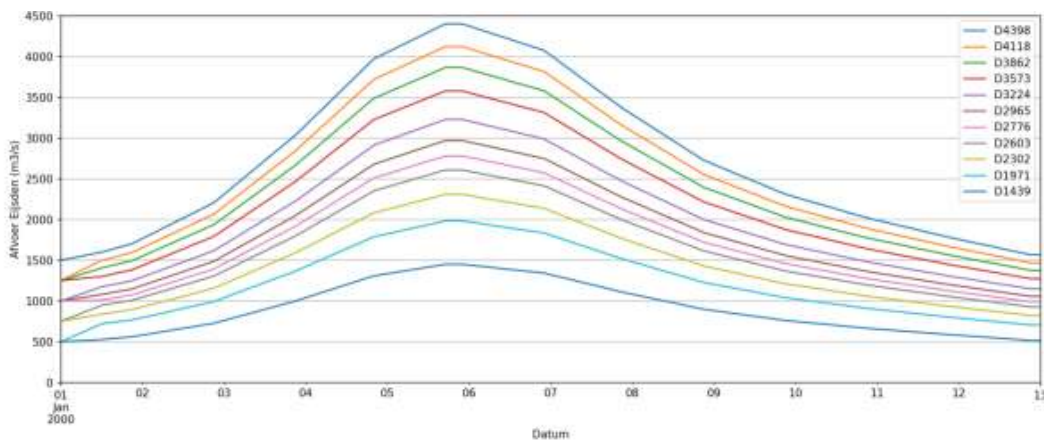


Figuur 2-1 Afvoer bij Eijsden voor de hoogwaters 2010-2011.



Figuur 2-2 De positie van de actuele (blauw) en toekomstige lange duikers (rood)

Het dflowfm2d-maas-beno19\_6-w2 maas model met de D4118 dynamische afvoergolf (zie Figuur 2-3) is gebruikt als referentie scenario voor de toepassing van de nieuwe duikers. Voor de simulatie met lange duikers zijn deze duikers opgenomen in de Maas\_structures\_Q25.ini, waarnaar verwezen wordt in de .mdu. De schematisatie van de lange duikers is zichtbaar in bijlage A.2.

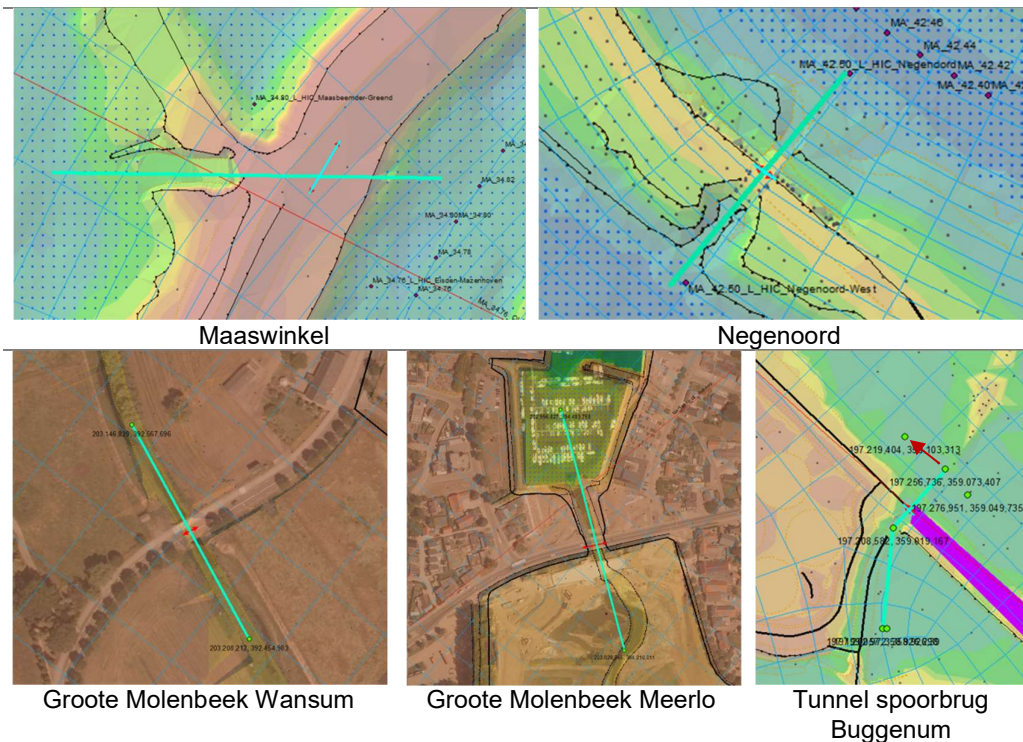


Figuur 2-3 Afvoergolven met golfvorm WBI2017 voor de Maas ten behoeve van het RBK5 (De Jong, 2018). De golfvorm is het gemiddelde van alle afvoergolven die geanalyseerd zijn in project GRADE (Hegnauer et al., 2014).

Voor zowel de actuele als nieuwe duikers zijn de drempelhoogte, doorstroomhoogte en - breedte van de duikers verkregen van Rijkswaterstaat. De coördinaten van de in en uitstroomlocatie van de duikers is bepaald a.h.v. het baseline hoogte model, het model rooster en voor de actuele duikers is ook gebruik gemaakt van luchtfoto's. De meeste duikers zijn verlengd t.o.v. de oorspronkelijke situatie, zodat elke in- en uitstroomlocatie in een roostercel ligt waarvan alle randen in de geul of in een gebied met gelijke of lagere hoogte

dan de duiker drempel liggen. De geschematiseerde locatie is voor de actuele duikers zichtbaar in Figuur 2-4. In deze figuur is de gewenste duiker positie van Tunnel spoorbrug Buggenum opgenomen, waarbij gebruik is gemaakt van 3 coördinaten. Het gebruik van 3 coördinaten bleek echter nog niet goed te werken en ook leverde het meest noordelijke coördinaat van deze duiker problemen op. De oorzaak bleek de kruising van de hoogwatervrije lijn welke niet mogelijk is voor duikers, maar met verplaatsing naar links (zie rode pijl in Figuur 2-4) draaide het model wel. De benodigde verbetering is opgenomen als aanbeveling.

De Grote Molenbeek is maar smal en valt daardoor na discretisatie grotendeels weg in het hoogtemodel. Mogelijk wordt daardoor het functioneren van de twee duikers in deze beek gelimiteerd.



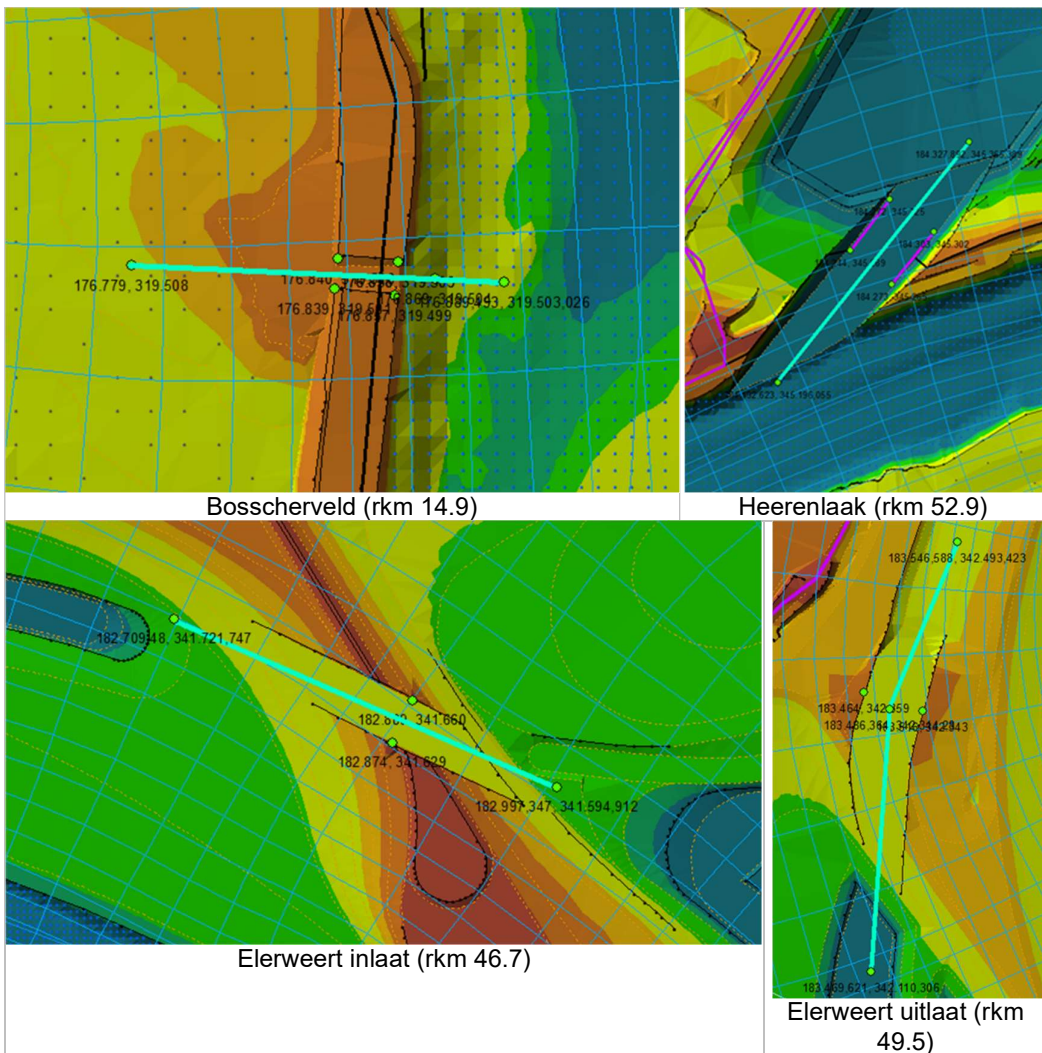
Figuur 2-4 Model rooster met de baseline bed level hoogtes en hoogte lijnen voor het dflowfm2d-maas-j10\_6-v1 model. Blauwgroene lijnen geven de geschematiseerde actuele duikers aan.

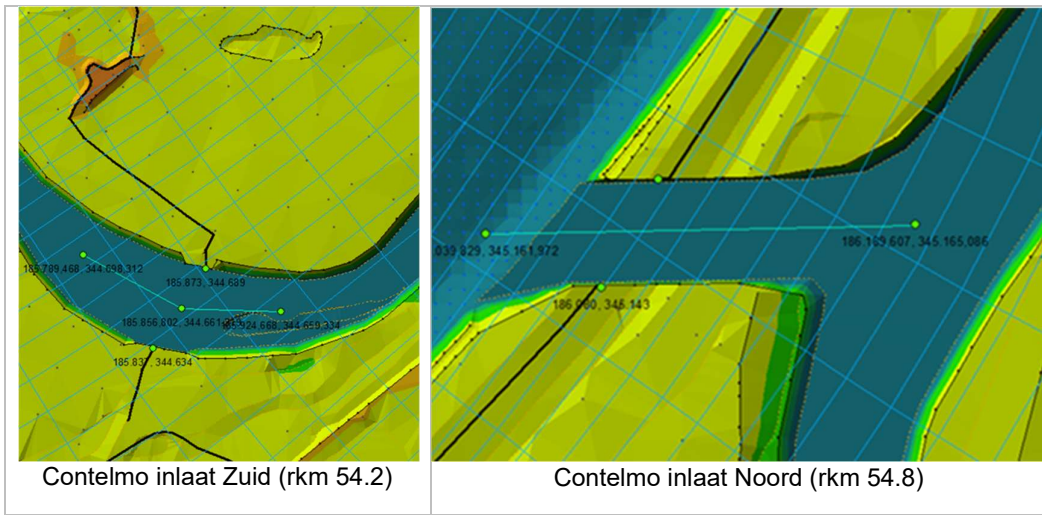
De positie en afgeleide coördinaten voor de toekomstige duikers is zichtbaar in Figuur 2-5. Ook hier zijn de meeste duikers verlengd zodat elke in- en uitstroombestemming in een roosterdeel ligt waarvan alle randen in de geul of in een gebied ongeveer gelijke of lagere hoogte hebben dan de drempel van de duiker. In dit figuur is de gewenste duikerpositie van Contelmo inlaat zuid opgenomen, waarbij gebruik is gemaakt van 3 coördinaten, maar alleen de 2 uiterste coördinaten zijn nu gebruikt in de schematisaties omdat het model met 3 coördinaten nog niet draaide.

Merk op dat veel van deze duikers al ook al in het Baseline-hoogtemodel zijn verwerkt. Het is niet bekend voor welke toepassing dit in de Baseline is verwerkt, want dit lijkt niet functioneel te zijn. Op basis van de schatting van de discretisatie wordt verwacht dat het gemodelleerde doorstroomoppervlakte van duiker veel te laag tot zelfs verwaarloosbaar is. Deze conclusie geldt vermoedelijk ook voor WAQUA. De toepassing van lange duikers zal deze doorstroomsignificant verbeteren. Wel wordt aanbevolen de duiker niet ook in het hoogtemodel op te nemen om dubbele telling van het doorstroomoppervlak te voorkomen.

Voor elke duiker is de ruwheid gezet op Manning  $n=0.015$ . Deze ruwheid komt overeen met de ruwheid van beton. Verder is een 2-zijdige stroomrichting aangehouden, omdat de meeste duikers geen kleppen hebben. De duiker van inlaat Heerenlaak is de enige duiker waarbij de instroomopening (21.18 m+NAP) een andere hoogte heeft dan de uitstroom (24.18 m+NAP), de andere duikers zijn geschematiseerd als horizontale duiker (beide z-coördinaten zijn gelijk).

Alle scenario's zijn doorgerekend op nodes van de H6 onder CentOS-7 op het Linux rekencluster met de D-HYDRO 2.15.07\_DPC\_COS7.70041 release. Hierbij is slechts gebruik gemaakt van 1 partitie omdat het draaien van een model met lange duikers op meerdere partities problemen gaf bij het automatisch partitioneren van het model.



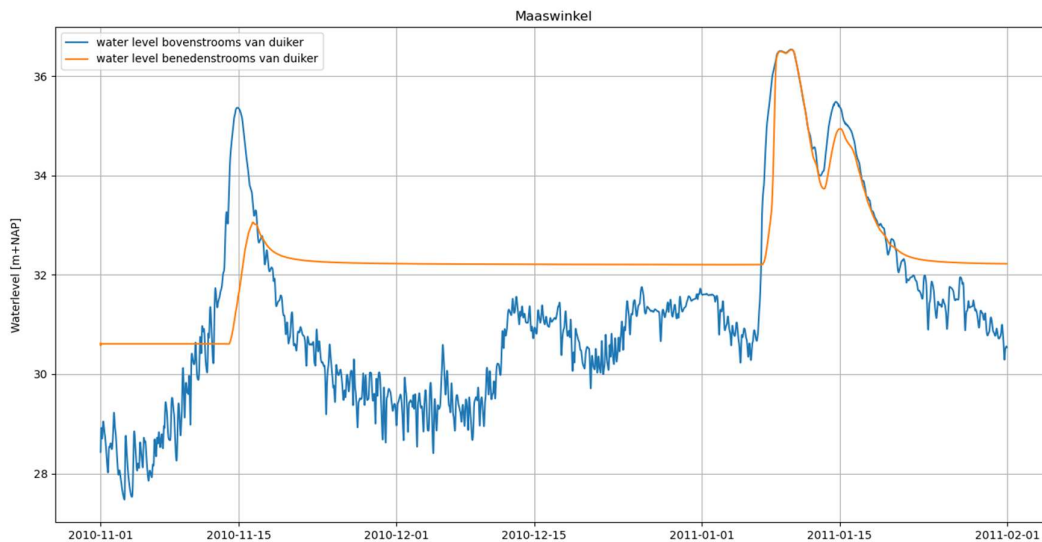


*Figuur 2-5 Model rooster met de baseline bed level hoogtes en hoogte lijnen voor het dflowm2d-maas-beno19\_6-w2 model. Blauwgroene lijnen geven de geschematiseerde toekomstige duikers aan.*

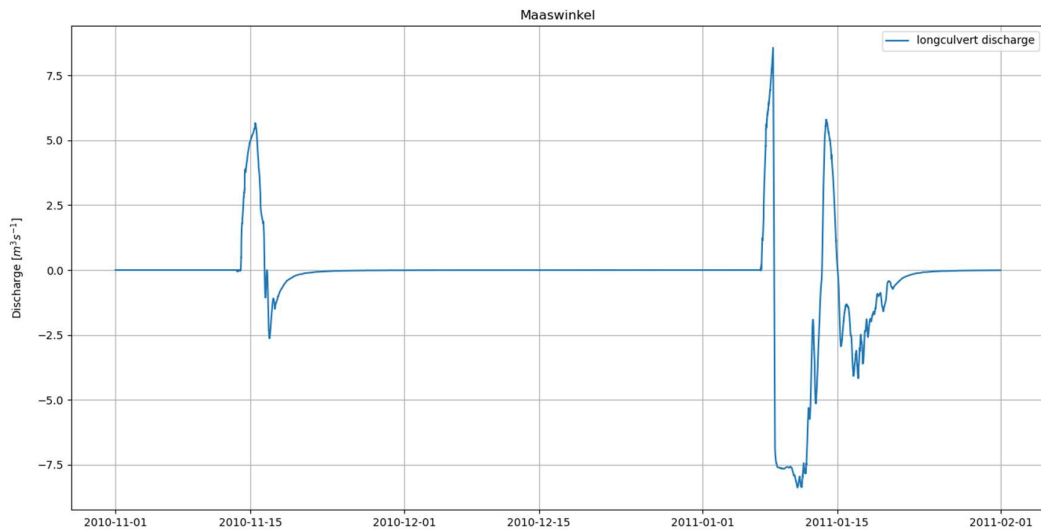
## 3 Resultaten

### 3.1 Werking van de duikers

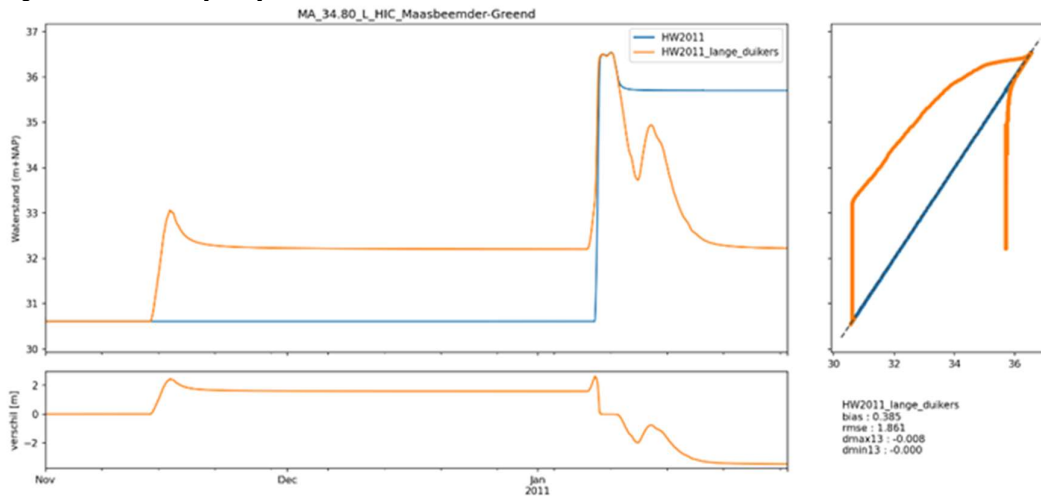
Zodra de waterstand hoger is dan de drempelhoogte van de duikers, stroomt het water door de duikers. Dit is voor inlaat Maaswinkel zichtbaar in Figuur 3-1, waarin zowel de waterstand boven als benedenstrooms van de duiker is weergegeven. Zodra de waterstand bovenstrooms hoger komt dan de drempel van 32.2 m+NAP, begint ook benedenstrooms van de duiker de waterstand te stijgen. Hoe groter het verschil tussen de waterstand boven en benedenstrooms van de duiker, hoe hoger de afvoer door de duiker, welke zichtbaar is in Figuur 3-2. In deze figuren is ook zichtbaar dat zodra de waterstand bovenstrooms begint te zakken en de waterstand benedenstrooms van de duiker hoger ligt dan benedenstrooms, dat de afvoer door de duiker negatief wordt totdat benedenstrooms van de duiker de drempelwaarde van 32.2 m+NAP is bereikt. Op dit moment stopt de afvoer door de duiker en blijft de waterstand constant tot deze bovenstrooms van de duiker weer stijgt door een stijging in de rivierafvoer in januari. Figuur 3-3 geeft voor zowel het model met als zonder de duiker bij Maaswinkel de waterstand en het waterstandsverschil aan voor het meetpunt benedenstrooms van de duiker. In dit figuur is zichtbaar dat de duiker zorgt voor een eerdere instroom en daardoor eerdere stijging van de waterstand in het achterliggende gebied. In het model zonder de duiker stijgt de waterstand in het achterliggende gebied pas bij de piekafvoer in januari, wanneer de dijk/overlaat boven de duiker overstroomt. Ook is zichtbaar dat zonder de duiker het gebied niet meer leegloopt na de piekafvoer van januari.



Figuur 3-1 De waterstand [m+NAP] boven- en benedenstrooms van de duiker Maaswinkel

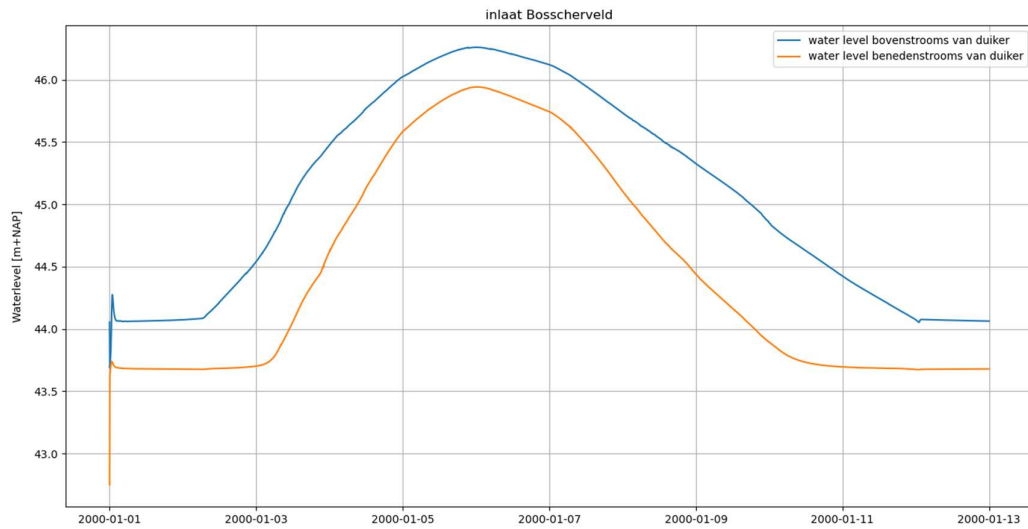


Figuur 3-2 De afvoer [ $m^3s^{-1}$ ] door duiker Maaswinkel

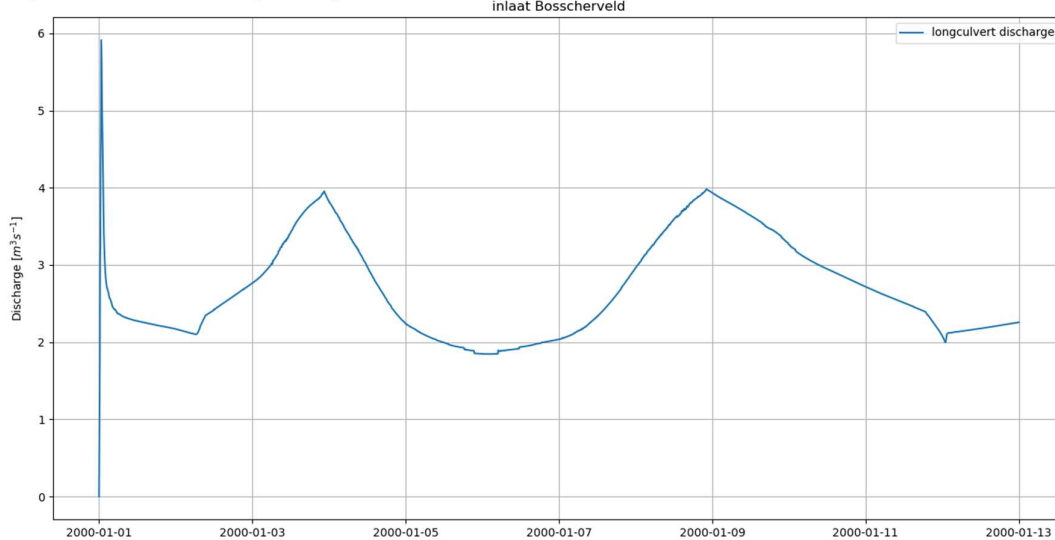


Figuur 3-3 De waterstand [m+NAP] en het waterstandsverschil bij het meetpunt benedenstrooms van de duiker Maaswinkel

Soms kruisen duikers een overlaat. Dit is onder andere het geval bij de huidige duiker Maaswinkel, maar ook bij de toekomstige duiker voor inlaat Bosscherveld waar de hele oever overstroomd bij een waterstand vanaf 45.3 m+NAP (zie Figuur 2-5). Wanneer de overlaat/oever overstroomt neemt het verschil in waterstand boven- en benedenstrooms van de duiker snel af (zie Figuur 3-4). Dit resulteert in een afname in de afvoer door de duiker (Figuur 3-5). Pas bij de staart van de afvoergolf neemt het verval weer toe waardoor ook de afvoer door de duiker weer stijgt.



Figuur 3-4 De waterstand [m+NAP] boven- en benedenstrooms van de duiker van inlaat Bosscherveld



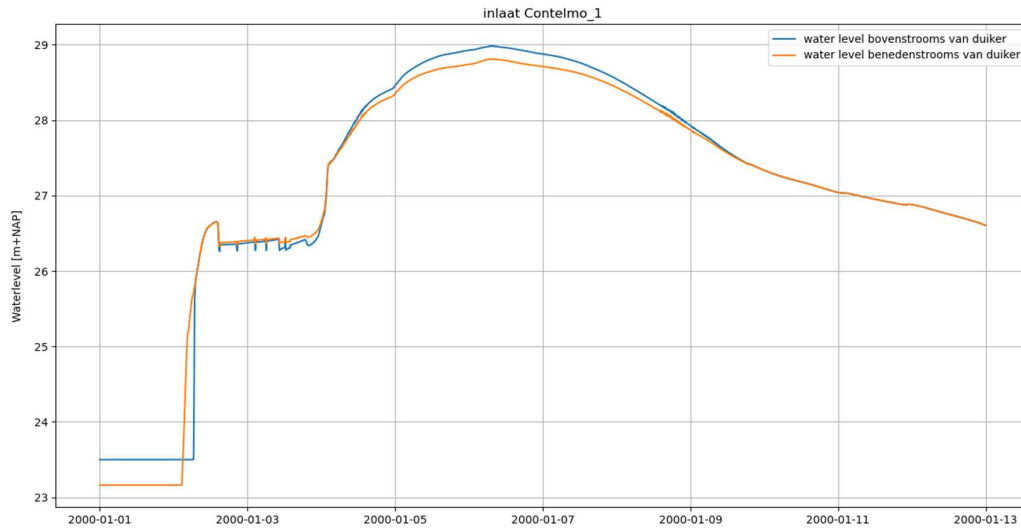
Figuur 3-5 De afvoer [m³·s⁻¹] door duiker Bosscherveld

In Figuur 3-6 en Figuur 3-7 is zowel de waterstand boven- en benedenstrooms als de afvoer door de duiker van inlaat Contelmo zuid weergegeven. Dit is de duiker met de grootste afvoer in het beno19 model. Zichtbaar is dat aan het begin van de D4118 afvoer piek de stroming in de duiker eerst negatief is met ongeveer  $160 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . Dit komt doordat de instroomhoogte van deze zuidelijke inlaat 40 cm hoger ligt dan die van de noordelijke inlaat bij Contelmo. Verder ligt de instroom van de duiker bij Contelmo noord in een rooster cel van de rivier, terwijl de inlaat van de duiker Contelmo zuid al in de inlaat zelf ligt (zie Figuur 2-5). Deze inlaat is qua rooster en bijbehorende hoogtes minder optimaal geschematiseerd dan de Maas zelf. Hierdoor stroomt bij Contelmo noord al eerder water binnen (zie Figuur 3-9), waardoor de waterstand benedenstrooms van de duiker Contelmo zuid stijgt en een negatief verval over de duiker ontstaat. Pas bij verdere stijging van de waterstand op de rivier-as stroomt het water

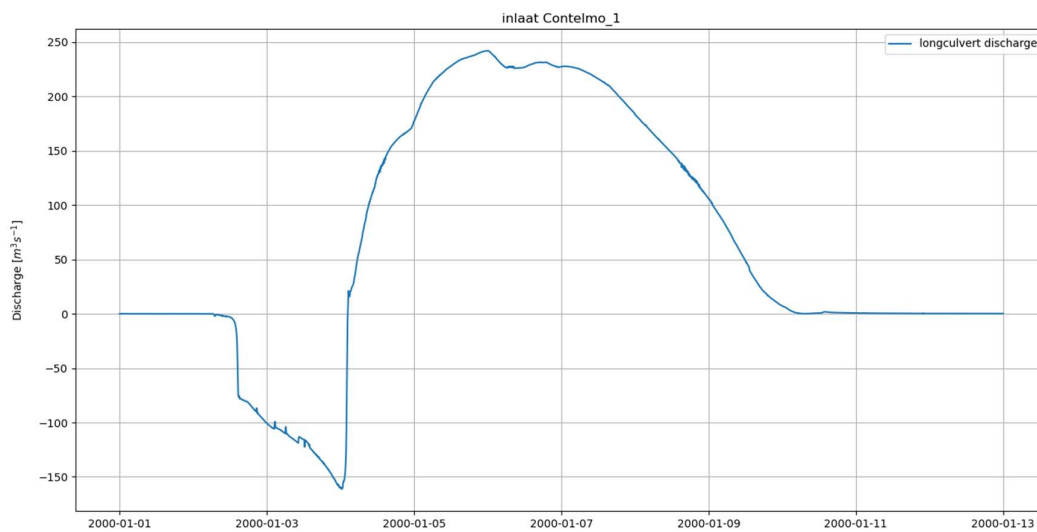


ook inlaat zuid in en ontstaat een positief verval over de duiker, hierdoor slaat de afvoer om en stijgt deze afvoer door de duiker tot ongeveer  $240 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ .

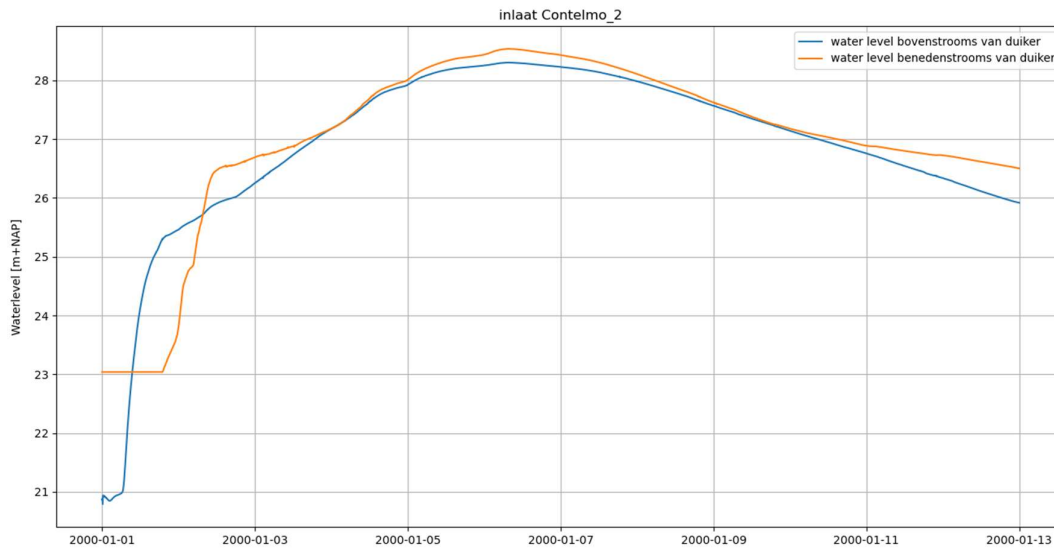
De figuren met waterstanden en afvoeren van de overige duikers zijn te vinden in bijlages B.1 en B.2.



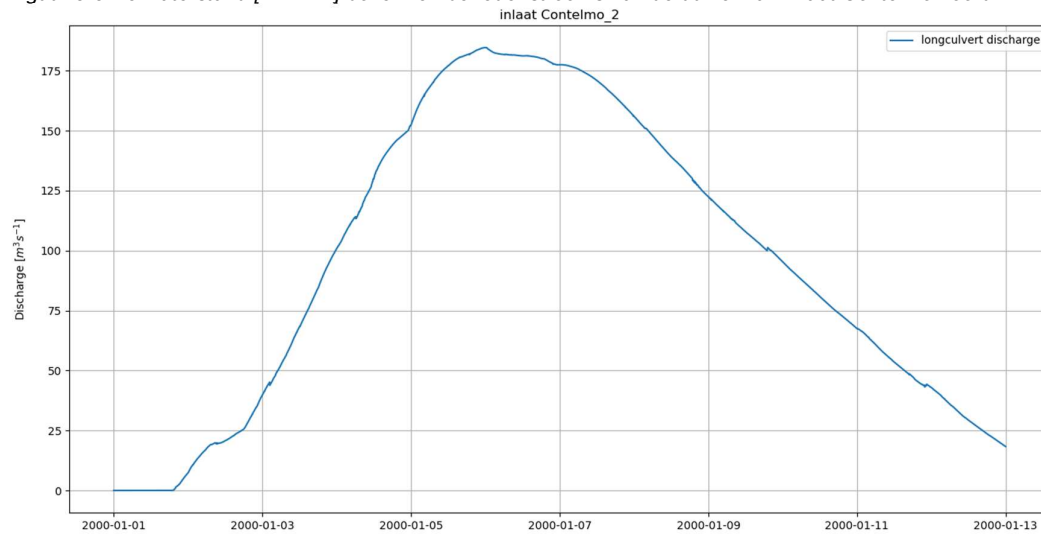
Figuur 3-6 De waterstand [m+NAP] boven- en benedenstrooms van de duiker van inlaat Contelmo zuid



Figuur 3-7 De afvoer [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ] door duiker Contelmo zuid

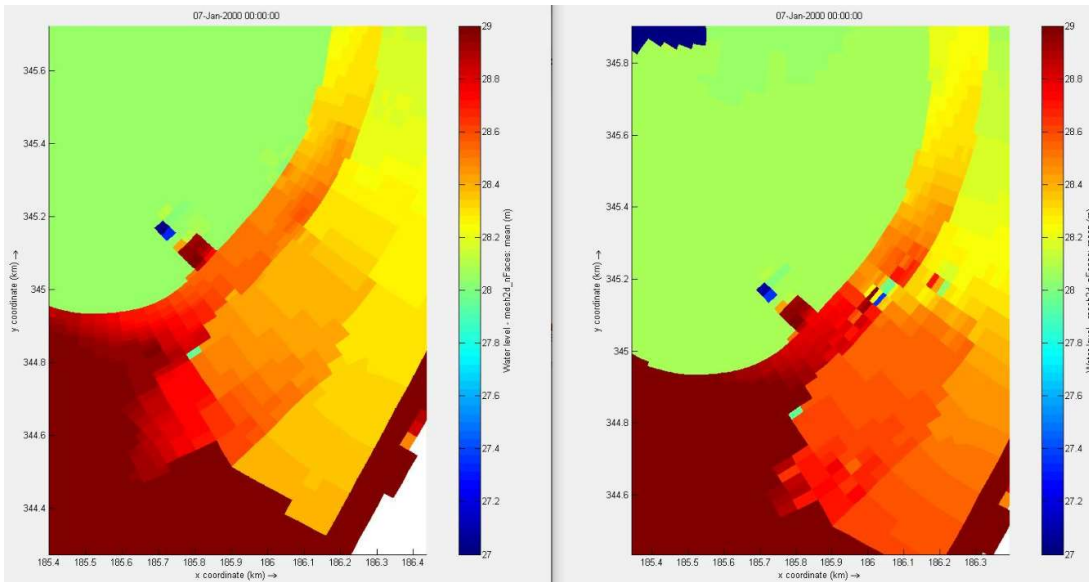


Figuur 3-8 De waterstand [m+NAP] boven- en benedenstrooms van de duiker van inlaat Contelmo noord

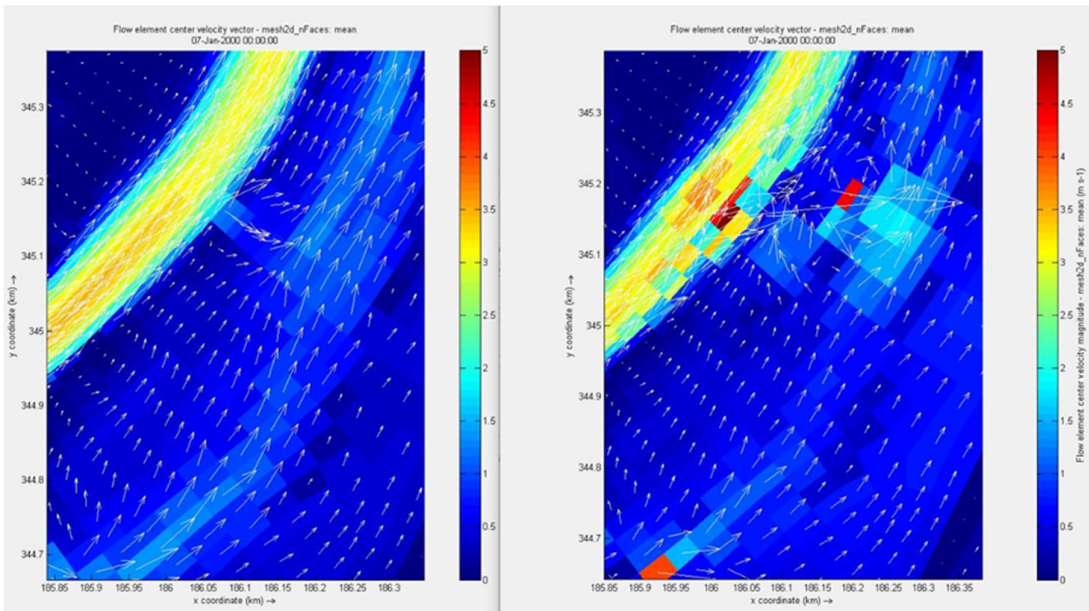


Figuur 3-9 De afvoer [m³·s⁻¹] door duiker Contelmo noord

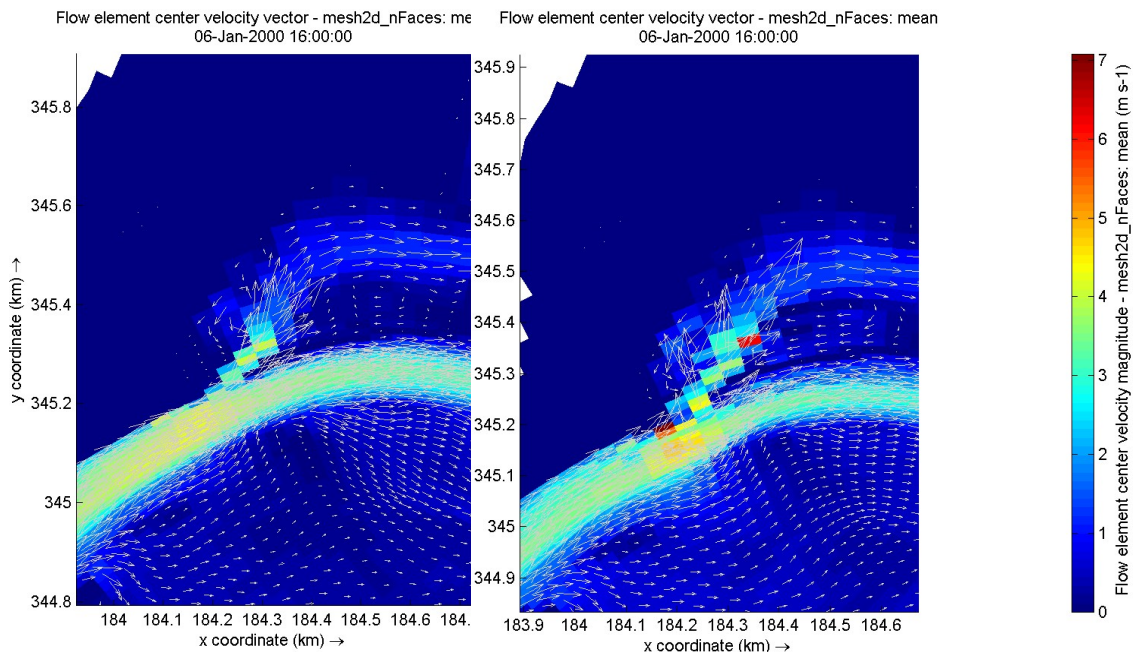
In Figuur 3-10 is zichtbaar dat door implementatie van de duikers bij de inlaten van Contelmo de waterstand in de Maas, maar ook in de nevengeul benedenstrooms van de inlaten stijgt (rechts) t.o.v. de situatie zonder duikers (links). In Figuur 3-11 is zichtbaar dat bij inlaat Contelmo Noord zowel de richting als de sterkte van de stroming hierdoor sterk veranderd. In de figuur is zichtbaar dat ondanks dat het rooster niet optimaal is, dat er in de situatie zonder duiker toch water instroomt door de inlaten zonder de duikers. Echter in de situatie met duikers stroomt er eerder, makkelijker en harder water door de duikers. Er ontstaan lokaal bij de in en uitgangen van de duikers relatief grote verhogingen en verlagingen van de waterstand. Verder stijgt de waterstand in het gehele benedenstroomse gebied van de duikers, waardoor er water terugstroomt door de inlaat richting de Maas. Dit patroon en effect van grote lokale variaties in de waterstand rondom de in en uitgang van de duikers is ook zichtbaar bij de inlaat van Heerenlaak. Ook hier ontstaat na implementatie van de duiker weer een “versterkte” terugstroming door de inlaat richting de Maas (zie Figuur 3-12).



Figuur 3-10 De waterstand tijdens de piek afvoer ter hoogte van inlaat Contelmo Noord voor de situatie zonder (links) en met diuiker (rechts)



Figuur 3-11 De stroomsnelheid en richting tijdens de piek afvoer ter hoogte van inlaat Contelmo Noord voor de situatie zonder (links) en met diuiker (rechts)



Figuur 3-12 De stroomsnelheid en richting tijdens de piek afvoer ter hoogte van inlaat Heerenlaak voor de situatie zonder (links) en met duiker (rechts)

### 3.2 Waterstand op de rivier-as

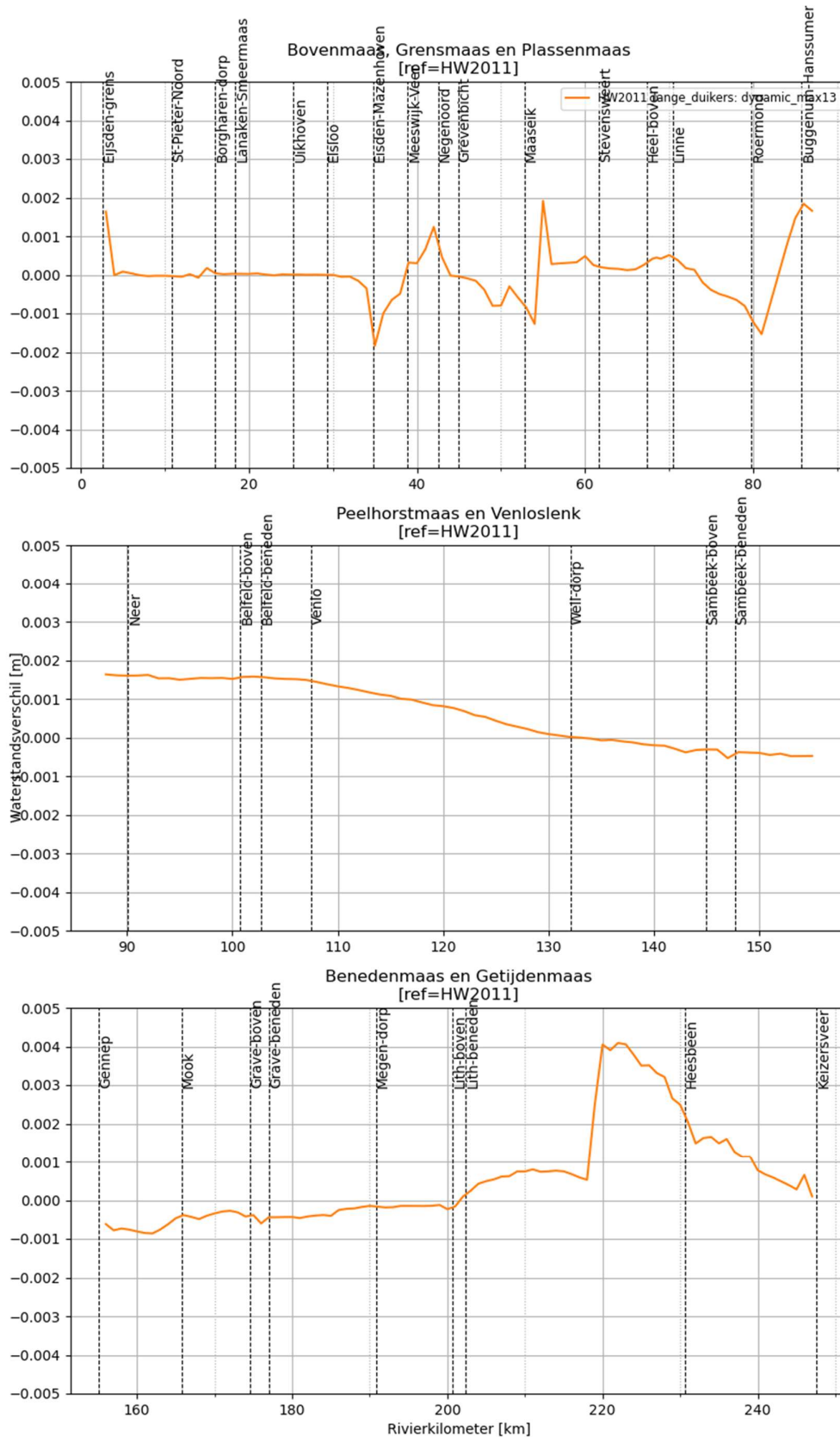
Door de implementatie van de lange duikers worden waterstandsverschillen op de rivier as verwacht. Dit komt o.a. omdat door de implementatie van duikers onder overlaten (o.a. bij inlaat Bosscherveld en de inlaat en uitlaat van Elerweerd) de achterliggende gebieden eerder al water ontvangen dan wanneer alleen de overlaat zal overstromen. Daarnaast kan er nu ook water stromen door aantal tunnels onder dijklichamen (o.a. spoorbrug Buggenum), terwijl dit nog niet het geval was zonder de implementatie van de lange duikers in de modellen. Om deze reden is het verschil in de maximale waterstand tussen de simulaties met en zonder lange duikers weergegeven in Figuur 3-13 (in het dflowfm2d-maas-j10\_6-v1 model) en Figuur 3-14 (dflowfm2d-maas-beno19\_v2 model).

In Figuur 3-13 is de variatie in het verschil in de maximale waterstand op de rivier-as van het j10\_6-v1 model weergegeven voor 3 trajecten langs de Maas. In dit figuur is zichtbaar dat het verschil klein is met een maximaal verschil van ongeveer 4 mm ter hoogte van rivier kilometer 225. Waarschijnlijk ontstaat dit verschil bij Heesbeen door een wisselwerking tussen faseverschuiving van de afvoergolf en de variatie in getij.

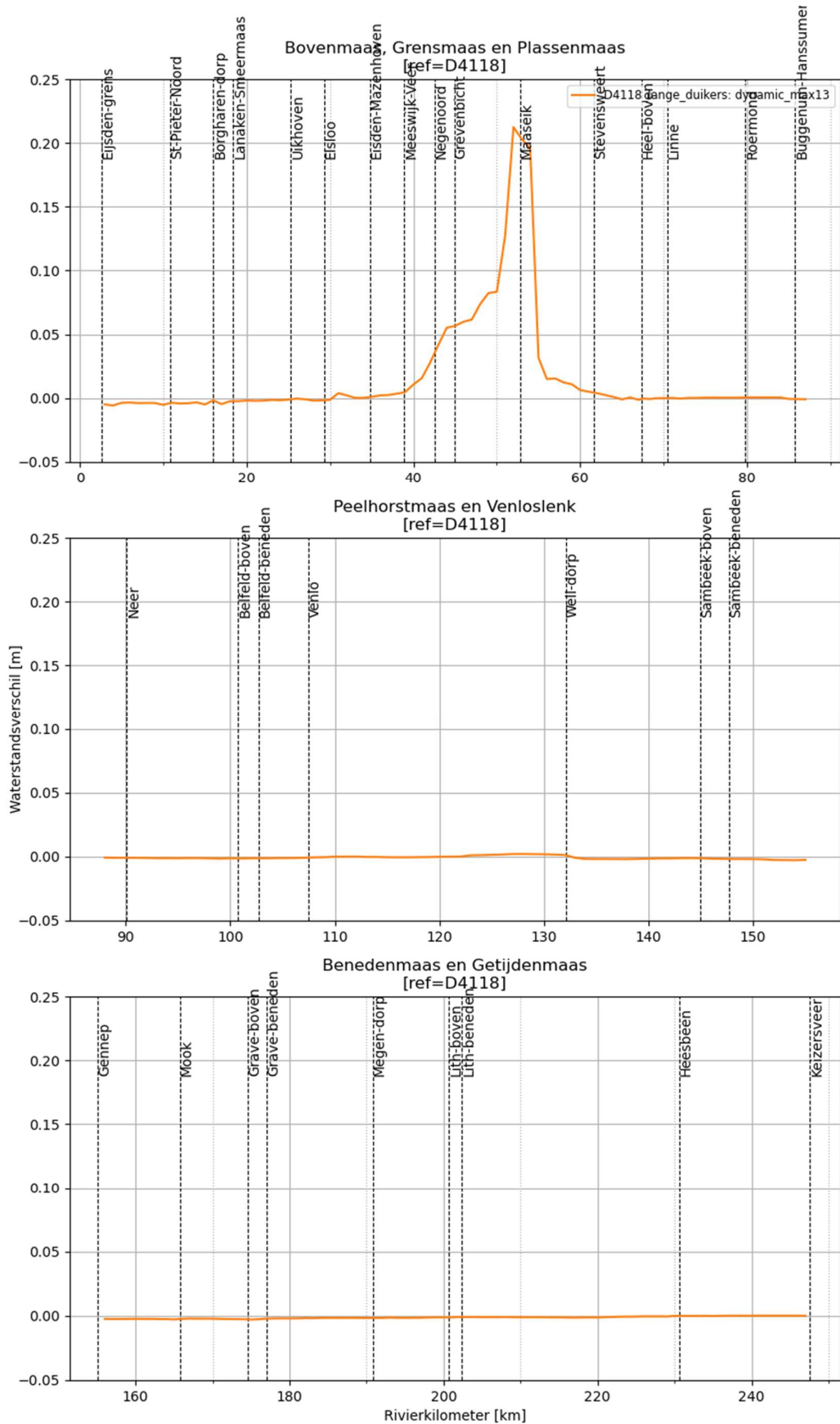
Figuur 3-6 geeft ook aan dat de waterstand daalt in de 5 km bovenstrooms van de duikers Maaswinkel (rkm 34.8), tunnel spoorbrug Buggenum (rkm 81) en over het traject parallel aan de Groote Molenbeek (rkm 120-133). Daarentegen stijgt de maximale waterstand juist bovenstrooms van duiker Negenoord (rkm 42.5). De afvoer door duiker Negenoord is echter ook relatief groot en wisselt regelmatig van stroomrichting (zie bijlage B.2.1). Al deze genoemde verschillen op de rivier-as zijn echter minimaal.

In het beno19\_v2 model zijn de verschillen in de maximale waterstand op de rivier-as veel groter. In Figuur 3-14 is zichtbaar dat de grootste verschillen plaatsvinden op het eerste traject van de Bovenmaas, Grensmaas en Plassenmaas. Dit is logisch, aangezien alle 5 geïmplementeerde toekomstige duikers langs dit traject liggen. In de figuur is zichtbaar dat

bovenstrooms van de geïmplementeerde duikers de maximale waterstand afneemt met ongeveer 0.5 tot 1 cm. Echter neemt de piekwaterstand toe ter plaatse van de geïmplementeerde duikers van Heerenlaak, Elerweert en Contelmo. Dit komt waarschijnlijk doordat de achterliggende gebieden door de implementatie van de duikers eerder instromen en dat de waterstand in de gebieden daardoor al stijgt. Het gevolg hiervan is dat het waterstandsverschil over de overlaat lager of zelfs negatief is dan in het model zonder de lange duikers. Dit resulteert in een lagere afvoer of zelfs terugstroming over de overlaten of door het in baseline al geschematiseerde gat in de overlaat naar deze uiterwaarden waardoor de maximale waterstand op de rivieras 22 cm hoger is bij rkm 52 (i.e. het waterstandsverlagend effect van de maatregelen is daardoor 22 cm lager dan gemodelleerd in het model zonder duikers). Daarnaast ontstaat er ook een zeer grote versnelling op de rivier-as. Het gedrag lijkt niet realistisch en resulteert in een versmalling van het doorstromende gedeelte van het zomerbed waardoor er opstuwing ontstaat. De duikers die zorgen voor de grote verhoging van de waterstand zijn allemaal relatief breed ook zijn ze al geschematiseerd in baseline door middel van een aangepaste bodemhoogte in de dijklichamen. Deze schematisatie is door het relatief grove rooster en de kleine inlaten niet optimaal, maar wel al aanwezig. Dit is niet het geval bij de duikers van Bosscherveld en die van Maaswinkel, waar wel een klein waterstand verlagend effect door implementatie van de duiker optreed.



Figuur 3-13 Het verschil in waterstand in het j10\_6\_v1 model tussen de referentie HW201011 en het scenario met lange duikers voor 3 trajecten langs de Maas.



Figuur 3-14 Het verschil in waterstand in het beno\_19\_w2 model tussen de referentie D4118 en het scenario met lange duikers voor 3 trajecten langs de Maas.

## 4 Discussie

Dit memo beschrijft de eerste test resultaten van de werking van de duikers in de Maas modellen en de effecten van deze duikers op de waterstanden van de rivieras. Wanneer de duikers geïmplementeerd gaan worden in de Maasmodellen is kalibratie van een aantal duikers aanbevolen. Dit is mogelijk door de ruwheid van de duikerwanden en in- en uitstroom locatie te variëren tot overeenkomst met beschikbare metingen. Bij Maaswinkel en Negenoord zijn er meetpunten van de waterstand voor en na de duiker. Bij Ohé en Laak zijn er waterstandsmetingen met divers. Helaas zijn er geen locaties waar afvoergegevens beschikbaar zijn.

In het dflowfm2d-maas-j10\_6-v1 is het effect van de implementatie van de 5 lange duikers op de maximale waterstand op de rivier-as minimaal. De meeste duikers veroorzaken een bovenstroomse waterstandverlaging van enkele millimeters en de grootste verandering in waterstand treed juist op ver benedenstrooms van de duikers door een wisselwerking tussen de faseverschuiving van de afvoer golf en de variatie in het getij.

In het beno19\_6\_w2 model is de maximale waterstand op de rivier-as na implementatie van de 5 lange duikers ongeveer 21 cm hoger dan in het model zonder de duikers. Dit gedrag lijkt veroorzaakt te worden door zeer grote versnelling die ontstaat op de rivier-as. Het gedrag lijkt niet realistisch en resulteert in een versmalling van het doorstromende gedeelte van het zomerbed waardoor deze opstuwung ontstaat. De duikers die zorgen voor de grote verhoging van de waterstand zijn allemaal relatief breed en ook geschematiseerd met een verlaging van het bodemniveau in het baseline hoogtemodel. Het rooster is echter op deze locaties voor de smalle geulen/overlaten niet geschikt. Hierdoor is het functioneren van deze openingen beperkt, maar kan dit wel bijdragen aan het rare gedrag.

De twee duikers van de Grootte Molenbeek voeren alleen water af tijdens de piekafvoeren van de 2 hoogwatergolven. Tijdens lagere afvoeren en de bijbehorende lagere waterstanden is het rooster van deze beek namelijk te grof, waardoor de bodem van de beek te hoog uit valt en er geen stroming plaats vindt. De in- en uitstroom van de Grootte Molenbeek is met de implementatie van de twee lange duikers al verbeterd maar aanbevolen wordt om of het gehele rooster van deze beek te verbeteren, of om de gehele beek als één lange duiker te modelleren en dan niet in de baseline bodemhoogte op te nemen.

Bij de meeste duikers stroomt het water in twee richtingen. Vooral bij locaties Negenoord en Contelmo zuid stroomt er veel water heen en weer en bij Negenoord is zichtbaar dat de stroomrichting regelmatig veranderd. Dit komt door de sterke variatie in de afvoer op de Maas. De variatie zorgt namelijk steeds voor een korte afwisseling tussen een positief naar negatief verval over de duiker en daardoor de afwisseling tussen positieve en negatieve afvoer door de duiker. Voor verdere verbetering van het model met duikers moet worden uitgezocht welke duikers eventueel wel kleppen of andere beperkingen van de stroomrichting hebben zodat een eenzijdige stroomrichting voor deze duikers kan worden toegepast. Wel zorgt het toepassen van een enkelzijdige stroomrichting voor een nog slechter leeglopen van de gebieden na de duiker.

## 5 Conclusies en aanbevelingen

Als pilot voor de toepassing van lange duikers zijn 5 huidige duikers en 5 toekomstige duikers gemodelleerd. Geconcludeerd wordt dat door modellering van de huidige duikers plausibele resultaten geeft en een waterstandsverschil op de rivier-as van enkele millimeters. De simulatie met toekomstige duikers geven echter niet-plausibele resultaten die mogelijk geïntroduceerd worden de hoge afvoeren door het grote doorstroomoppervlak van deze



duikers en de schematisatie in het hoogtemodel in Baseline. Daarnaast is ook geconcludeerd dat het niet mogelijk is om simulaties parallel uit te voeren, waardoor de toepassing voor de Maas voorlopig vervalt.

Aanbevelingen voor de software:

- Bij toepassing van lange duikers is het niet mogelijk te partitioneren. Dit dient verbeterd te worden. De komende maand wordt hiervoor op een rij gezet wat nodig is (UNST-4833). Daarna kan worden gekeken of en wanneer we dit kunnen ontwikkelen.
- Het gebruik van 3 coördinaten voor een lange duiker lijkt nog niet altijd goed te werken (zie Hoofdstuk 2). Dit dient verder onderzocht en verbeterd te worden. Specifiek lijkt het nu zelfs dat lange duikers met 2 punten werken, en met 4 of meer, enkel niet met 3 (UNST-4711).

Aanbevelingen voor de schematisatie:

- Duikers dienen niet in zowel hoogtemodel als in kunstwerken opgenomen te worden (zoals nu bij o.m. Contelmo). Aanbevolen wordt de schematisatie in het hoogtemodel te verwijderen bij toepassing van de lange duikers, of te verbeteren met een modelmaatregel indien geen gebruik gemaakt wordt van lange duikers.
- De in- en uitstroom van de Grote Molenbeek is met de implementatie van de twee lange duikers al verbeterd maar aanbevolen wordt om of het gehele rooster van deze beek te verbeteren, of om de gehele beek als één lange duiker te modelleren en dan niet in de baseline bodemhoogte op te nemen.

## 6 Referenties

- Domhof, B. (2020) Testcase Long culverts D-Flow FM - Rijntakken Lent. Deltares memo 11205257-006-DSC-0002 d.d. 15 december 2020
- Hegnauer, M., Beersma, J.J., Van den Boogaard, H.F.P., Buishand, T.A., Passchier, R.H. (2014). Generator of Rainfall and Discharge Extremes (GRADE) for the Rhine and Meuse basins: Final report of Grade 2.0
- De Jong, J.S. (2018). Afvoergolven Maas op basis van WBI2017. Deltares memo 11202220-002-ZWS-0011, d.d. 3 juli 2018
- De Jong, J.S. (2020) Ontwikkeling zesde-generatie Maas-model. Modelbouw, kalibratie en validatie. Deltares rapport 11200569-003-ZWS-0014
- Van Dam (2020) Oplevering lange duiker-functionaliteit in D-HYDRO. Deltares memo d.d. 15 december 2020

## A Model settings voor de lange duikers

### A.1 Structures.ini aanvulling voor de actuele lange duikers

```
[structure]
  type           = longCulvert
  id             = Maaswinkel
  numCoordinates = 2
  xCoordinates   = 179527.738 179342.056
  yCoordinates   = 332104.651 332107.304
  zCoordinates   = 32.2 32.2
  allowedFlowdir = both
  width          = 3
  height        = 2.5
  frictionType   = Manning
  frictionValue  = 0.015
  valveRelativeOpening = 1.0

[structure]
  type           = longCulvert
  id             = Negenoord
  numCoordinates = 2
  xCoordinates   = 181152.389 181068.357
  yCoordinates   = 337922.204 337820.181
  zCoordinates   = 27.2 27.2
  allowedFlowdir = both
  width          = 9
  height        = 3
  frictionType   = Manning
  frictionValue  = 0.015
  valveRelativeOpening = 1.0

[structure]
  type           = longCulvert
  id             = Tunnel spoorbrug Buggenum
  numCoordinates = 2
  xCoordinates   = 197208.582 197219.404
  yCoordinates   = 359019.167 359103.313
  zCoordinates   = 17.6 17.6
  allowedFlowdir = both
  width          = 3
  height        = 4
  frictionType   = Manning
  frictionValue  = 0.015
  valveRelativeOpening = 1.0

[structure]
  type           = longCulvert
  id             = Groote Molenbeek Wansum
  numCoordinates = 2
  xCoordinates   = 203208.212 203146.829
  yCoordinates   = 392454.983 392567.696
  zCoordinates   = 9 9
```

```
allowedFlowdir      = both
width               = 8
height              = 4
frictionType        = Manning
frictionValue       = 0.015
valveRelativeOpening = 1.0

[structure]
type                = longCulvert
id                  = Groote Molenbeek meerlo
numCoordinates      = 2
xCoordinates        = 203028.965 202956.827
yCoordinates        = 394210.011 394483.758
zCoordinates        = 9 9
allowedFlowdir      = both
width               = 7
height              = 5
frictionType        = Manning
frictionValue       = 0.015
valveRelativeOpening = 1.0
```

## A.2 Structures.ini aanvulling voor de nieuwe lange duikers

```
[structure]
type                = longCulvert
id                  = inlaat Bosscherveld
numCoordinates      = 2
xCoordinates        = 176889.493 176778.897
yCoordinates        = 319503.026 319507.789
zCoordinates        = 42.75 42.75
allowedFlowdir      = both
width               = 3
height              = 1
frictionType        = Manning
frictionValue       = 0.015
valveRelativeOpening = 1.0

[structure]
type                = longCulvert
id                  = inlaat Elerweerd
numCoordinates      = 2
xCoordinates        = 182709.48 182997.347
yCoordinates        = 341721.747 341594.912
zCoordinates        = 27.68 27.68
allowedFlowdir      = both
width               = 26.55
height              = 2
frictionType        = Manning
frictionValue       = 0.015
valveRelativeOpening = 1.0

[structure]
type                = longCulvert
```

id = uitlaat Elerweerd  
numCoordinates = 2  
xCoordinates = 183469.621 183546.588  
yCoordinates = 342110.306 342493.423  
zCoordinates = 26.18 26.18  
allowedFlowdir = both  
width = 40.5  
height = 2  
frictionType = Manning  
frictionValue = 0.015  
valveRelativeOpening = 1.0

[structure]

type = longCulvert  
id = inlaat Heerenlaak  
numCoordinates = 2  
xCoordinates = 184192.623 184327.892  
yCoordinates = 345196.055 345365.389  
zCoordinates = 21.18 24.18  
allowedFlowdir = both  
width = 35  
height = 3  
frictionType = Manning  
frictionValue = 0.015  
valveRelativeOpening = 1.0

[structure]

type = longCulvert  
id = inlaat Contelmo\_1  
numCoordinates = 2  
xCoordinates = 185789.468 185924.668  
yCoordinates = 344698.312 344659.334  
zCoordinates = 25.70 25.70  
allowedFlowdir = both  
width = 60  
height = 3  
frictionType = Manning  
frictionValue = 0.015  
valveRelativeOpening = 1.0

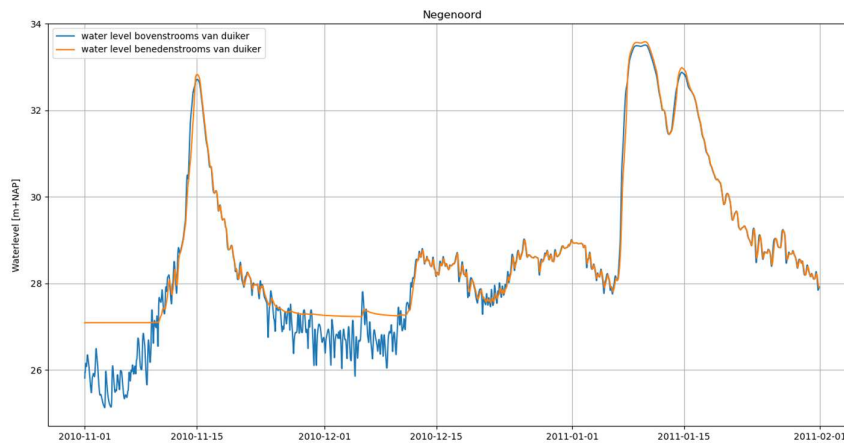
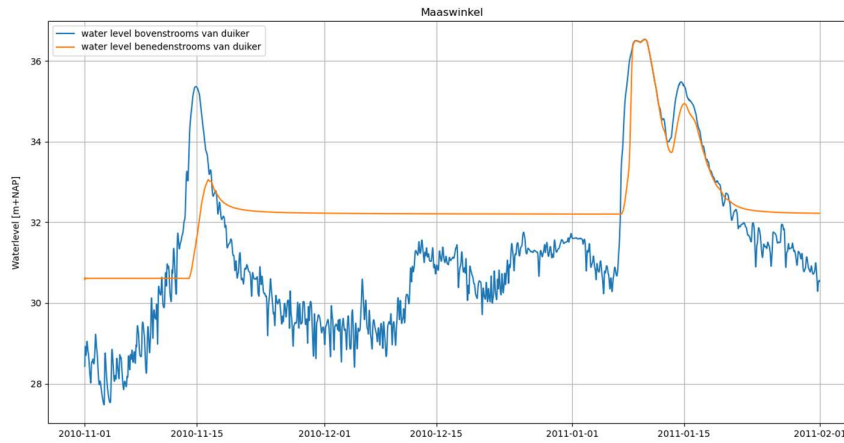
[structure]

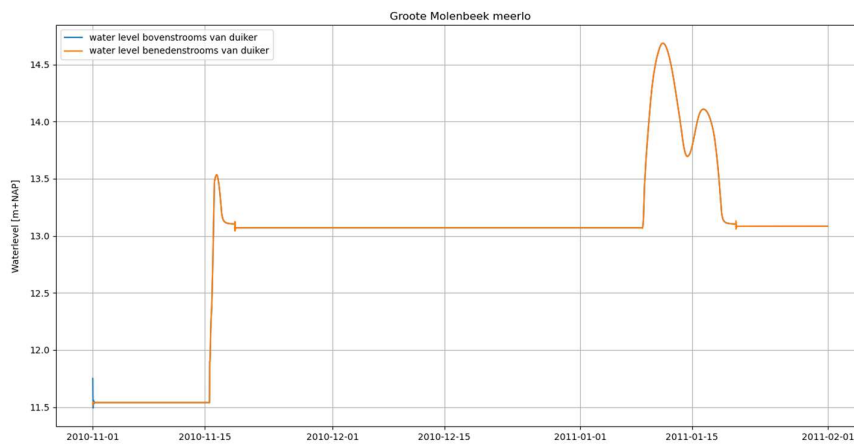
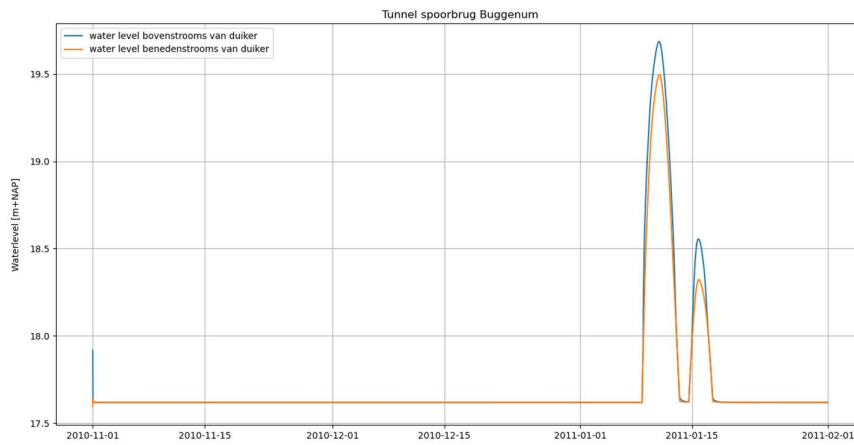
type = longCulvert  
id = inlaat Contelmo\_2  
numCoordinates = 2  
xCoordinates = 186039.829 186189.607  
yCoordinates = 345161.972 345165.086  
zCoordinates = 25.30 25.30  
allowedFlowdir = both  
width = 30  
height = 3  
frictionType = Manning  
frictionValue = 0.015  
valveRelativeOpening = 1.0

## B Figuren

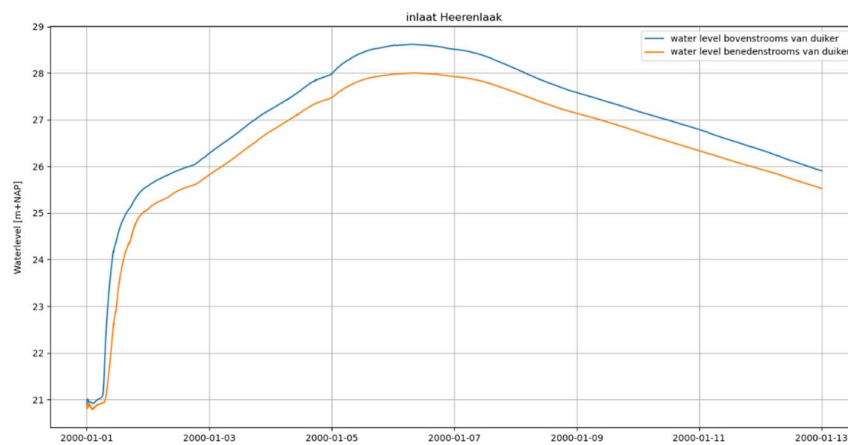
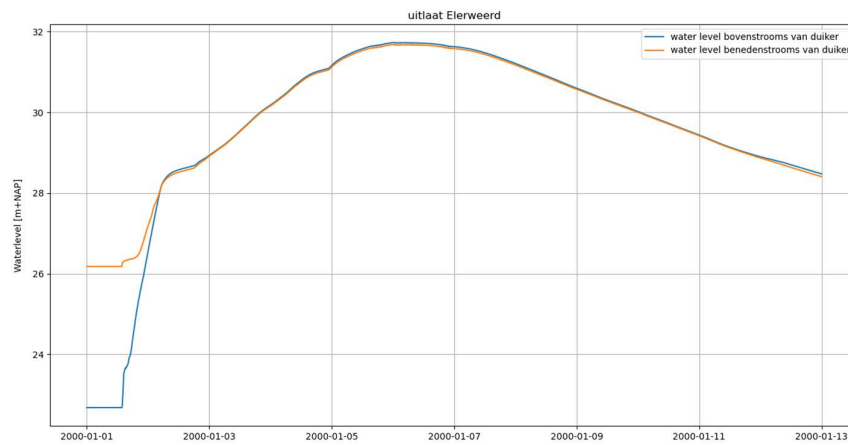
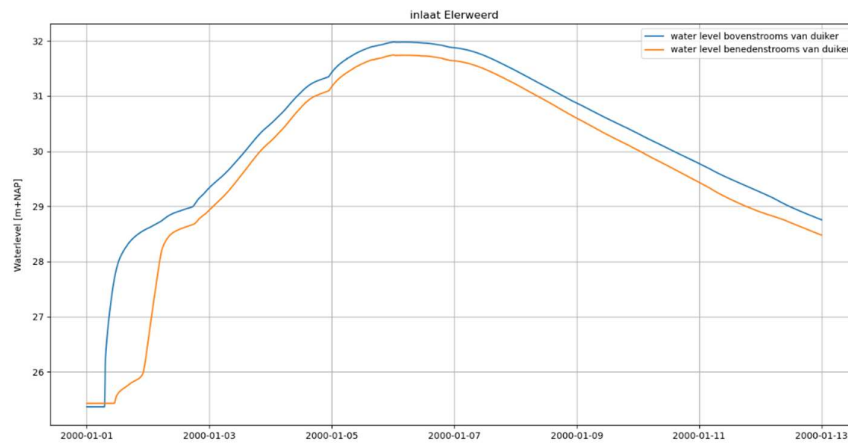
### B.1 Waterstanden boven en benedenstrooms van de duikers

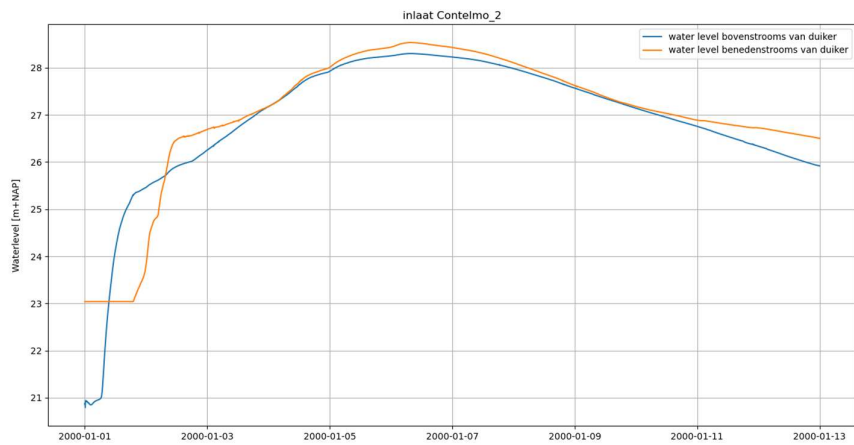
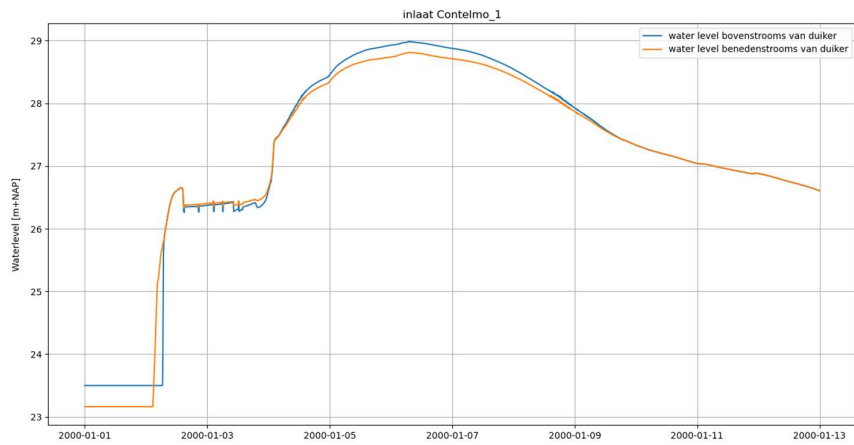
#### B.1.1 Actuele duikers - dflowfm2d-maas-j10\_6-v1





### B.1.2 Toekomstige duikers - dflowfm2d-maas-beno19\_6-w2

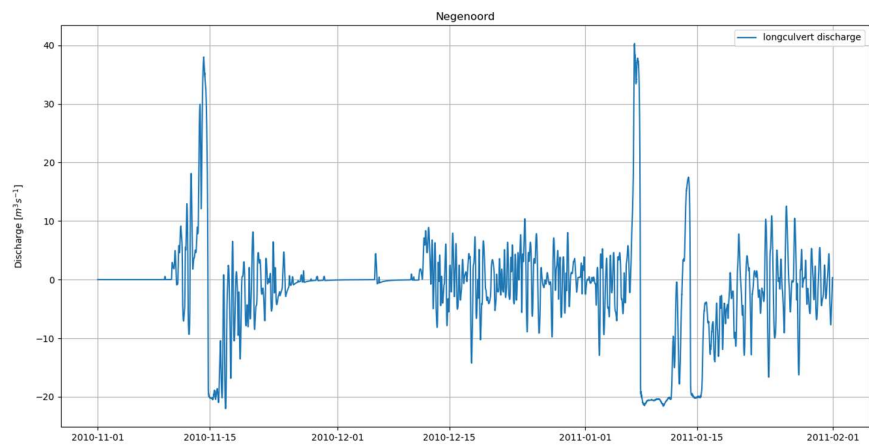
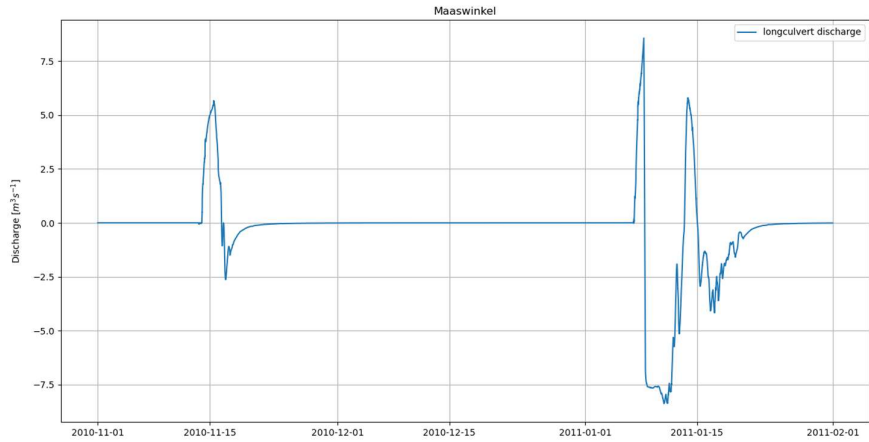


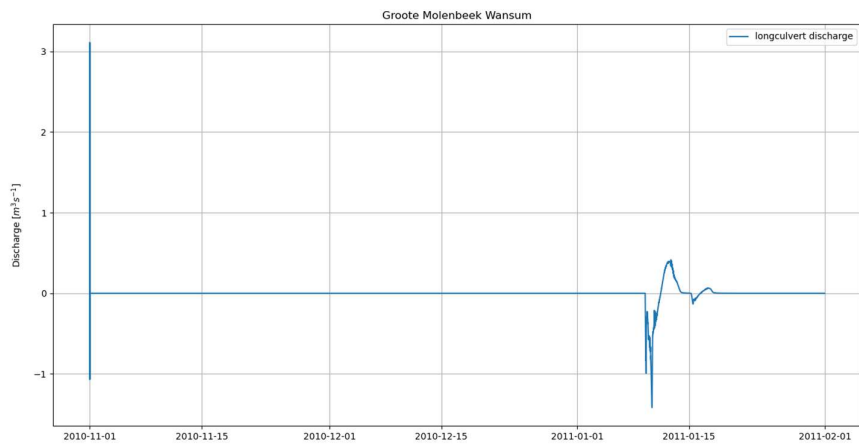
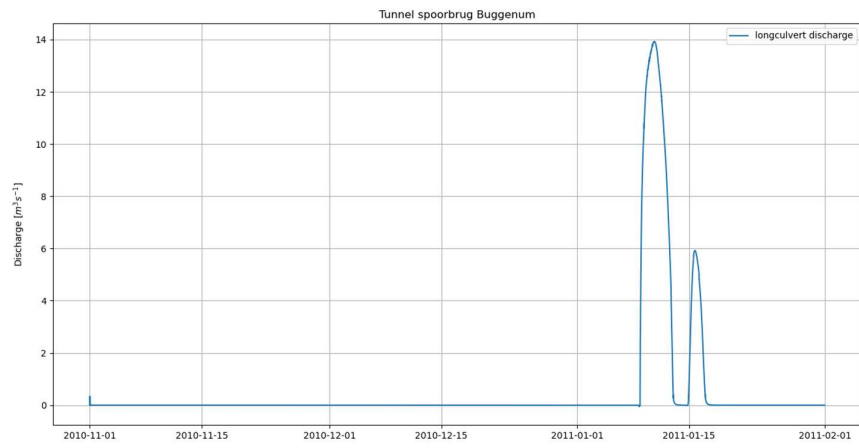




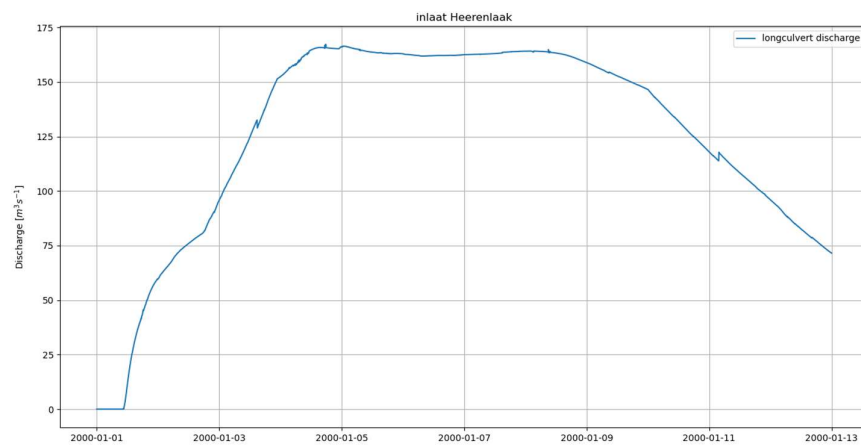
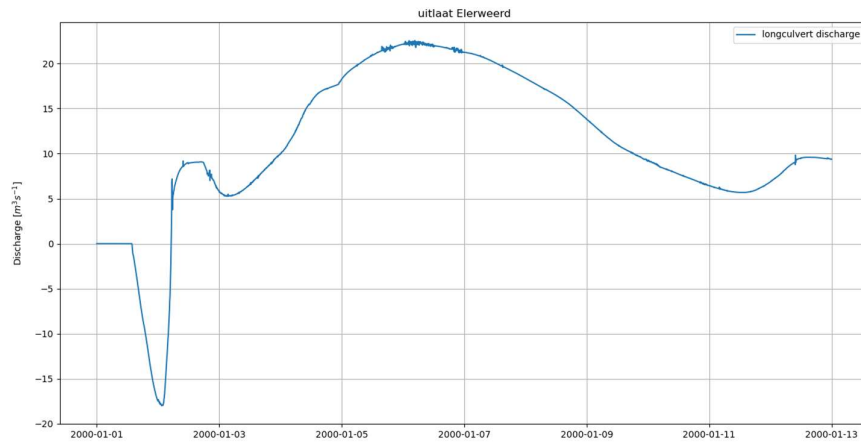
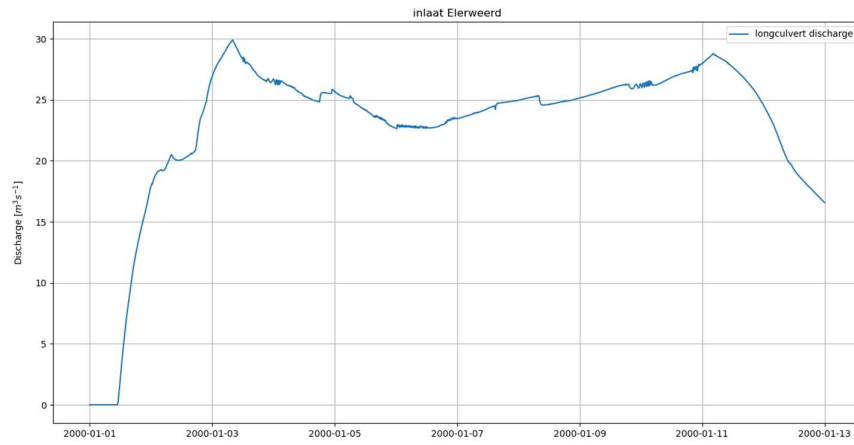
## B.2 Afvoeren door de duikers

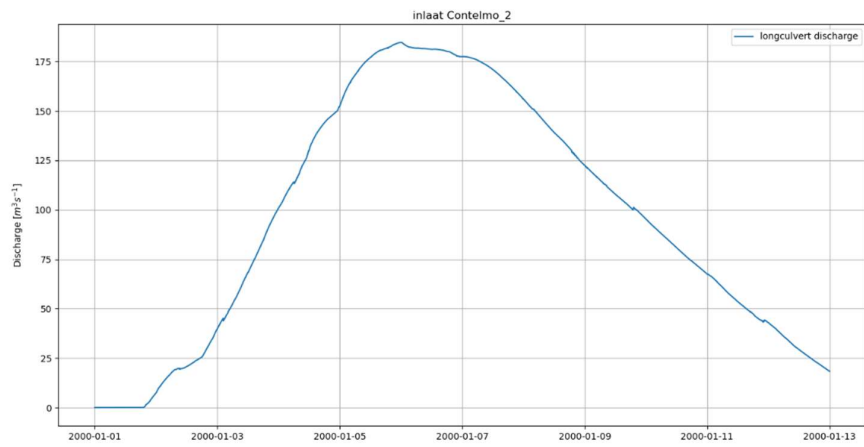
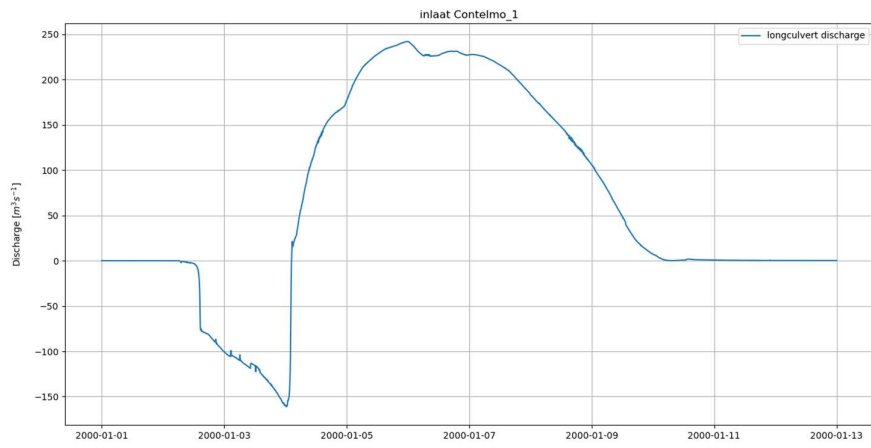
### B.2.1 Actuele duikers - dflowfm2d-maas-j10\_6-v1





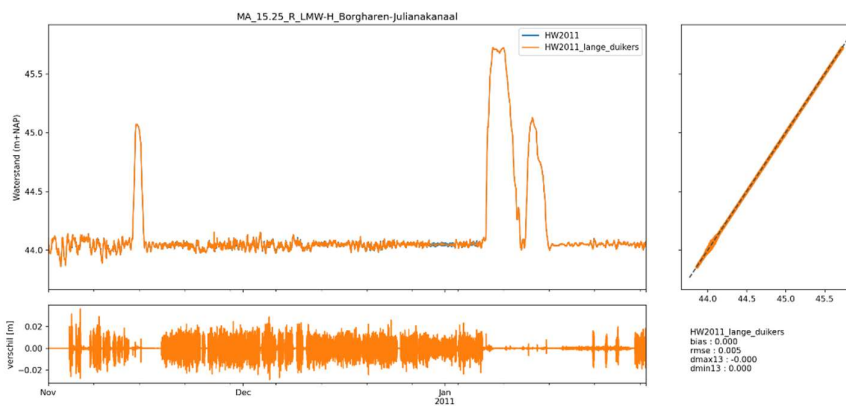
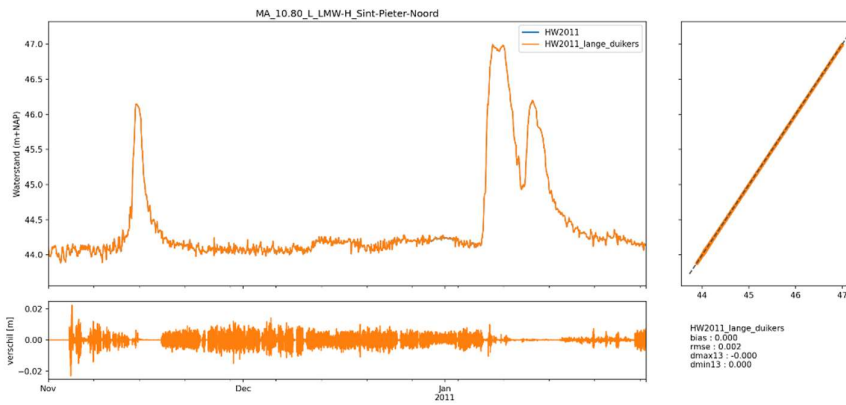
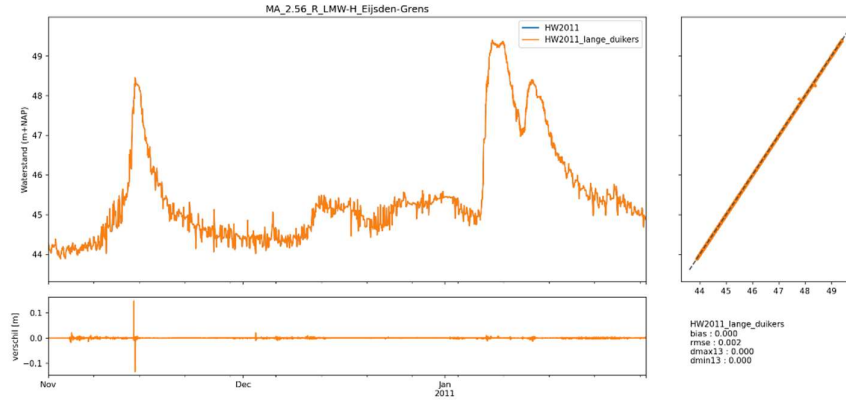
### B.2.2 Toekomstige duikers - dflowfm2d-maas-beno19\_6-w2

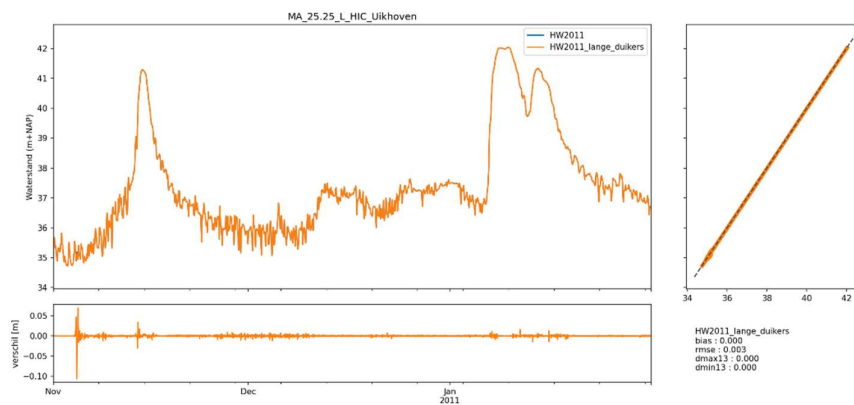
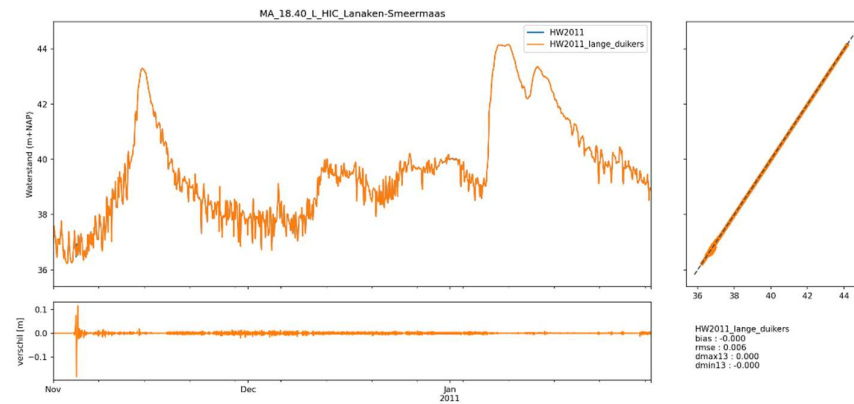
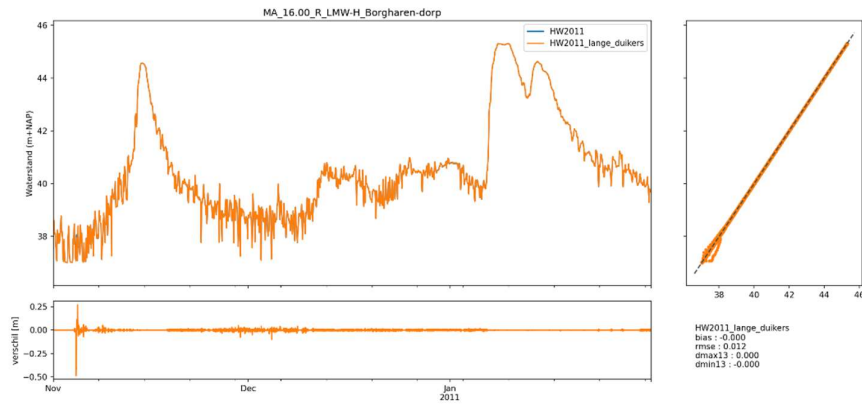


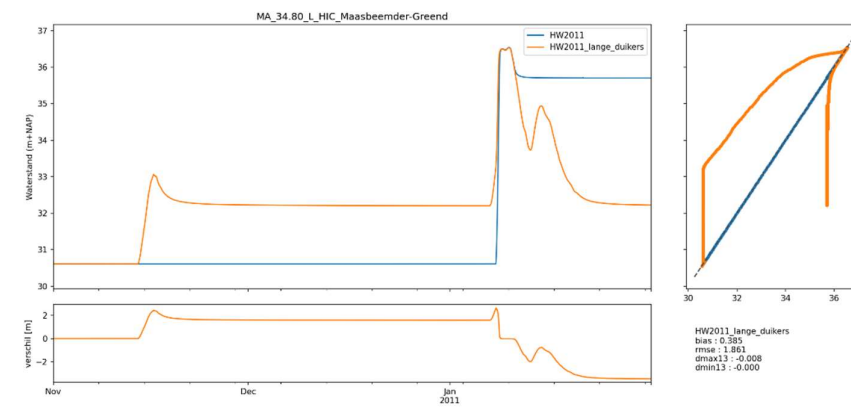
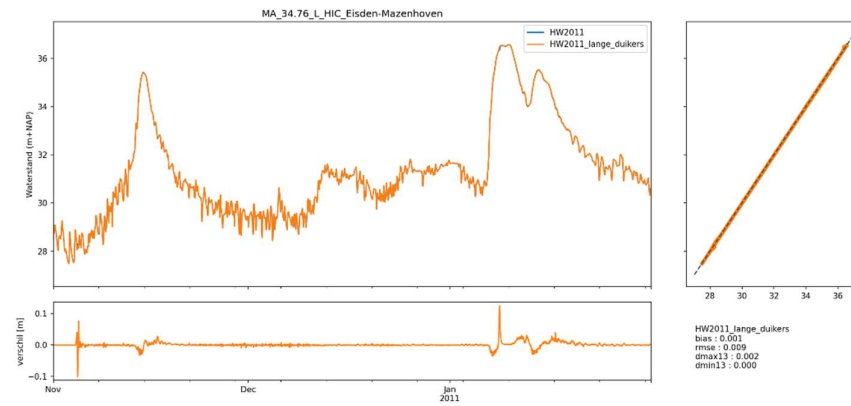
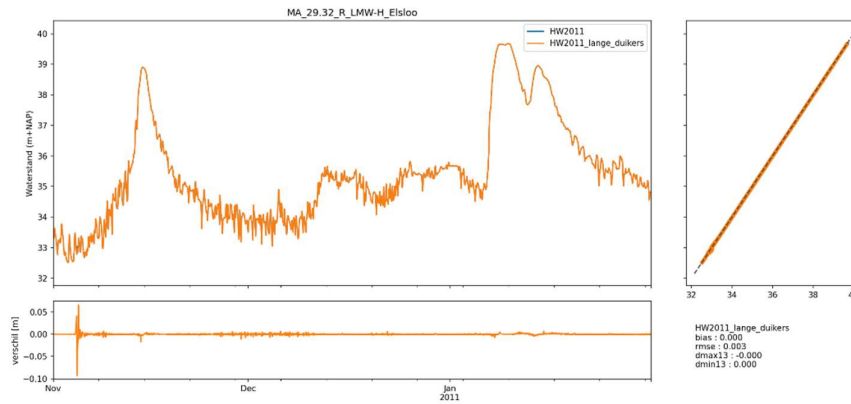


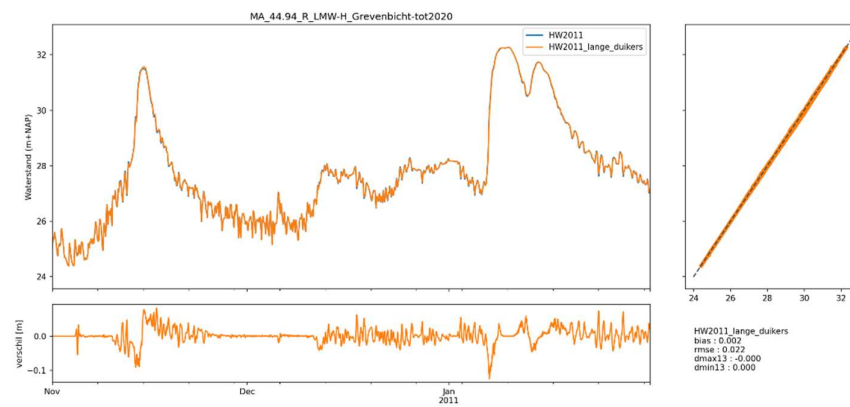
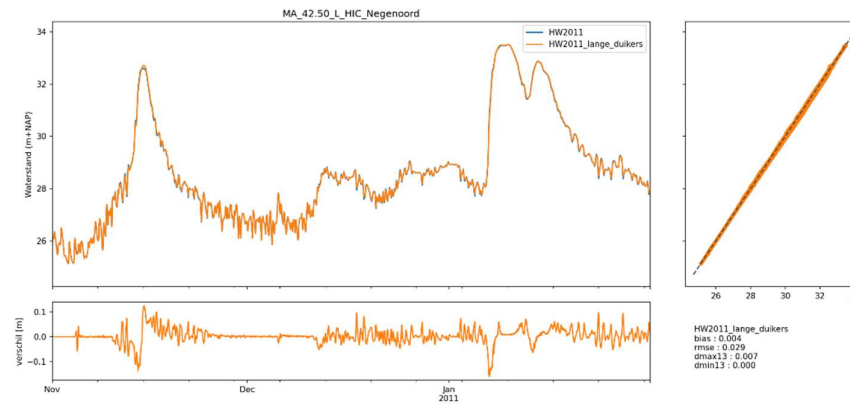
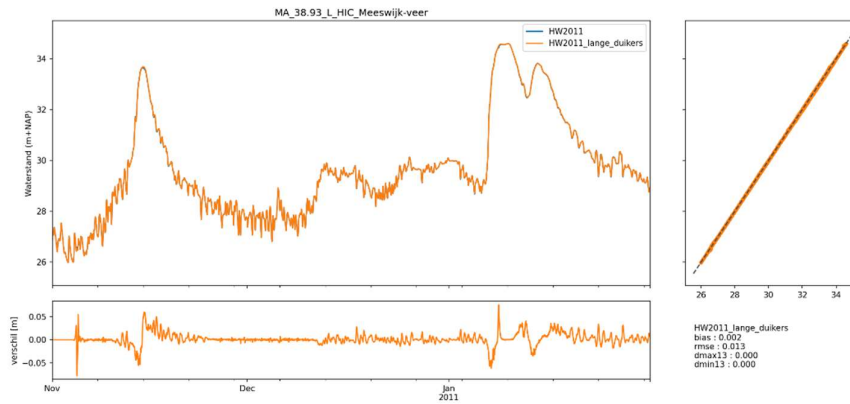
## B.3 Waterstanden bij de meetpunten

### B.3.1 Actuele duikers - dflowfm2d-maas-j10\_6-v1

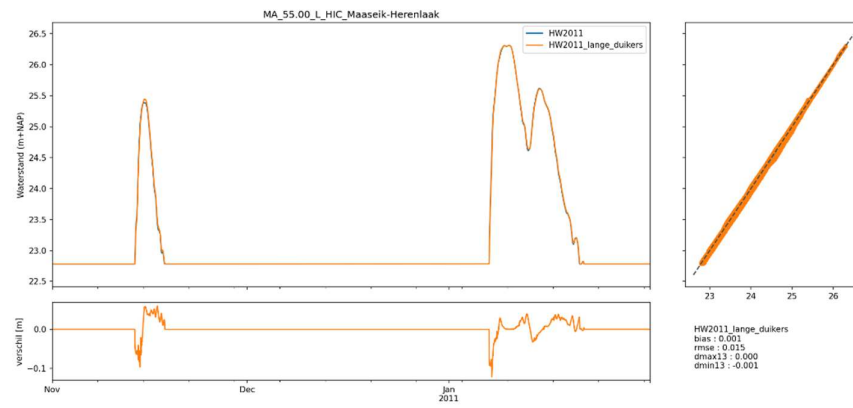
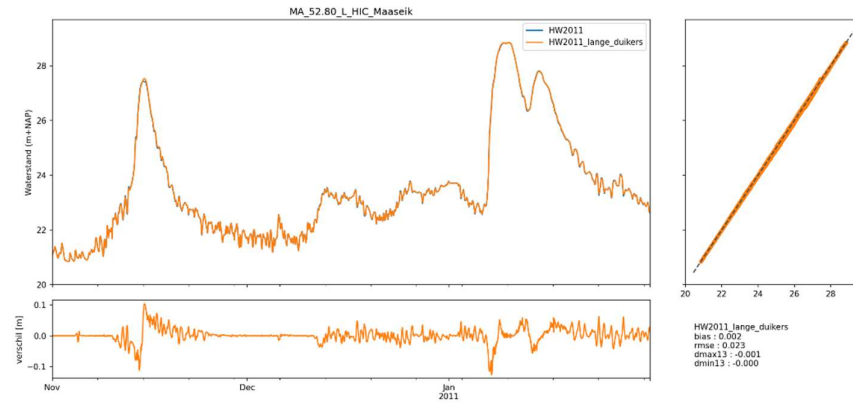
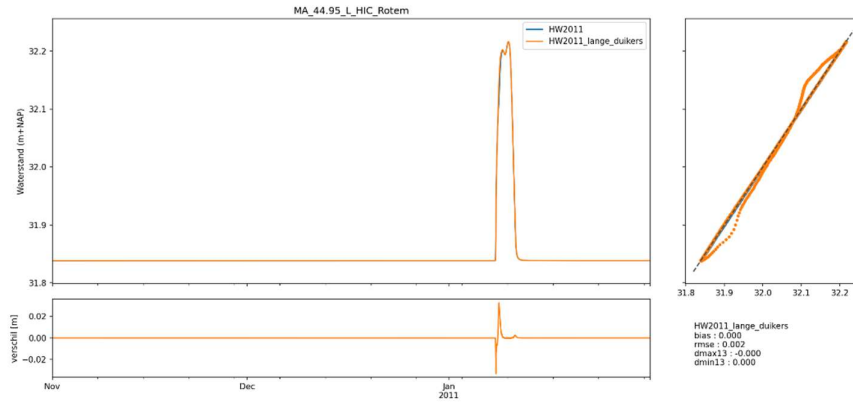


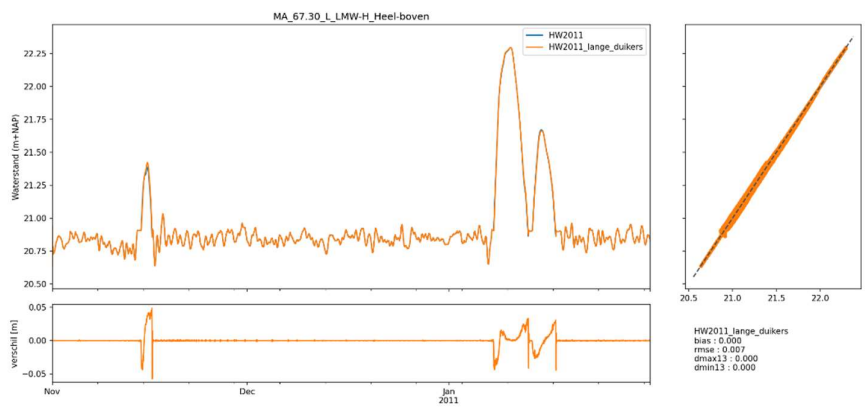
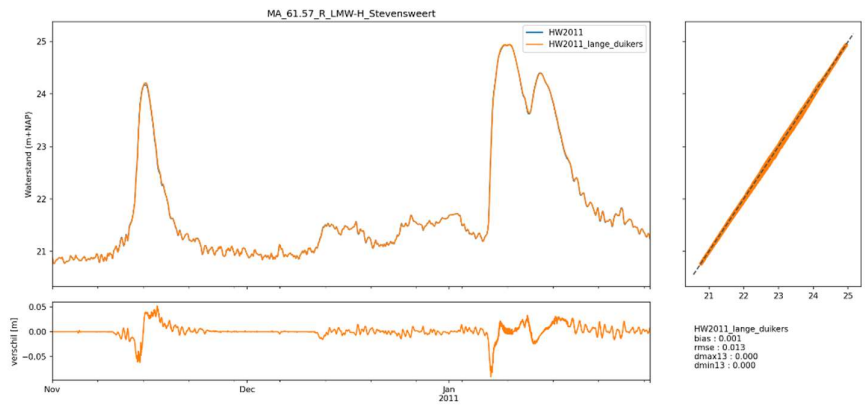
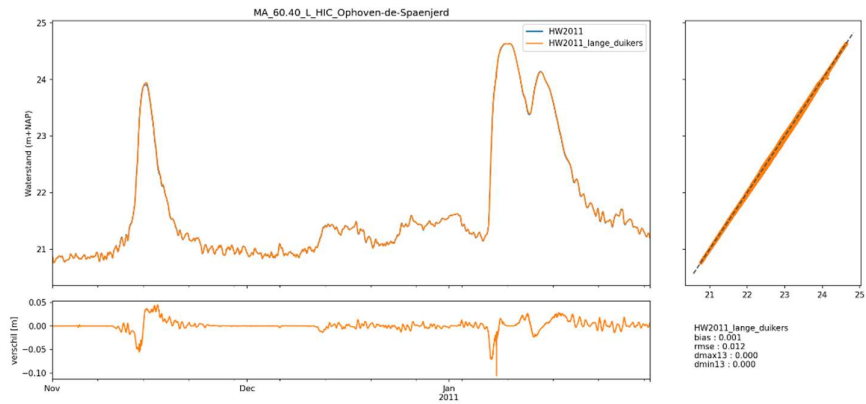


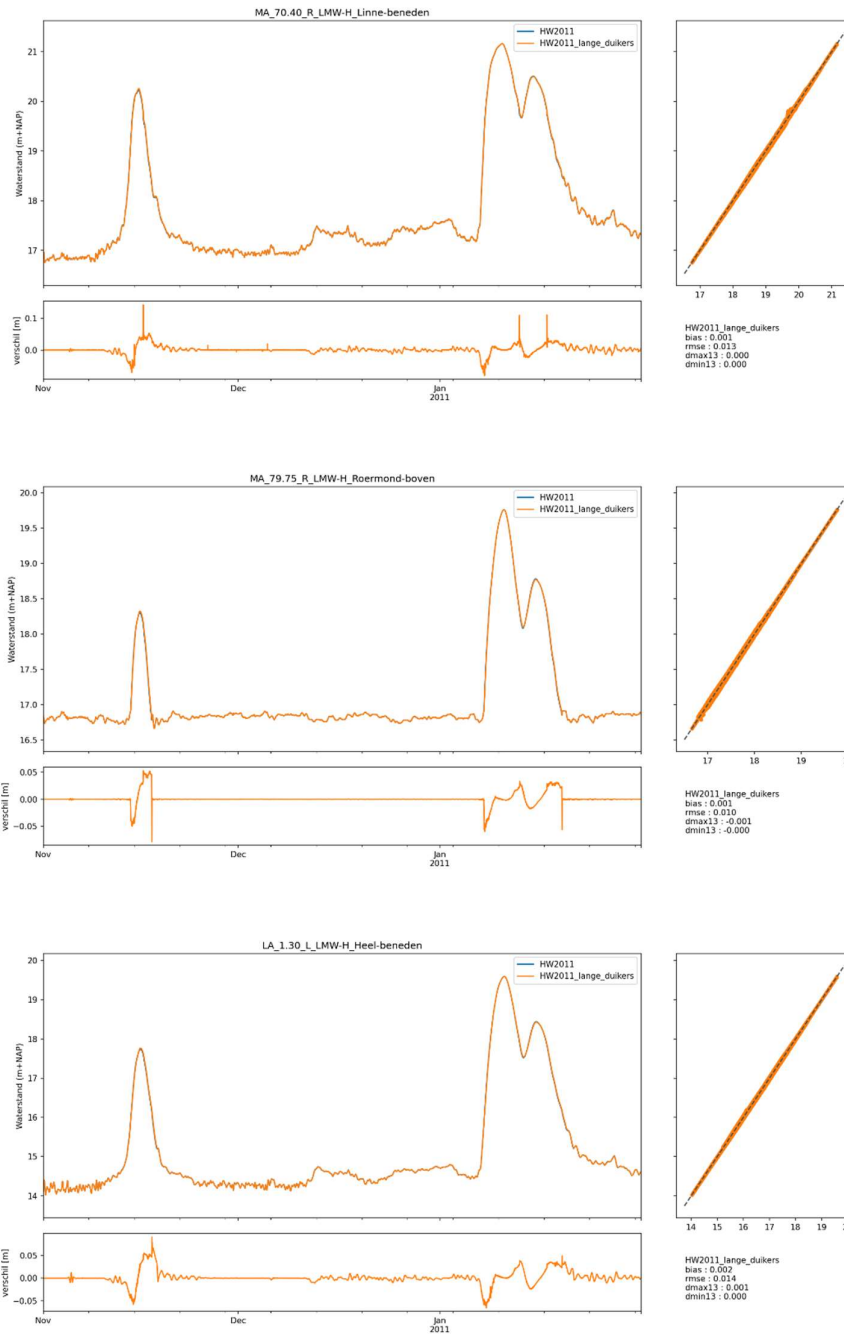


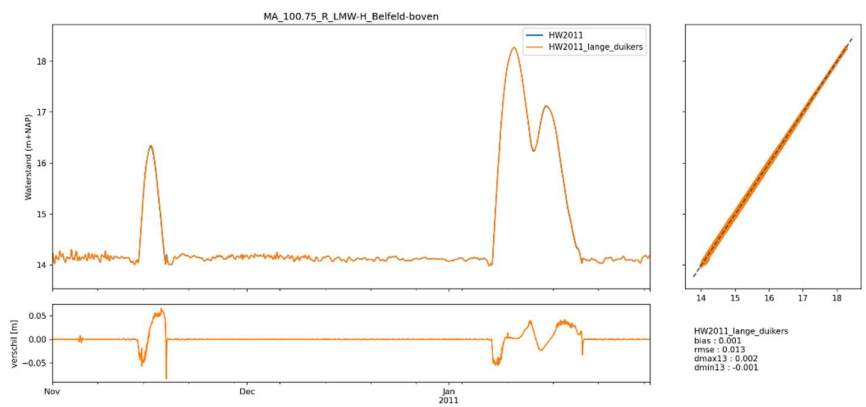
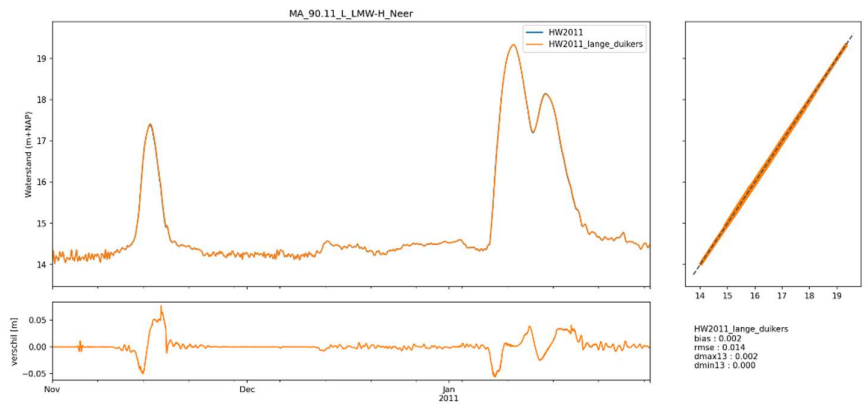
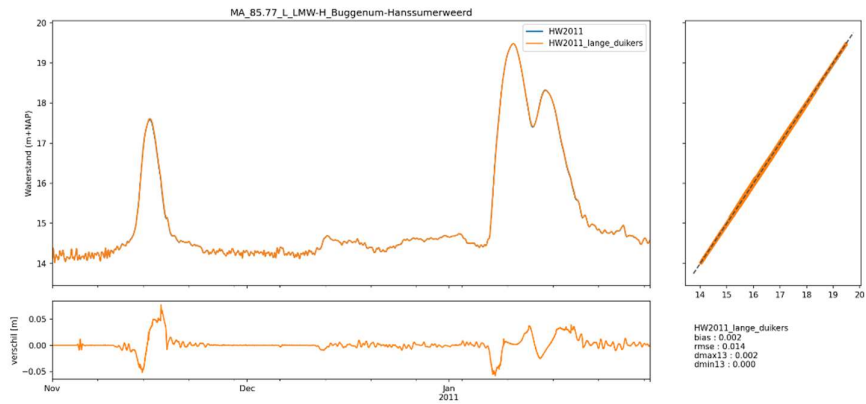


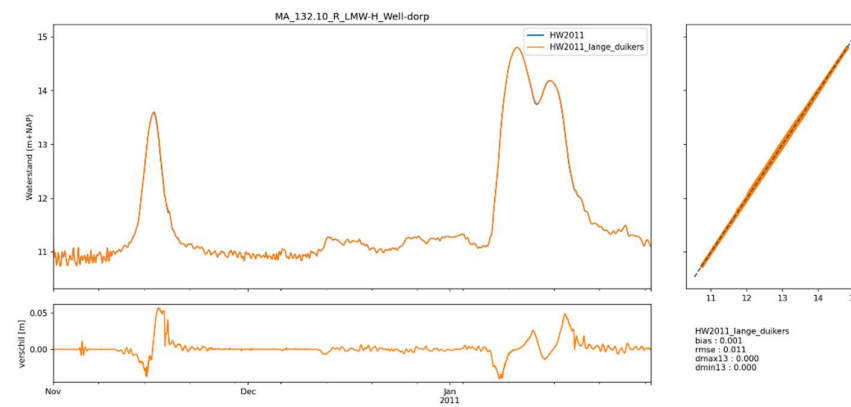
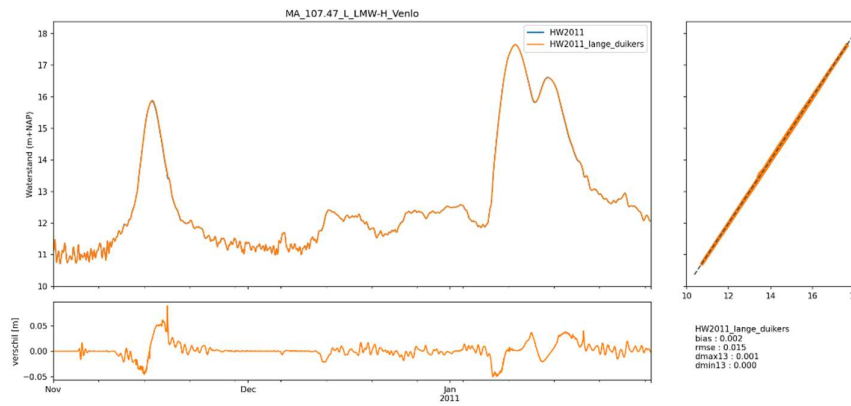
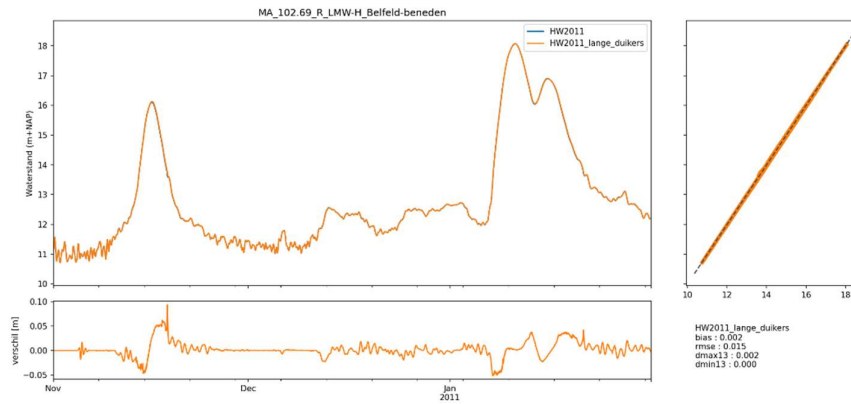


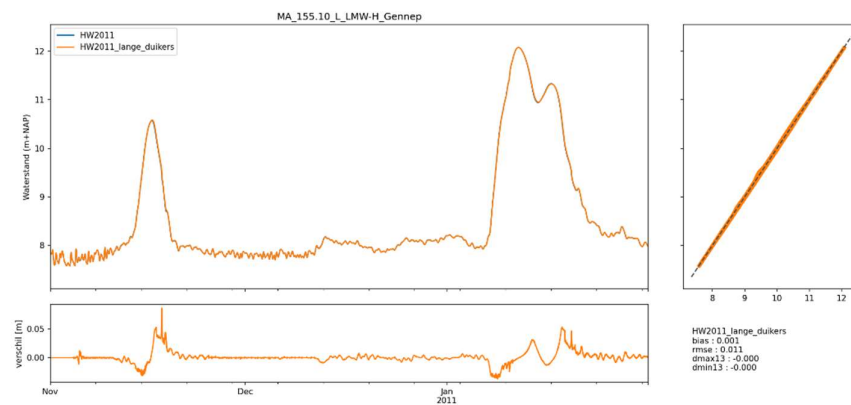
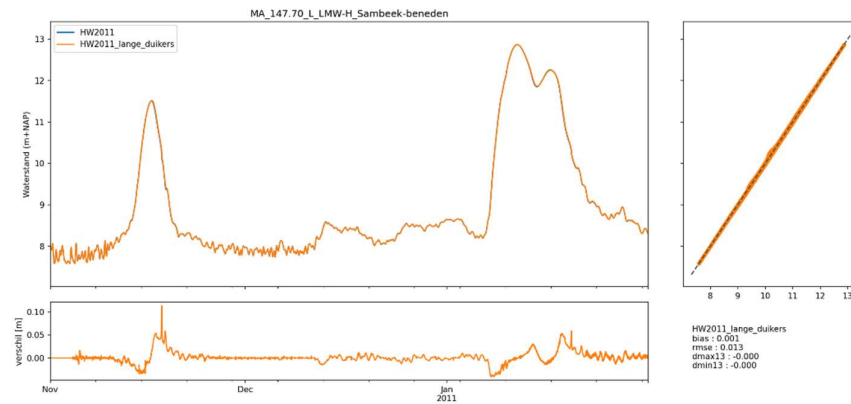
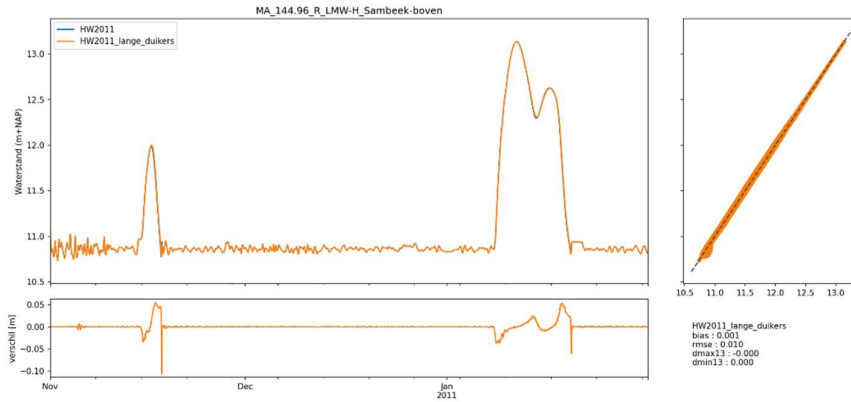


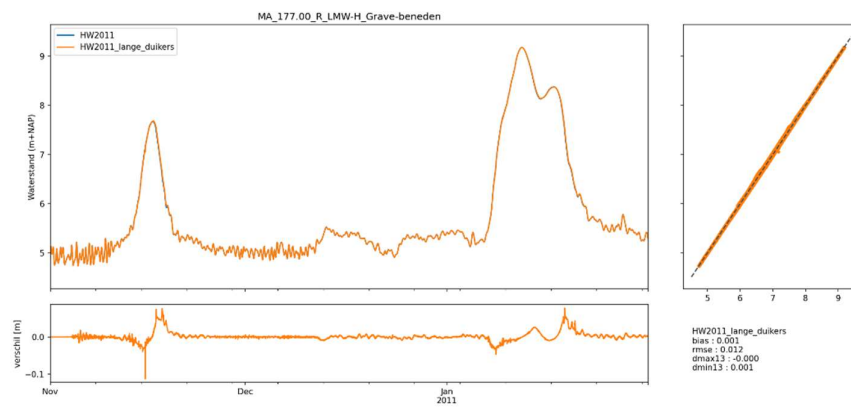
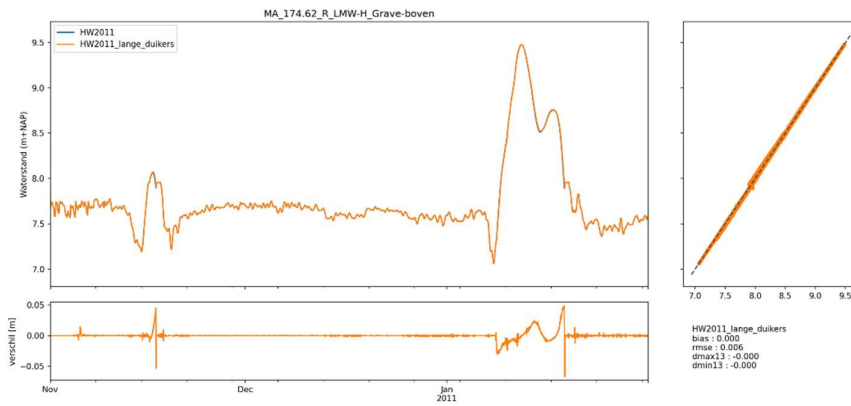
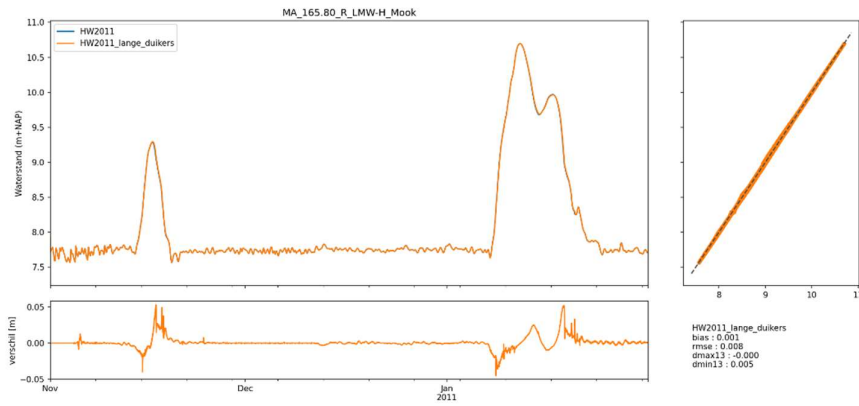


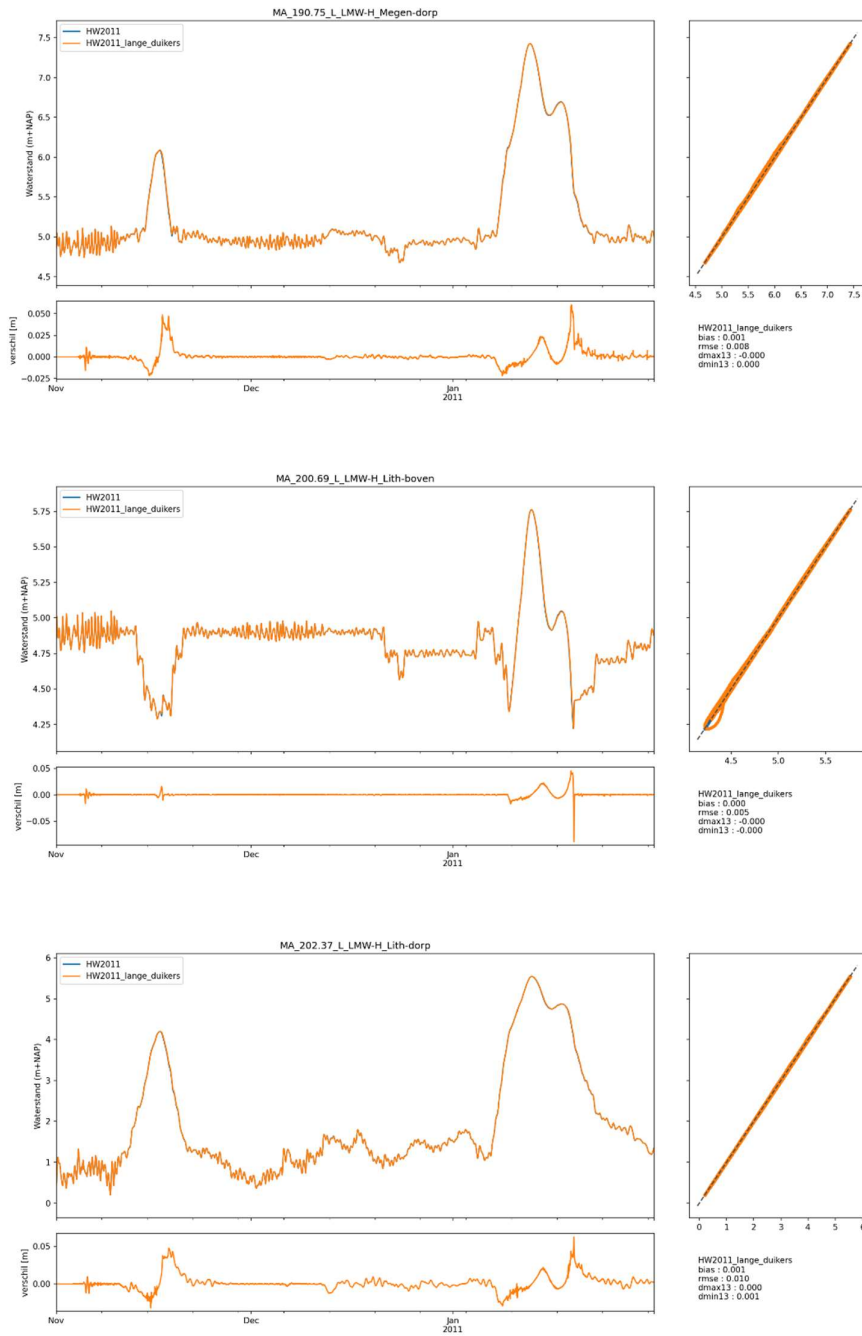




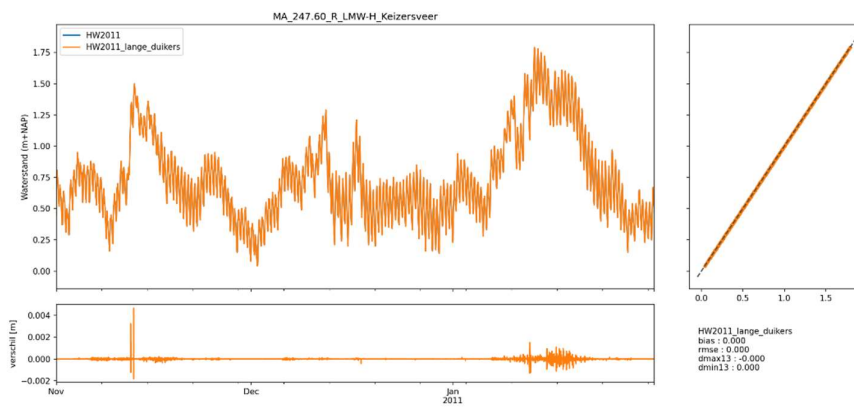
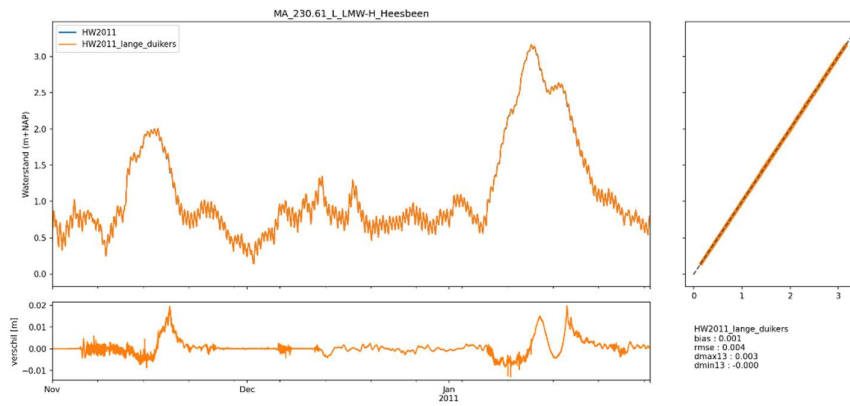
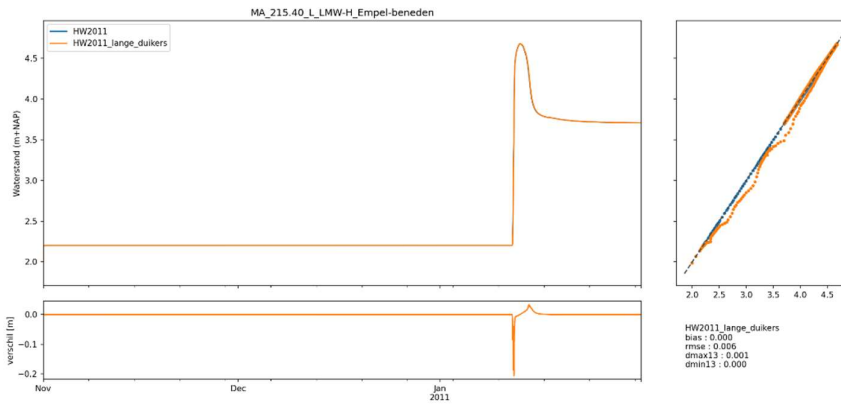












### B.3.2 Toekomstige duikers - dflowfm2d-maas-beno19\_6-w2

