

UNIVERSITEIT
TWENTE.

Hoogwaterverwachtingen op de Overijsselse Vecht

Bachelor scriptie Civiele Techniek

S. A. de Vreeze

s1647741

28-6-2018

Opdrachtperiode april – juni 2018

In opdracht van:



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Milieu



Voorwoord

Voor u ligt de scriptie ‘Hoogwaterverwachtingen op de Overijsselse Vecht’. Het onderzoek voor deze scriptie is uitgevoerd bij Rijkswaterstaat en het Waterschap Drents-Overijsselse Delta. Hierbij is gekeken naar de verschillen in de waterstandsverwachtingen voor de Vecht. De scriptie is geschreven in het kader van mijn afstuderen aan de bacheloropleiding Civiele Techniek aan de Universiteit Twente. Van april 2018 tot en met juni 2018 ben ik bezig geweest met het uitvoeren van het onderzoek en het schrijven van de scriptie.

Samen met een van mijn externe begeleiders, Aad Dollee, heb ik het onderzoeksdoel en de deelvragen voor deze scriptie opgesteld. Met behulp van kwalitatief onderzoek naar de verschillen tussen gemeten waterstanden en verwachte waterstanden, en naar de verschillen tussen de modellen, heb ik aan mijn onderzoeksvraag kunnen voldoen. Tijdens het onderzoek heb ik veel aan mijn externe begeleiders, Aad Dollee, Hans Hartholt en Gerben Tromp, en mijn begeleider vanuit mijn opleiding, Anouk Bomers, gehad. Zij hebben informatie verstrekt waarmee ik mijn onderzoek kon uitvoeren, en hebben ook vaak feedback gegeven. Verder heb ik veel gehad aan de informatie die Carlijn Eijsberg – Bak en Klaas-Jan van Heeringen van Deltares mij hebben verstrekt. Dankzij hen ben ik de modellen gaan begrijpen. Ook hebben zij mij geholpen bij vragen over de beschikbaarheid van data.

Hierbij wil ik graag mijn begeleiders bedanken voor de fijne begeleiding en ondersteuning tijdens dit onderzoekstraject. Tevens wil ik mijn collega's bij Rijkswaterstaat bedanken voor de fijne samenwerking en de goede ondersteuning.

Tenslotte wil ik graag mijn familie en vrienden bedanken. Zij hebben mij moreel ondersteund tijdens het proces. In het bijzonder wil ik Karly van der Spek bedanken. Als peer review partner heeft zij mij geholpen dit onderzoek op te zetten, en mijn verslag duidelijk te verwoorden. Tot slot wil ik mijn ouders in het bijzonder bedanken. Hun wijsheid en motiverende woorden hebben mij geholpen deze scriptie tot een goed einde te brengen.

Ik wens u veel leesplezier toe.

Siska de Vreeze
Lelystad, 28 juni

Samenvatting

De rivier de Vecht wordt door verschillende partijen beheerd. In het gebied tussen Vechterweerd en de Ramspolbrug loopt het beheer van het Waterschap Drents-Overijsselse Delta over in het beheer van Rijkswaterstaat. Beide partijen hebben een modelsysteem om verwachtingen te maken voor de waterstanden op de Vecht. Deze modelsystemen maken gebruik van verschillende input en verschillende onderliggende modellen. Dit kan verschillen in de waterstandsverwachtingen veroorzaken, wat kan leiden tot verwarring in het geval van een dreigende situatie, zoals hoogwater. Daarom is het van belang te weten wat de verschillen en overeenkomsten tussen de modellen zijn, en op basis hiervan afspraken te maken over hoe de informatie uit de modellen te beoordelen. Daarom is de hoofdvraag voor dit onderzoek:

“Welke waterstandsverwachting, FEWS-Vecht of RWSOS-Meren, is het meest bruikbaar in welke situatie?”

Om het onderzoek structuur te geven, zijn drie onderzoeksvragen opgesteld.

1. Wat zijn de verschillen tussen beide modelsystemen in termen van datastromen?
2. Welke situaties zijn de afgelopen jaren voorgekomen?
3. Hoe wijkt de berekende data af van de gemeten data en wat veroorzaakt deze afwijking?

Met behulp van literatuuronderzoek, een veldbezoek aan de Vecht, en overleg met een aantal experts is de eerste onderzoeksvraag beantwoord. Hieruit is gebleken dat de opname van wind en neerslag het belangrijkste verschil tussen de modelsystemen is. Het model van het waterschap, FEWS-Vecht, berekent op basis van de neerslag een verwachte afvoer en waterstand. Het model van Rijkswaterstaat, RWSOS-Meren, berekent op basis van de wind een verwachte windopzet en waterstand.

Vervolgens zijn de afvoer-, waterstands-, en windmeetlocaties gekozen. Voor de afvoermeetlocaties zijn Ommen, Dalfsen en Genemuiden gebruikt. Voor de waterstandsmetingen zijn de locaties Vechterweerd, Mond der Vecht, Zwartsluis en de Ramspolbrug gebruikt. Als windmeetlocaties zijn Stavoren, de Rotterdamse Hoek en de Houtribdijk gekozen. Op basis van deze locaties is meetdata van 1 januari 2018 tot 2 mei 2018 verzameld. Vervolgens zijn de volgende situaties uitgekozen: 1 januari tot 9 januari; 17 januari tot 21 januari; 27 januari tot 6 februari; 10 februari tot 15 februari; 4 april tot 7 april; 29 april tot 2 mei. Deze situaties zijn geanalyseerd om de invloed van wind en afvoer op de waterstanden te bepalen. Dit vormt het resultaat van de tweede onderzoeksvraag.

De derde onderzoeksvraag is beantwoord door de verwachtingsdata van beide modelsystemen met elkaar te vergelijken. Indien het verschil groter was dan 10 centimeter, is gekeken naar het verschil van beide modellen ten opzichte van de gemeten data. Zo is een advies geschreven betreffende welk model in welke situatie een bruikbaar resultaat geeft.

Uit het onderzoek is gebleken dat het verschil tussen de verwachtingen van de twee modelsystemen klein is. Echter, wanneer het verschil wel meer dan tien centimeter bedraagt, wordt naar de locatie en de aard van de waterstand gekeken. FEWS-Vecht is in de meeste gevallen het meest bruikbaar voor Vechterweerd, en bij een afvoergedreven periode bij Mond der Vecht. RWSOS-Meren is in de meeste gevallen het meest bruikbare model voor Zwartsluis en de Ramspolbrug, en in windgedreven periode voor Mond der Vecht.

De belangrijkste discussiepunten van dit onderzoek worden veroorzaakt door de beperkte data. Data van RWSOS-Meren was pas vanaf januari 2018 geschikt, waardoor alleen data van de periode januari tot mei 2018 gebruikt kon worden. Verder is ruwe data voor de laterale afvoeren en de afvoer bij Dalfsen gebruikt. Deze data is niet bewerkt en kan onnauwkeurigheden bevatten. Een andere onzekerheid in het onderzoek is het gebruik van de verwachtingen bij de vergelijking, in plaats van de hindcast, waardoor onzekerheden in de meteorologische modellen het resultaat kunnen beïnvloeden. Vervolgonderzoek zou zich bezig kunnen houden met het onderzoeken van meer locaties, of het onderzoeken van een langere tijdsperiode, waarin meer seizoenen meegenomen worden. Verder zou eventueel een hindcast of iets vergelijkbaars opgezet kunnen worden voor FEWS-Vecht, om zo de onzekerheden van de meteorologische modellen uit te sluiten.

Enkele aanbevelingen gebaseerd op dit onderzoek zijn genoemd. Zo kan voor RWSOS-Meren de mogelijkheid worden onderzocht om de schatting van de laterale afvoeren te vervangen door verwachtingen uit FEWS-Vecht. Verder kan ook de vindbaarheid van data in MATROOS verbeterd worden.

Inhoudsopgave

1.	Inleiding en onderzoeksvragen.....	8
1.1.	Scope	9
1.2.	Probleemstelling, doel en onderzoeksvragen	9
1.2.1.	Onderzoeksvraag 1	10
1.2.2.	Onderzoeksvraag 2	10
1.2.3.	Onderzoeksvraag 3	10
1.3.	Leeswijzer	10
2.	Theoretisch kader	11
2.1.	De Vecht.....	11
2.1.1.	Invloeden op de Vecht.....	12
2.2.	Hoogwaterverwachtingssystemen	13
2.3.	FEWS-Vecht	14
2.3.1.	Input en randvoorwaarden	14
2.3.2.	Model.....	15
2.3.3.	Output.....	15
2.4.	RWsOS-Meren	16
2.4.1.	Input en randvoorwaarden.....	16
2.4.2.	Model.....	16
2.4.3.	Output.....	16
2.5.	Vergelijking FEWS-Vecht en RWsOS-Meren.....	17
3.	Methode.....	18
3.1.	Onderzoeksvraag 1	18
3.2.	Onderzoeksvraag 2	18
3.3.	Onderzoeksvraag 3	19
4.	Resultaten	21
4.1.	Onderzoeksvraag 1	21
4.1.1.	Afvoer uit lateralen.....	21
4.1.2.	Wind	21
4.1.3.	Sturing van de stuwen en sluizen	22
4.1.4.	Bodemruwheid	22
4.1.5.	Conclusie	23
4.2.	Onderzoeksvraag 2	24
4.3.	Onderzoeksvraag 3	27
4.3.1.	Geschikte periodes voor onderzoek.....	27
4.3.2.	Resultaten per periode	27
4.3.3.	Algemene resultaten	29
5.	Discussie.....	30
5.1.	Aandachtspunten	30

5.2. Suggesties voor vervolgonderzoek.....	31
6. Conclusie.....	32
7. Aanbevelingen.....	33
8. Literatuurlijst.....	34
Bijlage A.1 Locaties Windmeetstations	36
Bijlage A.2 Locaties afvoermeetstations.....	37
Bijlage A.3 Locaties waterstandmeetstations.....	38
Bijlage B Locaties kunstwerken.....	39
Bijlage C.1 Analyse gekozen periodes.....	40
Bijlage C.2 Laterale afvoeren.....	59
Bijlage D.1 Gemeten en verwachte waterstanden: Periode 1.....	65
Bijlage D.2 Gemeten en verwachte waterstanden: Periode 2.....	69
Bijlage D.3 Gemeten en verwachte waterstanden: Periode 3.....	73
Bijlage D.4 Gemeten en verwachte waterstanden: Periode 4.....	77
Bijlage D.5 Gemeten en verwachte waterstanden: Periode 5.....	81
Bijlage D.6 Gemeten en verwachte waterstanden: Periode 6.....	85
Bijlage D.7 Uitgesloten periodes.....	89
Bijlage E Analyse afwijkingen.....	92

Begrippenlijst

Begrip	Definitie/verklaring
Alarmeringswaarden	Deze waarden zijn vastgesteld om een bepaalde veiligheid te waarborgen. Indien deze alarmeringswaarde overschreden wordt, wordt er een alarmering uitgegeven.
COSMOLEPS	Een neerslagverwachting die geschikt is voor ensembleverwachtingen
Datastroom	De manier waarop data overgedragen wordt binnen een model
ECMWF	Een Europese meteorologische organisatie die neerslagdata aanlevert voor FEWS-Vecht
Eéndimensionaal	Alleen in de lengte van een waterlichaam/rivier
Ensembleverwachting	Een ensembleverwachting bestaat uit een groot aantal verwachtingen. Aangezien deze verwachtingen vaak van elkaar verschillen, kan een onzekerheid in de verwachting vastgesteld worden.
FEWS-Meren	Zie RWsOS-Meren
FEWS-Vecht	Het modelsysteem dat door waterschappen gebruikt wordt om waterstandsverwachtingen te genereren voor de Vecht
Gemiddelde windsnelheid	De gemiddelde windsnelheid waar in dit verslag over gesproken wordt, is de windsnelheid gemiddeld over de locaties Stavoren, Rotterdamse Hoek en Houtribdijk.
HARMONIE	HARMONIE is een weermodel van het KNMI, dat speciaal ontwikkeld is voor de korte termijn verwachtingen. Momenteel wordt dit model nog niet gebruikt in RWsOS-Meren.
HBV	Een HBV model is een neerslag-afvoermodel, dat de gevallen neerslag op een stroomgebied omrekent tot een afvoer van dit stroomgebied.
Hindcast	De situatie van het verleden wordt opnieuw doorgerekend, met behulp van de gemeten inputwaarden, zoals een neerslag- of windmeting. Zo wordt de invloed van de weermodellen geminimaliseerd, en wordt gefocust op de verschillen tussen FEWS-Vecht en RWsOS-Meren.
HiRLAM	HiRLAM is een weermodel van het KNMI, dat speciaal ontwikkeld is voor de korte termijn verwachtingen
MATROOS	Online database van Rijkswaterstaat. Hierin zijn onder andere gemeten en verwachte afvoeren, windsnelheden, windrichtingen en waterstanden te vinden.
Meerpeil	Een virtuele waarde die over het gehele oppervlakte van het IJsselmeer gelijk is. Het meerpeil wordt bepaald aan de hand van vier meetpunten langs het IJsselmeer. Hier wordt een gewogen gemiddelde van genomen. In de

	werkelijke situatie is het onrealistisch dat het IJsselmeer over de gehele oppervlakte dezelfde waterstand heeft.
RWsOS-Meren	Het modelsysteem dat door Rijkswaterstaat gebruikt wordt om waterstandsverwachtingen te genereren voor het IJsselmeer, het Zwarte Meer, het Zwarte Water, en een deel van de Vecht.
RWsOS-Rivieren	Het modelsysteem dat door Rijkswaterstaat gebruikt wordt om waterstandsverwachtingen en afvoeren te genereren voor de grote rivieren.
SIMONA	SIMONA is het verwachtingsmodelsysteem dat door Rijkswaterstaat wordt gebruikt.
SOBEK	SOBEK is het hydraulische model dat in FEWS-Vecht wordt gebruikt.
Tweedimensionaal	Alleen in de lengte en breedte van een waterlichaam/rivier
WAQUA	Een model dat onderdeel is van RWsOS-Meren. Met dit model worden waterstanden op het IJsselmeer, het Zwarte Meer, het Zwarte Water en een deel van de Vecht berekend.
Windschuifspanning	Dit heeft te maken met hoe de wind het water als het ware meetrekt of opstuwt. In het kader van dit onderzoek wordt hier verder niet op ingegaan.

Afkortingenlijst

Afkorting	Definitie
COSMOLEPS	Consortium for Small Scale Modelling – Limited-Area Ensemble Prediction System
DWD	Deutsche WetterDienst
ECMWF	Europees Centrum voor Weersverwachtingen op Middellange Termijn
FEWS	Flood Early Warning System
HARMONIE	HIRLAM ALADIN Research on Mesoscale Operational NWP in Euromed
HiRLAM	High Resolution Limited Area Model
HBV	Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning
LMW	Landelijk Meetnet Water
NLWKN	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
NRW	Noordrijn-Westfalen
SIMONA	Simulatie MOdellen NAtte waterstaat
WAQUA	WATER QUAntity

1. Inleiding en onderzoeksvragen

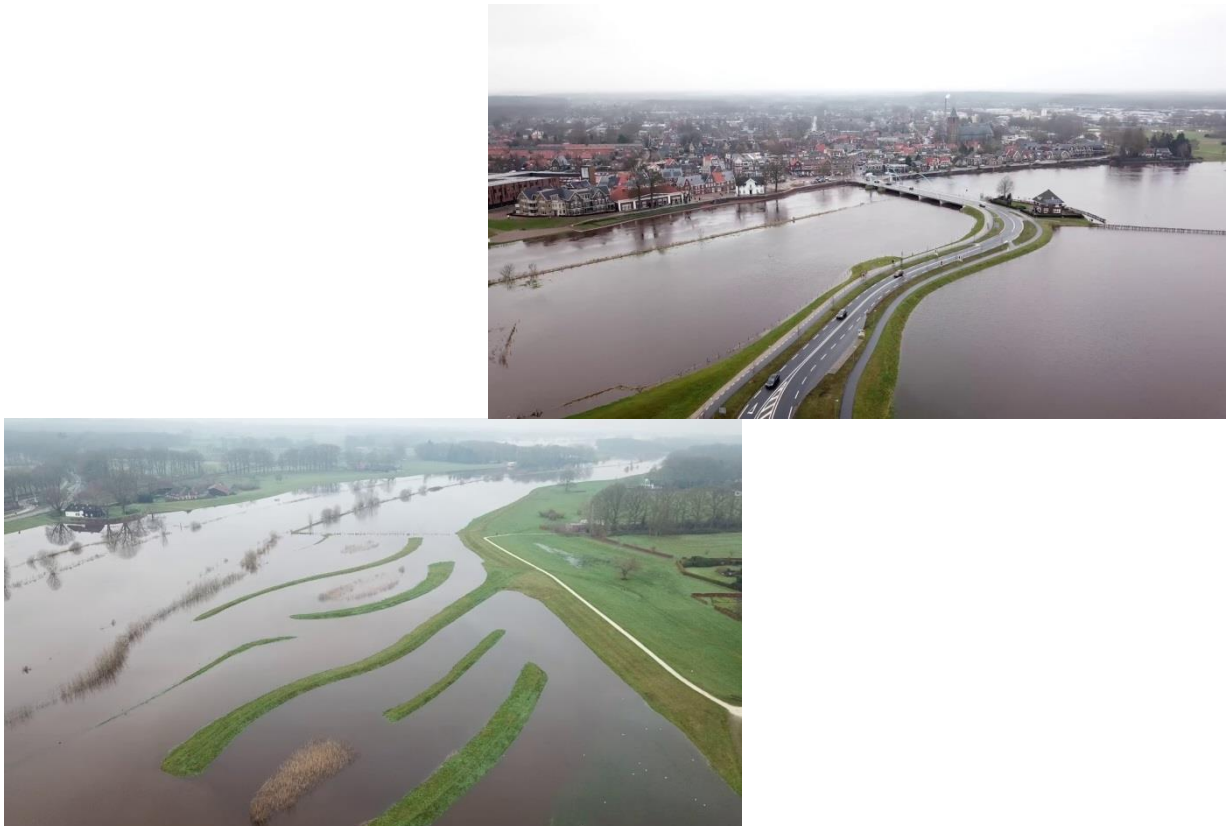
“Hoogwater in Vecht en IJssel blijft stijgen” (BlikOpNieuws, 7/1/2018)

“Ramspolkering dicht om Kampereiland te beschermen” (rtvOost, 3/1/2018)

“ ‘Dijkenpleisters’ langs Vecht en sluisdeuren Zwarte Water dicht door verwacht hoogwater” (KampenOnline, 2/1/2018)

“ ‘Hoogwatertoeristen’ kijken hun ogen uit langs IJssel en Vecht” (de Stentor, 7/1/2018)

Bovenstaande zijn enkele nieuwskoppen over de hoogwatersituatie van begin dit jaar. De storm van 3 januari, gecombineerd met een hoge afvoer vanuit de Vecht en de IJssel, veroorzaakte hoge waterstanden op deze rivieren, maar ook bij het Zwarte Meer. In Figuur 1 (Siemers, A., 2018) is het hoogwater van de Vecht bij Dalfsen te zien.



Figuur 1 Hoogwater van de Vecht bij Dalfsen

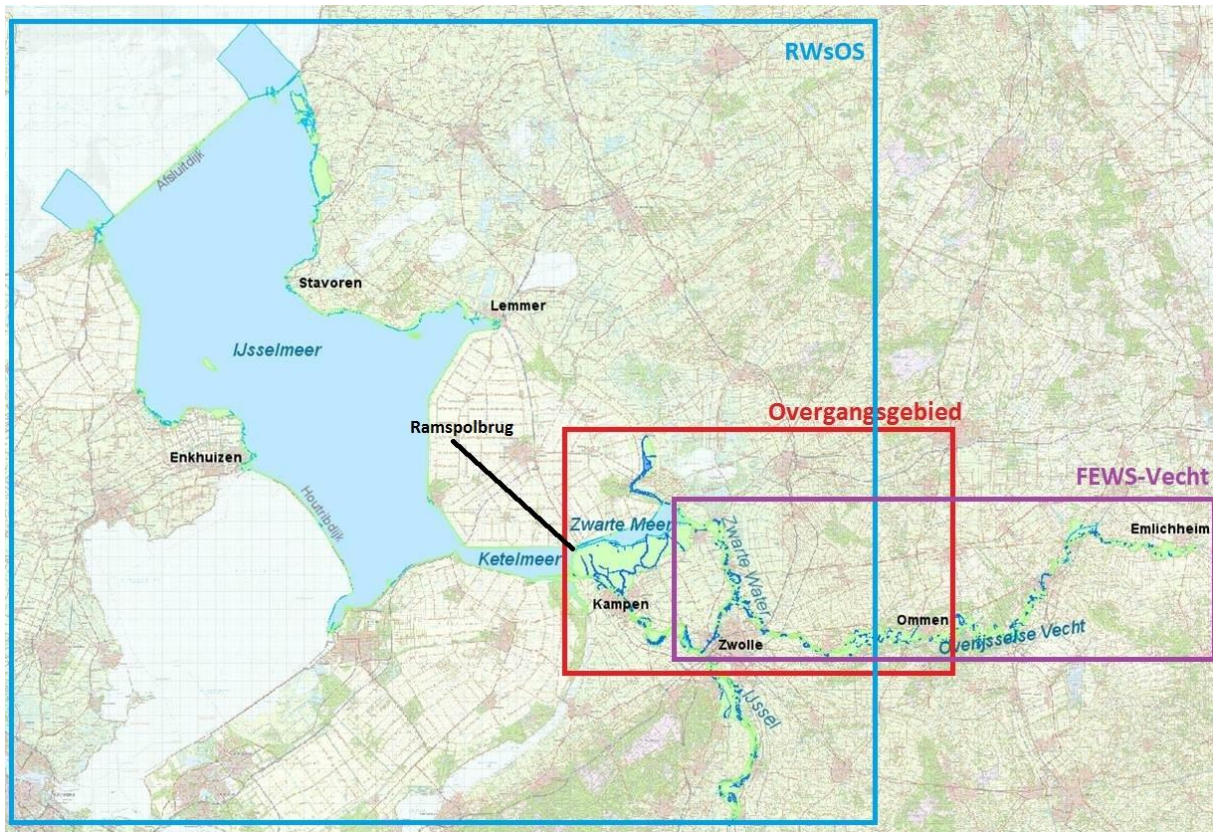
Noot. Herdrukt van “Hoog water in Dalfsen, januari 2018”, door Siemers, A., 2018. Geraadpleegd van <https://www.youtube.com/watch?v=9MQvv5ocgRY>

Nederland is een waterland, maar een groot deel van het land ligt onder zeeniveau (NAP). Wanneer hoogwatersituaties - zoals die van 3 januari - voorkomen, is het van belang dat de bescherming tegen hoogwater voldoende is. Om deze bescherming te waarborgen, is het beheer van de Nederlandse wateren verdeeld onder Rijkswaterstaat en de waterschappen. Rijkswaterstaat is verantwoordelijk voor het watermanagement van het IJsselmeer, het Nederlandse deel van de Noordzee en de grote rivieren. De waterkeringen langs deze wateren en de overige rivieren en meren zijn grotendeels de verantwoordelijkheid van de waterschappen.

1.1. Scope

In dit onderzoek worden de waterstandsverwachtingen bij de Vecht onderzocht. Zowel Rijkswaterstaat als de waterschappen Vechtstromen en Drents-Overijsselse Delta hebben modellen om de verwachte waterstand van de Vecht te beschrijven. Van Ommen tot de Ramspolbrug overlappen deze modellen. Dit is te zien in Figuur 2. Het gebied van Ommen tot de Ramspolbrug wordt daarom het ‘overgangsgebied’ genoemd.

De modelsystemen zijn beide gebaseerd op het Delft-FEWS systeem. Rijkswaterstaat gebruikt RWsOS-Meren, ook wel FEWS-Meren genoemd. De waterschappen maken gebruik van FEWS-Vecht. In het Theoretisch Kader worden deze systemen verder uitgelegd.



Figuur 2 Overgangsgebied Vecht

Noot. Aangepast van “WAQUA IJVD model”, door Twigt, D., 2014, p.3

1.2. Probleemstelling, doel en onderzoeksvragen

In het overgangsgebied worden door zowel RWsOS-Meren als FEWS-Vecht verwachtingen voor de waterstand van de Vecht gemaakt. De modelsystemen maken gebruik van verschillende input en verschillende onderliggende modellen. Dit veroorzaakt verschillen in de waterstandsverwachtingen. Bij een hoogwatersituatie¹ kunnen deze verschillende waterstandsverwachtingen verwarring veroorzaken. Daarom is het van belang om te weten wat de verschillen en overeenkomsten tussen de modellen zijn, en om afspraken te maken over welk model in welke situatie te gebruiken. Deze scriptie tracht de verschillen en overeenkomsten tussen FEWS-Vecht en RWsOS-Meren te verklaren, en hiermee tot een advies te komen betreffende de bruikbaarheid van de resultaten van de twee modellen in diverse situaties. Dit kan geformuleerd worden in de volgende hoofdvraag:

“Welk model, FEWS-Vecht of RWsOS-Meren, is het meest bruikbaar in welke situatie?”

¹ Dit geldt ook voor een laagwatersituatie, maar in het kader van dit onderzoek wordt alleen gekeken naar hoogwatersituaties.

Om het onderzoek structuur te geven, zijn drie onderzoeksvragen opgesteld.

1.2.1. Onderzoeksvraag 1

Wat zijn de verschillen tussen beide modelsystemen in termen van datastromen?

Met deze eerste onderzoeksvraag wordt gestreefd de verschillen en overeenkomsten in de opbouw van het model te ontdekken. Hierbij worden aannames vergeleken, verschillende datastromen worden uitgelegd, en de input en randvoorwaarden van de modellen worden vergeleken. De nadruk ligt hierbij op de verwerking van laterale afvoeren, wind, sturing van de stuwen en bodemruwheid.

1.2.2. Onderzoeksvraag 2

Welke situaties zijn de afgelopen jaren voorgekomen?

Bij deze onderzoeksvraag is het doel om verschillende hoogwatersituaties te vinden, waarbij data vergeleken kan worden. Het gaat hierbij om situaties met een hoge waterstand, al dan niet veroorzaakt door een sterke wind boven het IJsselmeer of een hoge afvoer op de Vecht. Lage waterstanden worden niet onderzocht in deze scriptie.

1.2.3. Onderzoeksvraag 3

Hoe wijkt de berekende data af van de gemeten data en wat veroorzaakt deze afwijking?

In deze vraag worden de twee voorgaande vragen gecombineerd. Het doel van deze vraag is de verschillen tussen berekende data en gemeten data uit te leggen. Met deze verschillen wordt de bruikbaarheid van elk model in elke situatie bepaald, waardoor vervolgens de twee modelsystemen vergeleken kunnen worden. Zo kan tot een antwoord op de hoofdvraag gekomen worden.

1.3. Leeswijzer

Deze scriptie bestaat uit 8 hoofdstukken, inclusief deze inleiding.

In hoofdstuk 2 wordt het theoretisch kader uitgelegd. Hierin wordt het watersysteem van de Vecht uitgelegd, en worden de begrippen Delft-FEWS, FEWS-Vecht en RWsOS-Meren toegelicht.

In hoofdstuk 3 wordt per onderzoeksvraag de methode uitgelegd.

In hoofdstuk 4 worden per onderzoeksvraag de resultaten benoemd.

In hoofdstuk 5 wordt de discussie van dit onderzoek gegeven. Hierin worden de resultaten geïnterpreteerd.

In hoofdstuk 6 wordt de conclusie van dit onderzoek gegeven. Deze conclusie bestaat uit een samenvatting van de belangrijkste resultaten en een advies naar Rijkswaterstaat en het Waterschap Drents-Overijsselse Delta over welk model te gebruiken in welke situatie.

In hoofdstuk 7 worden enkele aanbevelingen gedaan naar vervolgonderzoek.

2. Theoretisch kader

Binnen dit theoretisch kader worden enkele begrippen, genoemd in de inleiding, verder toegelicht. De begrippen die behandeld worden zijn: de Vecht, hoogwaterverwachtingsmodellen en Delft-FEWS. Verder worden de modelsystemen van Rijkswaterstaat en de betrokken waterschappen toegelicht. Op het IJsselmeer wordt niet ingegaan, aangezien dit buiten het studiegebied van dit onderzoek ligt.

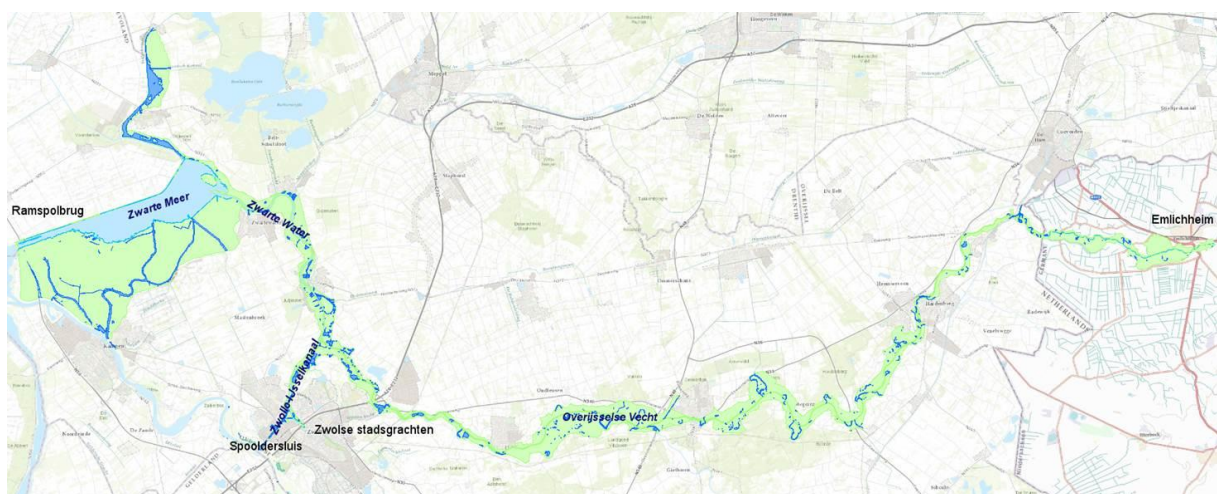


Figuur 3 Locatie Overijsselse Vecht in Nederland

Noot. Herdrukt van “Overijsselse Vecht”, door Wikipedia, 2018. Opgehaald van https://nl.wikipedia.org/wiki/Overijsselse_Vecht

2.1. De Vecht

De Vecht ontspringt bij Darfeld (Duitsland) en bereikt na 167 km zijn eindpunt bij het Zwarte Water (van der Molen et al. , 2012). Het is een echte regenrivier, en heeft hierdoor een sterk fluctuerende afvoer. Deze kan bij Dalfsen variëren tussen 2 en 550 m³/s. In Figuur 3 is aangegeven waar de Vecht in Nederland ligt. Dit is de donkerblauwe lijn. Het Nederlandse deel van de rivier is vergroot weergegeven in Figuur 4 (van der Mheen, 2014). Het beheer van de Vecht is verdeeld over diverse waterbeheerders.



Figuur 4 De Vecht van Emlichheim tot de Ramspolbrug

Noot. Herdrukt van “WAQUA IJVD model”, door Twigt, D., 2014, p.5

2.1.1. Invloeden op de Vecht

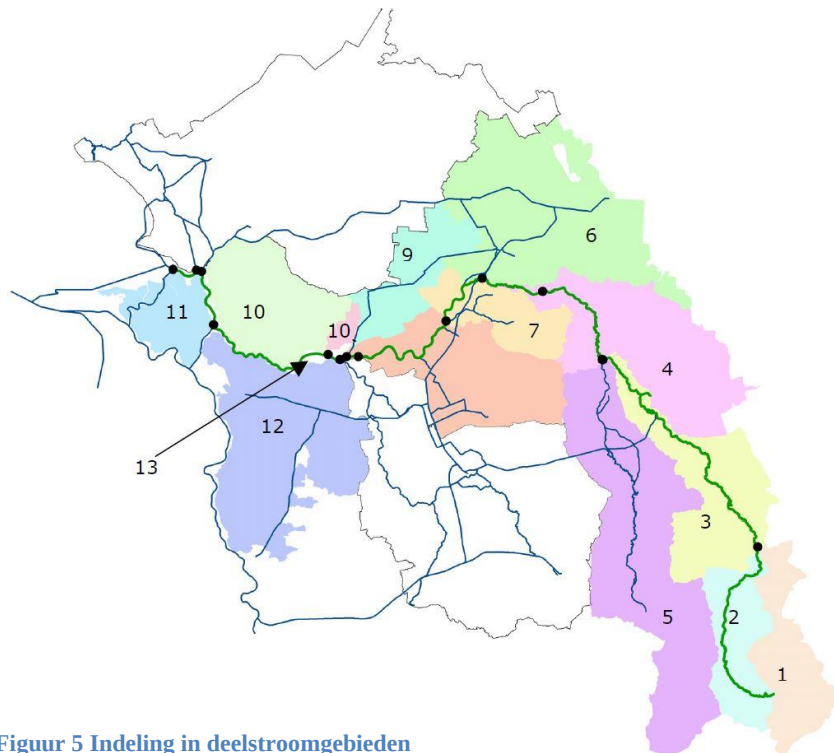
De waterstanden van de Vecht worden, met name in het overgangsgedebied, bepaald door:

- De waterstand op het IJsselmeer
- De windopzet op het IJsselmeer, het Zwarte Meer en het Zwarte Water
- De inzet van de Ramspolkering
- De afvoer van de Vecht en het Zwarte Water
- De hydraulica van de rivier

De afvoer van de Vecht wordt bepaald door de afvoeren van de diverse deelstroomgebieden (Jungermann, Hakvoort, & Versteeg, 2012). De verdeling van deze deelstroomgebieden is weergegeven in Figuur 5 (Jungermann et al., 2012). De afvoeren vanuit de deelstroomgebieden worden grotendeels bepaald door de hoeveelheid neerslag die in deze gebieden valt.

De situatie bij het IJsselmeer heeft ook invloed op de waterstanden van de Vecht. Het IJsselmeer heeft een redelijk constant gemiddeld meerpeil, maar bij hoge afvoeren vanuit rivieren, en geen of weinig mogelijkheid tot uitstroom naar de Waddenzee, kan het peil enigszins stijgen. Verder beïnvloedt de windopzet de waterstand op het IJsselmeer en het Zwarte Meer. Met een noordwestelijke wind kan het peil behoorlijk stijgen, zo'n één tot twee meter. Ook de Ramspolkering beïnvloedt de waterstanden op het Zwarte Water en het Zwarte Meer, en de benedenloop van de Vecht. Wanneer de Ramspolkering gesloten wordt, wordt de waterstandsstijging, die als gevolg van de windopzet optreedt, tegengehouden. Na verloop van tijd zal echter het Zwarte Meer vollopen door de afvoer vanuit de Vecht en het Zwarte Water, waarbij het peil stijgt.

De wind kan het meerpeil ook indirect beïnvloeden. Als de wind uit bepaalde windrichtingen komt (west, noordwest), stuwt het water van de Waddenzee op bij de Afsluitdijk. Dit zorgt ervoor dat er niet gespuid kan worden uit het IJsselmeer naar de Waddenzee, waardoor het meerpeil van het IJsselmeer iets kan stijgen.



Figuur 5 Indeling in deelstroomgebieden

Noot. Herdrukt van "Neerslag-afvoermodellen voor de Overijsselsche Vecht", door Jungermann et al., 2012, p.3

- 1 Steinfurter Aa; 2 Vechte A; 3 Vechte B; 4 Vechte C; 5 Dinkel; 6 Afwateringskanaal; 7 Radewijkerbeek; 8 Itterbeek; 9 Ommerkanaal; 10 Streukelerzijl; 11 Mastenbroek; 12 Sallandse Wetering; 13 Vecht

Lateralen

Enkele belangrijke lateralen van de Vecht, tussen Ommen en het Zwarte Meer, zijn:

- Regge
- Ommerkanaal
- De Sallandse Weteringen (ook wel de Zwolse Stadsgrachten genoemd)
- Galgerak/Streukelerzijl
- Meppelerdiep

Voor deze studie zijn alleen de laterale afvoeren vanaf Dalfsen van belang, omdat de afvoer bij Dalfsen bekend is. Alle lateralen die voor Dalfsen op de Vecht uitstromen, worden dus opgenomen in deze afvoer. De Regge en het Ommerkanaal sluiten tussen Ommen en Dalfsen op de Vecht aan. Dit betekent dat zij in de afvoer bij Dalfsen opgenomen zijn. Bij onderzoeksvraag 1 wordt besproken hoe de afvoeren van de Sallandse Weteringen, Galgenrak/Streukelerzijl en het Meppelerdiep in de modellen opgenomen zijn.

2.2. Hoogwaterverwachtingssystemen

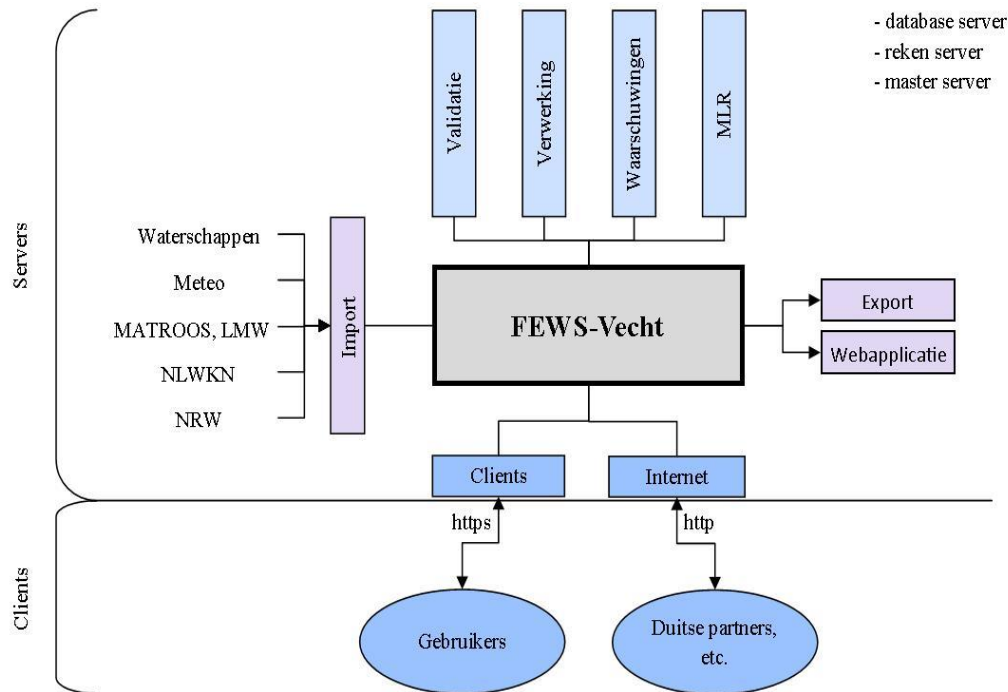
Hoogwaterverwachtingssystemen worden steeds belangrijker. Dit komt niet alleen door het veranderende klimaat en de stijgende zeespiegel die daarbij hoort, maar ook door het grote aantal steden langs de waterlichamen. Het doel van hoogwaterverwachtingssystemen is om te informeren over de gemeten en verwachte waterstanden en debieten (Van Eerdenbrugh, 2004). Met hoogwaterverwachtingssystemen kan een vroegtijdige waarschuwing gegeven worden bij een mogelijke overstroming. Mocht een lage waterstand verwacht worden, dan is dit in Nederland vooral van belang voor de scheepvaart.

Een hoogwaterverwachtingssysteem bestaat uit verschillende onderdelen. De eerste hiervan is een neerslagverwachtingsmodel, deze berekent de verwachte neerslag en wind. In Nederland beheert het KNMI dit model. Het tweede onderdeel van een hoogwaterverwachtingssysteem is een hydrologisch model. Deze beschrijft de relatie tussen de neerslag in een bepaald stroomgebied, en de afvoer van de rivier van dit stroomgebied. Het derde en laatste onderdeel, het hydraulisch model, gebruikt de output van deze twee modellen als input en beschrijft het debiet en de waterstanden in een rivier (Van Eerdenbrugh, 2004). De input voor dit model bestaat uit de afvoeren bovenstrooms, de verwachte waterstanden benedenstrooms, en de windopzet benedenstrooms. De resultaten van dit model, oftewel het verwachte debiet, de verwachte waterstanden en de verwachte windopzet, zijn het meest van belang bij dit onderzoek.

Het verwachtingssysteem waar in dit onderzoek mee gewerkt wordt, is Delft-FEWS. Delft-FEWS bestaat uit verschillende modules die aangepast kunnen worden naar de specifieke eisen van een organisatie (Werner et al., 2013). Bestaande modellen kunnen geïntegreerd worden in het systeem. Delft-FEWS wordt door veel instanties gebruikt, waaronder door Rijkswaterstaat en het Waterschap Drents-Overijsselse Delta. Rijkswaterstaat gebruikt RWsOS-Meren voor haar verwachtingen, het Waterschap Drents-Overijsselse Delta gebruikt FEWS-Vecht.

2.3. FEWS-Vecht

FEWS-Vecht is het Delft-FEWS systeem dat gebruikt wordt voor de hoogwaterverwachtingen van de Overijsselse Vecht. In Figuur 6 (van Heeringen & Haaksma, 2016) is een overzicht van FEWS-Vecht gegeven.



Figuur 6 Opbouw FEWS-Vecht

Noot. Aangepast van "FEWS Vecht", door van Heeringen, K., en Haaksma, H., 2016, p.5, Deltares

2.3.1. Input en randvoorwaarden

De input data voor de modellen van FEWS-Vecht bestaat uit:

- Benedenstroomse randvoorwaarden
 - Waterstandsmetingen
 - Waterstandsverwachtingen, afkomstig uit andere FEWS systemen
- Bovenstroomse randvoorwaarden
 - Afvoermetingen
 - Afvoerwachtingen, afkomstig uit andere FEWS systemen
- Overige invloeden
 - Neerslagmetingen
 - Radarbeelden
 - Neerslagverwachtingen
 - Sturing van de stuwen

In Figuur 7 wordt de verdeling van deze data weergegeven.

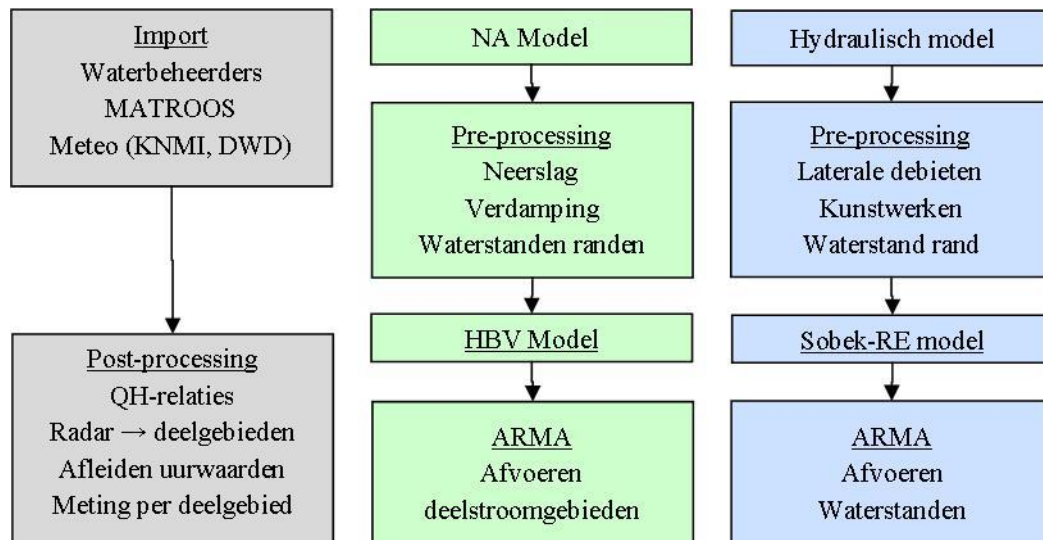
Deze data wordt aangeleverd door het KNMI, DWD, NRW, Nationale Regenradar, MATROOS, LMW, NLWKN, en de waterschappen Velt en Vecht, Regge en Dinkel en Groot Salland (van Heeringen & Haaksma, 2016).

De benedenstroomse randvoorwaarde voor FEWS-Vecht wordt gevormd door de verwachte waterstand bij de Ramspolbrug. De bovenstroomse randvoorwaarden worden gevormd door de gemeten afvoer bij Ohne.

De inputdata is vaak onvolledig. De data wordt met behulp van pre-processing stappen compleet en geschikt gemaakt voor verdere verwerking. Er wordt verder niet ingegaan op de pre-processing stappen, aangezien dit buiten de scope van het onderzoek valt.

2.3.2. Model

De inputdata wordt in een hydrologisch neerslag-afvoermodel (HBV) model en in een hydraulisch (SOBEK) model ingevoerd (van Heeringen & Haaksma, 2016). De dataverdeling tussen deze modellen is weergegeven in Figuur 7 (van Heeringen & Haaksma, 2016).



Figuur 7 Data verdeling tussen het neerslag-afvoermodel (NA) en het hydraulisch model

Noot. Aangepast van "FEWS Vecht", door van Heeringen, K., en Haaksma, H., 2016, p.23, Deltares

Hydrologisch model

Het neerslag-afvoermodel van FEWS-Vecht is een HBV model. Een HBV model berekent de afvoer van een deelstroomgebied op basis van de gevallen neerslag in dit gebied (Swedish Meteorological and Hydrological Institute, 2015).

Hydraulisch model

Het hydraulische modelsysteem van FEWS-Vecht is een SOBEK modelsysteem. Een SOBEK modelsysteem wordt gebruikt voor het simuleren van complexe stromingen en water-gerelateerde processen (Deltares, 2016). SOBEK-modules beschrijven de fysische processen in ééndimensionale netwerksystemen en tweedimensionale horizontale grids. In FEWS-Vecht wordt alleen gebruik gemaakt van een één-dimensionaal netwerksysteem. SOBEK modellen kunnen ondersteuning bieden bij onder andere het beschrijven van verwachtingen van overstromingen en het simuleren van rivier morfologie (Deltares, 2016).

Voor FEWS-Vecht is een koppeling gemaakt tussen het bestaande SOBEK model tussen Emlichheim en het Zwarte water, en een nieuw SOBEK model tussen Ohne en Emlichheim (Rura-Arnhem, 2012). Samen vormen zij een hydraulisch één-dimensionaal model tussen Ohne en de Ramspolbrug. Het HBV model levert de afvoeren van de deelstroomgebieden via randknopen naar het hydraulisch model. Het SOBEK model berekent de totale afvoer van de rivier en de waterstanden hierbij.

2.3.3. Output

De resultaten die de modellen samen geven, bestaan uit de afvoerverwachtingen en waterstandsverwachtingen van de Vecht (van Heeringen & Haaksma, 2016).

De output data wordt gearchiveerd en de relevante data wordt geëxporteerd naar MATROOS, waar andere waterschappen en Rijkswaterstaat het op kunnen vragen.

De resultaten van FEWS-Vecht worden vervolgens door middel van data-assimilatie gecorrigeerd. Hierbij wordt de verwachting aangepast naar de gemeten waterstand, zodat een nieuwe verwachting start met de correcte huidige situatie.

2.4. RWsOS-Meren

RWsOS is het FEWS-systeem dat Rijkswaterstaat gebruikt om verwachtingen van waterstanden, debiet, golven en stroming te produceren (Helpdesk Water Rijkswaterstaat, 2017). RWsOS-Meren² beschrijft de waterstanden van het IJsselmeer en de IJssel-Vechtdelta. De verwachtingen voor de Vecht gaan tot Dalfsen, hoewel het model tot Ommen doorloopt.

2.4.1. Input en randvoorwaarden

De input data van RWsOS-Meren bestaat uit:

- Benedenstroomse randvoorwaarden
 - Waterstandsmetingen
 - Waterstandsverwachtingen, afkomstig uit andere FEWS-systemen
- Bovenstroomse randvoorwaarden
 - Afvoermetingen
 - Afvoerwachtingen, afkomstig uit andere FEWS-systemen
- Overige invloeden
 - Streefpeilen voor de stuwen
 - Bodemligging
 - Informatie over de kunstwerken
 - Meteogegevens
 - Windschuifspanning

Deze meteogegevens worden aangeleverd door het KNMI. De waterstanden bij Den Oever en Kornwerderzand worden opgehaald uit MATROOS. De verwachte waterstand en afvoer bij Ommen wordt aangeleverd via FEWS-Vecht (Eijsberg-Bak, 2016). FEWS-Vecht exporteert haar output naar MATROOS.

Voor de afvoeren worden de verwachte afvoeren van de IJssel en van de Vecht ingevoerd, respectievelijk aangeleverd door RWsOS-Rivieren en FEWS-Vecht. De gemeten afvoeren bij Olst en Ommen worden ook gebruikt, deze worden gemeten door Rijkswaterstaat. Deze data wordt tijdens de pre-processing stappen met behulp van diverse methoden compleet en geschikt voor verdere verwerking gemaakt (Eijsberg-Bak, 2016). Hier wordt niet verder ingegaan op de pre-processing stappen.

2.4.2. Model

Het doel van RWsOS-Meren (Twigt, 2014) is om meteorologische, hydrologische en hydraulische metingen en modellen samen te brengen en te verwerken. Met deze informatie worden de verwachtingen voor waterstanden, windopzet en golven rond het IJsselmeer en het Markermeer berekend. De verwachtingen worden vervolgens vergeleken met alarmeringswaarden. Indien de verwachtingen deze alarmeringswaarden overschrijden, kan een waarschuwingsbericht opgesteld worden.

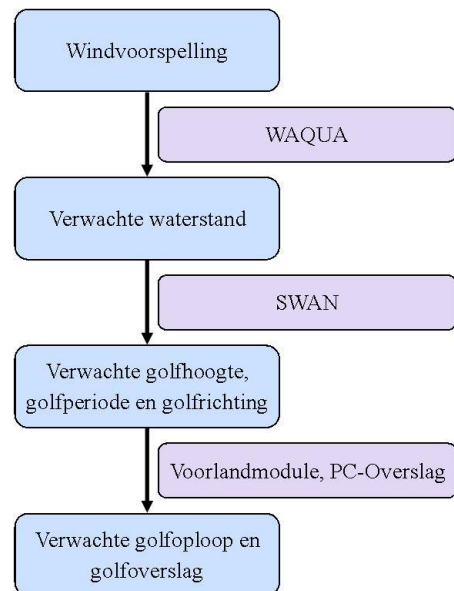
Het modelsysteem dat in RWsOS-Meren wordt gebruikt, is SIMONA. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een zogenaamde modellentrein. Deze is weergegeven in Figuur 8 (Twigt, 2014). Hierin is te zien dat WAQUA met behulp van de windverwachting van het KNMI een verwachte waterstand genereert. Vervolgens wordt met deze verwachte waterstand door SWAN (Simulating Waves Nearshore) de verwachte golfhoogte, -periode en -richting berekend. Ten slotte berekenen de voorlandmodule en PC-Overslag de verwachte golfoploop en eventuele golfoverslag. In dit onderzoek zal alleen ingegaan worden op WAQUA, omdat alleen dit model te vergelijken is met de modellen van FEWS-Vecht.

2.4.3. Output

² RWsOS-Meren is een onderdeel van RWsOS. Andere onderdelen zijn: Rivieren, Noordzee, RijnMaasmond, Droogteberichtgeving en Peilbeheer

De output van RWSOS-Meren bestaat uit verwachte waterstanden en een verwachte windopzet. Deze data wordt vervolgens geüpload in MATROOS, waar waterschappen het van kunnen downloaden (Eijsberg-Bak, 2016).

De post-processing stap binnen RWSOS-Meren bestaat grotendeels uit data-assimilatie. Dit wordt gedaan met behulp van een hindcast. Deze hindcast rekt de situatie van de afgelopen drie dagen door. Na de hindcast loopt het model door in de verwachting, deze begint met de eindsituatie van de hindcast. Hierdoor wordt ervoor gezorgd dat het model begint met de actuele situatie. Het model maakt vervolgens een verwachting voor de komende twee dagen (Eijsberg-Bak, 2016).



Figuur 8 Opbouw RWSOS-Meren

Noot. Aangepast van "WAQUA IJVD model", door Twigt, D., 2014, p.5

2.5. Vergelijking FEWS-Vecht en RWSOS-Meren

In Tabel 1 is een kort overzicht gegeven van de verschillen en overeenkomsten tussen FEWS-Vecht en RWSOS-Meren.

Tabel 1 Vergelijking FEWS-Vecht en RWSOS-Meren

	FEWS-Vecht	RWSOS-Meren
Input	(Verwachte) waterstanden (Verwachte) afvoeren (output HBV, input SOBEK) (Verwachte) neerslag	(Verwachte) waterstanden (Verwachte) afvoeren (Verwachte) wind
Weermodel	ECMWF COSMO	HiRLAM COSMOLEPS
Hydrologisch model	HBV	
Hydraulisch model	SOBEK-RE	WAQUA
Output	Verwachte waterstanden (SOBEK) Verwachte afvoeren (HBV)	Verwachte waterstanden

3. Methode

In dit hoofdstuk wordt per onderzoeksvraag aangegeven hoe tot een antwoord op de onderzoeksvraag is gekomen. Het onderzoek is opgedeeld in drie delen, waarbij elke onderzoeksvraag een deel representeert.

3.1. Onderzoeksvraag 1

Wat zijn de verschillen tussen beide modelsystemen in termen van datastromen?

Om de eerste onderzoeksvraag te beantwoorden, is vooral gebruik gemaakt van literatuur en vakkennis van experts. Vanuit Rijkswaterstaat, het Waterschap Drents-Overijsselse Delta en Deltares is veel documentatie beschikbaar gesteld. Eventuele achtergrondinformatie is via het internet opgezocht. Met deze documentatie is het theoretisch kader geschreven, waarbij een overzichtelijk beeld geschetst is van de twee systemen, RWsOS-Meren en FEWS-Vecht. Hierbij is gelet op input data, pre-processing stappen, dataverwerking tijdens de modelrun, en post-processing stappen.

Vervolgens konden gerichte vragen gesteld worden aan de desbetreffende instanties. Deltares heeft beide systemen opgesteld, en hier kunnen de juiste mensen de systemen beter toelichten. Carlijn Eijsberg-Bak (Deltares) heeft RWsOS-Meren in meer detail uitgelegd, zij heeft de nieuwste versie van dit systeem opgesteld. Gerben Tromp (Waterschap Drents-Overijsselse Delta) heeft FEWS-Vecht in meer detail uitgelegd. Het FEWS-Vecht systeem is verkregen via Klaas-Jan van Heeringen (Deltares), om zo meer inzicht te krijgen in het systeem, en het systeem te kunnen vergelijken met RWsOS-Meren.

Er is vooral gekeken naar de verschillen en overeenkomsten van de modellen in de opname van de afvoeren uit lateralen, de wind, de sturing van de stuwen en de bodemruwheid. De eerste twee hiervan verschillen in de modellen, en zijn daardoor van belang. Ook de sturing van de stuwen kan een impact hebben op de waterstand. De keuze voor de bodemruwheid ligt iets minder voor de hand. Dit is namelijk een van de variabelen in het hydraulische model. Echter, bij het onderzoeken van de opbouw van RWsOS-Meren bleek dat er problemen ontstonden bij het vaststellen van deze waardes. Dit leidde tot de vraag hoe dit in FEWS-Vecht opgelost werd. De bodemruwheid is niet kwantitatief onderzocht, en er is niet diep op ingegaan. Het is slechts uitgelegd als een factor die de verwachting kan beïnvloeden.

Naast de achtergrond van de modellen, is het van belang het systeem van de Vecht te kennen. Hiertoe is een veldbezoek aan de Vecht gemaakt, waarbij een aantal belangrijke kunstwerken tussen Ommen en Kadoelen bezocht zijn. Ook is een bezoek gebracht aan de Ramspolkering.

3.2. Onderzoeksvraag 2

Welke situaties zijn de afgelopen tijd waargenomen?

Voor het beantwoorden van deze onderzoeksvraag is eerst gekeken naar de beschikbare data. De nieuwste versie van RWsOS-Meren is pas vanaf begin 2018 geschikt voor dit onderzoek³. Daarom is gekozen om data te verzamelen van januari 2018 tot en met april 2018. Hierdoor is het onderzoek beperkt, en kunnen geen conclusies over andere seizoenen of extreme hoogwaterstanden gedaan worden.

De hoogwatersituaties die geanalyseerd werden, waren veroorzaakt door harde wind, hoge afvoeren, of een combinatie hiervan. Voor het bepalen van de windsnelheden is data van drie windmeetstations verkregen. Deze windmeetstations zijn Rotterdamse Hoek, Stavoren en de Houtribdijk. De data die verkregen is, bestaat uit windsnelheden en windrichtingen. De locaties van de windmeetstations zijn te vinden in Bijlage A.1. Voor dit onderzoek is vooral de wind uit (noord)westelijke richting van belang.

³ Het model is sinds augustus 2017 actief, maar is met een onjuiste beginsituatie gestart. Dit leidde tot lage waterstanden op de Vecht. Het probleem heeft zichzelf opgelost toen een natte periode kwam, waardoor het model sinds januari 2018 wel juist is.

Wind vanuit deze richting zorgt ervoor dat het water van het IJsselmeer opgestuwd wordt naar het Zwarte Meer en het Zwarte Water. Hierdoor kan de waterstand flink oplopen.

Voor het bepalen van de afvoeren zijn drie afvoermeetstations geselecteerd. Deze afvoermeetstations⁴ zijn Ommen, Dalfsen en Genemuiden. Het meetstation bij Ommen is gekozen, omdat de afvoer hier een randvoorwaarde is voor RWsOS-Meren. De afvoer bij Dalfsen omvat de afvoeren van het Ommerkanaal en de Regge, twee grote lateralen van de Vecht. De afvoer bij Genemuiden omvat de afvoer van het Zwarte Water, de Vecht, en de lateralen tot aan het Zwarte Meer. De data die van deze meetstations verkregen is, bestaat uit afvoerreeksen. De afvoer van de debietmeter in Dalfsen geeft de beste weergave van de afvoer van de Vecht. Daarom is ervoor gekozen om voornamelijk de afvoer bij Dalfsen te gebruiken. De locaties van alle afvoermeetstations in de Vecht zijn te vinden in Bijlage A.2.

Aangezien in dit onderzoek gekeken wordt naar de pieksituaties, is het van belang de gemeten waterstanden te analyseren. Hiervoor zijn de volgende meetstations geselecteerd: Vechterweerd, Mond der Vecht, Zwartsluis en de Ramspolbrug. De data van deze meetstations bestaat uit waterstandsreeksen. De locaties Vechterweerd en Ramspolbrug zijn gekozen omdat deze de randen vormen van het overgangsgedebied. Het model RWsOS-Meren maakt namelijk verwachtingen tot Vechterweerd, hoewel het model doorloopt tot Ommen. De locatie Mond der Vecht is gekozen, omdat de windopzet tot deze locatie nog een significante invloed heeft. De locatie Zwartsluis is gekozen als een middenpunt. De laatste grote lateraal, het Meppelerdiep, sluit hier aan op het Zwarte Water, en het is één van de laatste meetpunten voor het Zwarte Water uitmondt in het Zwarte Meer. De locaties van de waterstandsmeetstations zijn te vinden in Bijlage A.3.

Vervolgens is de data in grafieken weergegeven. Aan de hand van deze grafieken konden pieken vastgesteld worden, en daarmee periodes die interessant zijn voor dit onderzoek. Ook kon bekeken worden of de afvoer- en windpieken samenvallen. In eerste instantie is gekeken naar de grafiek met gemeten waterstanden over de periode januari tot en met april. Hier waren enkele grote, maar ook kleinere pieken te zien. Om later te kunnen onderzoeken hoe de modellen presteren in verschillende situaties, zijn hierbij zowel grote pieken als kleinere pieken, die later in de periode voorkwamen, geselecteerd.

Per periode zijn grafieken gemaakt, waarbij de gemeten waterstanden van die periode weergegeven zijn met de afvoeren bij Ommen, Dalfsen en Genemuiden, en met de gemiddelde gemeten windsnelheid. Hiermee is vastgesteld door welke invloed (wind, afvoer of een combinatie hiervan) de situaties veroorzaakt zijn. Hierbij is gebruik gemaakt van de windrichting, aangezien een wind uit westelijke richting de meeste invloed heeft.

3.3. Onderzoeksvraag 3

Hoe wijkt de berekende data af van de gemeten data en wat veroorzaakt deze afwijking?

Voor het beantwoorden van deze onderzoeksvraag is gebruik gemaakt van de voorgaande onderzoeksvragen. Het beantwoorden van deze onderzoeksvraag had op twee manieren gekund. Een manier was om de hindcasts van beide systemen te vergelijken, waarbij de nauwkeurigheid van beide modellen goed vastgesteld kon worden. Echter, aangezien bij FEWS-Vecht geen gebruik wordt gemaakt van een hindcast, was dit niet mogelijk. Daarom is in dit geval gekozen de verwachtingen van beide modelsystemen te vergelijken. Zo kan de bruikbaarheid in de praktijk vastgesteld worden, maar kan weinig gezegd worden over de nauwkeurigheid van de modellen. Om toch iets hierover te kunnen zeggen, zijn de verwachtingen van RWsOS-Meren vergeleken met de hindcast hiervan, en zijn de verwachte afvoeren van FEWS-Vecht vergeleken met de gemeten afvoeren.

Wat betreft de voorspelhorizon is ervoor gekozen de verwachting van elke dag om 00.00 uur te

⁴ Bij zowel Ommen als Dalfsen wordt gebruik gemaakt van een akoestische debietmeter. Deze zendt een signaal uit, en berekent, aan de hand van de tijd tussen het verzenden en weer ontvangen van het signaal, de stroomsnelheid en het debiet. Het meetstation bij Genemuiden is een drijvend meetstation, deze wordt niet alleen beïnvloed door de stroomsnelheid, maar ook door de wind. Dit kan leiden tot negatieve afvoerwaardes.

gebruiken. Dit betekent dat de voorspelhorizon varieert van 1 tot 24 uur. Deze horizon is gekozen, aangezien op deze manier de verwachtingen uit MATROOS geëxporteerd konden worden. Vanwege de variërende voorspelhorizon ontstaan sprongen in de grafieken met verwachtingen. Een andere optie was geweest om de voorspelhorizon van bijvoorbeeld 24 uur te gebruiken, waarbij op elk tijdstip de verwachting van 24 uur daarvoor wordt gebruikt. Helaas was niet bekend of en hoe dit in MATROOS opgevraagd kon worden.

Eerst zijn de verwachtingen van FEWS-Vecht en RWsOS-Meren en de geobserveerde waterstanden per locatie en periode in een grafiek weergegeven. Aan de hand van deze grafieken, zijn de relevante situaties uitgezocht. Een aantal periodes en locaties vielen af door een gebrek aan data, of een fout in de data. Hierdoor was de data niet geschikt voor verder onderzoek. Voor de relevante situaties is vervolgens per periode een grafiek gemaakt, met hierin de afwijking van de modellen.

Voor deze situaties is vervolgens beschreven wanneer de grootste verschillen tussen de modellen voorkomen. Hierbij is bepaald of het verschil dermate groot is, dat het daadwerkelijk significant voor het onderzoek is. Hiervoor is de grens gesteld op tien centimeter verschil. Dit verschil is gekozen, omdat hiermee gewerkt is in de afstemming van de IJssel-Vechtdelta (Rijkswaterstaat, 2017). Verder worden met tien centimeter kleine meetonregelmatigheden uitgesloten. Vervolgens zijn de periodes uitgekozen waar zulke verschillen voorkomen, en zijn deze periodes stuk voor stuk geanalyseerd. Bij de significante verschillen is gekeken naar de windsnelheid, windrichting, afvoer van de Vecht, en afvoer van de deelstroomgebieden. Aan de hand hiervan is bepaald welke invloed het grootst was op dat moment, en hoe het verschil tussen de beide modellen, maar ook tussen de modellen en de metingen, verklaard kan worden. Hierbij zijn twee situaties uitgebreid geanalyseerd, om het verschil tussen de verwachtingen duidelijk aan te tonen. Dit betreft een wind- en een afvoergedreven situatie. Als laatste stap zijn de deelonderzoeken per situatie en locatie samengevoegd, om zo tot een algemene conclusie te komen.

4. Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten per onderzoeksvraag weergegeven.

4.1. Onderzoeksvraag 1

Wat zijn de verschillen tussen beide modelsystemen in termen van datastromen?

De systemen FEWS-Vecht en RWsOS-Meren zijn eerder al beschreven in het theoretisch kader. In deze paragraaf wordt daarom alleen de opname van laterale afvoeren, wind en neerslag, de sturing van stuwen en de bodemruwheid beschreven. Hierin verschillen de modellen het meest, en deze verschillen hebben invloed op de verwachte waterstanden. Dit zijn dan ook de redenen dat alleen deze verschillen worden behandeld.

4.1.1. Afvoer uit lateralen

In FEWS-Vecht wordt de neerslag gebruikt om de afvoerverwachting van de deelstroomgebieden te bepalen. Deze afvoerverwachting wordt vervolgens als lateraal debiet op het SOBEK-model gezet. FEWS-Vecht maakt verwachtingen op basis van twee neerslagverwachtingen. Een van deze verwachtingen wordt gevormd op basis van een gedetailleerd meteorologisch model van het KNMI. Bij de andere verwachting, een ensembleverwachting, wordt gebruik gemaakt van een versimpeld neerslagmodel, vanwege de beperking in rekenkracht.

Ook de neerslag op het rivierbed wordt meegenomen in het HBV model, hiervoor is het winterbed als HBV deelstroomgebied gesimuleerd. Bij de meeste grote lateralen, zoals het Galgenrak, Kostverlorenzijl en het Meppelerdiep, zijn afvoermeetstations geplaatst (Filius & Tromp, 2014). In het HBV model worden verwachtingen gemaakt van de afvoeren van deze lateralen. Met behulp van data-assimilatie worden deze verwachtingen gecorrigeerd op basis van de gemeten afvoeren. De afvoer van de gemalen in de Noordoostpolder/Wieden wordt niet meegenomen. De afvoer vanuit de Sallandse Weteringen wordt door middel van een debietmeter gemeten. De Sallandse Weteringen zijn in het HBV model als apart deelstroomgebied meegenomen. Het HBV model geeft hier een afvoerverwachting van.

Voor RWsOS-Meren geldt dat de invloed van neerslag en verdamping op deelstroomgebieden niet expliciet in WAQUA wordt meegenomen. Dit geldt ook voor de neerslag en verdamping op het rivierbed van de Vecht zelf. De neerslag wordt wel meegenomen via de afvoer van de lateralen. In RWsOS-Meren worden deze lateralen als volgt bepaald. De gemeten afvoer bij Ommen wordt gebruikt om de afvoer vanuit de Sallandse Weteringen te bepalen. Hierbij wordt geschat dat de afvoeren van de Sallandse Weteringen, de Regge en het Ommerkanaal samen gelijk zijn aan 36% van de afvoer bij Ommen. Dit percentage wordt opgeteld bij de totale afvoer van de Vecht. Afvoeren uit overige lateralen en gemalen, zoals het Meppelerdiep, worden niet in de berekening opgenomen.

Het verschil tussen de twee modellen is dat FEWS-Vecht een afvoerverwachting van de deelstroomgebieden maakt op basis van de neerslagverwachtingen. RWsOS-Meren schat de afvoer van de lateralen op basis van de verwachte afvoer bij Ommen. Dit kan leiden tot een afwijking, wanneer er bijvoorbeeld, veel neerslag benedenstrooms van Ommen wordt verwacht. FEWS-Vecht verwacht dan een hoge(re) afvoer van de deelstroomgebieden, terwijl de schatting van RWsOS-Meren lager is.

4.1.2. Wind

De windopzet van het Zwarte Meer, het Zwarte Water en de Vecht wordt niet expliciet meegenomen in de berekeningen van FEWS-Vecht. Impliciet wordt deze wel meegenomen. De waterstand die Rijkswaterstaat namelijk aanlevert bij de Ramspolbrug, wordt berekend met de windopzet. Deze waterstand geldt als randvoorwaarde voor FEWS-Vecht.

Wind wordt in RWsOS-Meren gebruikt om de windopzet te berekenen. Hiervoor wordt momenteel nog de HiRLAM verwachting van het KNMI gebruikt. Het rooster van HiRLAM is grof. Om de verwachting vanuit HiRLAM toe te passen op WAQUA, wordt eerst een downscaling methode toegepast (van der Mheen, 2014). Naast een verwachting op basis van HiRLAM, wordt een ensembleverwachting gedaan op basis van COSMOLEPS. COSMOLEPS heeft een fijner rooster. In

tegenstelling tot de verwachting op basis van HiRLAM, die slechts twee dagen vooruit rekt, rekt deze verwachting vijf dagen vooruit. De verwachting heeft hierdoor wel een grotere onzekerheid. Hoe het rooster van de weersmodellen overgebracht wordt op het rooster van WAQUA, heeft invloed op de waterstand. In het kader van het onderzoek wordt hier niet verder op ingegaan. Het heeft namelijk geen directe invloed op de verschillen tussen de twee modellen, en kan niet vergeleken worden met FEWS-Vecht.

Het verschil tussen de twee modellen is dat RWsOS-Meren de windopzet berekent op basis van de windverwachting, terwijl FEWS-Vecht de windopzet slechts als randvoorwaarde meeneemt. Dit leidt vooral tot afwijkingen bovenstrooms, zoals bij Zwartsluis en Mond der Vecht. Bij deze locaties kan door een noordwestelijke wind een windopzet ontstaan. De invloed van de windopzet wordt bij FEWS-Vecht kleiner verder bovenstrooms, waardoor FEWS-Vecht de windopzet op de locaties Zwartsluis en Mond der Vecht kan onderschatten.

4.1.3. Sturing van de stuwen en sluizen

De waterstand van het IJsselmeer en de Vecht hangt mede af van de sturing van de stuwen. Voor FEWS-Vecht geldt dat de stuwen in de Vecht en de Kadoelerkeersluis meegenomen zijn in de berekening. De locaties van deze kunstwerken zijn weergegeven in Bijlage B (van der Mheen, Keizer, & de Jong, 2015). In het SOBEK-Rural(RE) model wordt de klepstand van de stuwen geregeld door middel van controllers. Deze controllers zorgen ervoor dat het actuele streefpeil zo lang mogelijk wordt gehandhaafd. De waterstanden kunnen verder oplopen als de stuwen volledig gestreken zijn (van der Mheen et al., 2015).

Voor RWsOS-Meren geldt dat de stuwen in de Vecht, de Ramspolbalgstuw en de spuisluizen bij het IJsselmeer, meegenomen zijn in de berekening. Zij zijn gesimuleerd als variabele drempelhoogtes. Voor het bepalen van de sturing van de stuwen in de Vecht, maakt RWsOS-Meren gebruik van een tabel. Dit betekent dat bij een bepaalde waterstand, een bepaalde klepstand (drempelhoogte) wordt gebruikt. De sturing van de spuisluizen bij Den Oever en Kornwerderzand is afhankelijk van de waterstand op het IJsselmeer en op de Waddenzee (van der Mheen, 2014). Het streefpeil van het IJsselmeer is $-0.4\text{m}+\text{NAP}$ in de winter en $-0.2\text{m}+\text{NAP}$ in de zomer. Het meerpeil wordt bepaald aan de hand van drie meetpunten. Als de waterstand van één van deze punten boven de $-0.3\text{m}+\text{NAP}$ uit komt ($-0.15\text{m}+\text{NAP}$ voor de zomer), worden de sluizen opengezet. Als de waterstand in alle drie punten weer onder de $-0.45\text{m}+\text{NAP}$ ($-0.25\text{m}+\text{NAP}$ voor de zomer) zakt, sluiten de sluizen. Ook bij een te hoge waterstand van de Waddenzee worden de sluizen gesloten (van der Mheen, 2014). De sturing van de Ramspolbalgstuw wordt bepaald door de stromingsrichting en de waterstand in het Zwarte Meer. Als de stroming richting het Zwarte Meer is, en de waterstand hoger is dan $0.5\text{m}+\text{NAP}$, wordt de balgstuw gesloten (van der Mheen, 2014). Het openen van de balgstuw duurt ongeveer een uur, het sluiten duurt ongeveer drie uur.

De sturing van de Kadoelerkeersluis wordt in beide modellen gesimuleerd aan de hand van de verwachte waterstand. Als in SOBEK de waterstand bij Kadoelen hoger wordt dan $1,0\text{ m}+\text{NAP}$, sluit de kering zich binnen een uur (van der Mheen et al., 2015). Als de waterstand weer onder $1,0\text{ m}+\text{NAP}$ daalt, opent de kering zich weer binnen een uur.

Het verschil tussen de twee modellen wat betreft de sturing van de stuwen en sluizen is voornamelijk te vinden in het gebruik van een tabel (RWsOS-Meren) of streefpeilen (FEWS-Vecht). Dit kan kleine verschillen in de verwachtingen veroorzaken.

4.1.4. Bodemruwheid

In FEWS-Vecht zijn de bodemruwheden bepaald door middel van kalibratie en schatting. Voor het winterbed geldt dat het landgebruik van het winterbed in kaart is gebracht, om zo de bodemruwheid zo nauwkeurig mogelijk in te schatten. De ruwheid van het zomerbed is bepaald met kalibratie.

Bij RWsOS-Meren bleek het bepalen van de juiste waarde voor de bodemruwheid van de Vecht lastig. Deze ruwheid is in 2014 gekalibreerd, maar hier kwamen fysisch onrealistische ruwheden⁵ uit. Deze waarden zijn echter wel overgenomen in de nieuwste versie van het model. De waarden van de gekalibreerde ruwheden liggen ongeveer tussen de $25 \text{ m}^{1/2}\text{s}^{-1}$ en $100 \text{ m}^{1/2}\text{s}^{-1}$ (van der Mheen, 2014). Het gebeurt vaak bij 2D modellen, zoals WAQUA, dat de bodemruwheid onrealistische waarden krijgt bij het kalibreren. Dit komt omdat fouten in het model op deze manier weggekalibreerd worden. Dit hoeft geen probleem te zijn, maar kan ervoor zorgen dat belangrijke fouten in het model onopgemerkt blijven. Het model lijkt dan juist te werken, omdat het wel juiste resultaten geeft, maar het proces in het model is dan niet foutloos.

4.1.5. Conclusie

In Tabel 2 zijn de verschillen en overeenkomsten in datastromen binnen de modellen samengevat.

Tabel 2 Verschillen en overeenkomsten datastromen

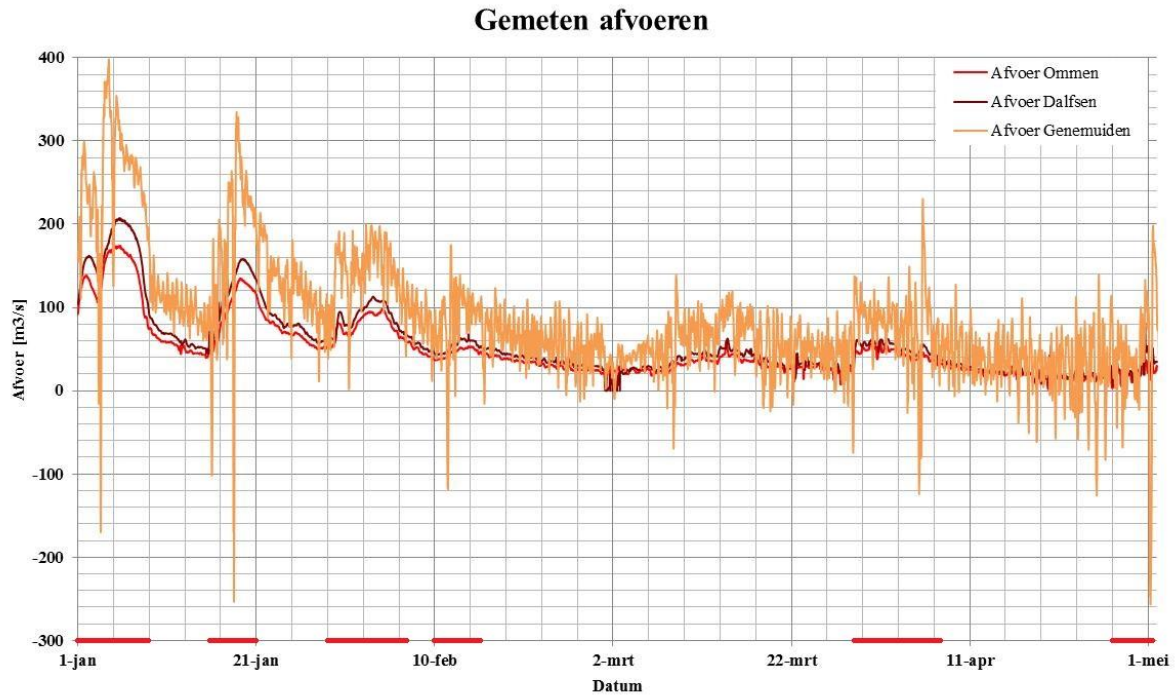
	FEWS-Vecht	RWsOS-Meren
Afvoer uit lateralen	De neerslag op zowel het stroomgebied als het rivierbed wordt opgenomen door middel van aparte deelstroomgebieden in het HBV model.	De neerslag op het stroomgebied en het rivierbed wordt niet meegenomen
	De afvoeren van een aantal lateralen worden gemeten. Deze afvoeren worden gesimuleerd in HBV, hiervan worden verwachtingen gegeven.	De afvoer vanuit een aantal lateralen samen (Sallandse Weteringen, Ommerkanaal, Regge en Lindebeek) wordt geschat op 36% van de afvoer van Ommen.
Wind	De windopzet wordt niet berekend, maar aan de rand van het model impliciet deels meegenomen in de verwachte waterstand bij de Ramspolbrug	Door middel van HiRLAM en COSMOLEPS worden verwachtingen gemaakt van de windopzet op het IJsselmeer, het Zwarte Meer, het Zwarte Water en de Vecht.
Sturing van de stuwen en sluizen	De sturing wordt gesimuleerd aan de hand van streefpeilen.	De stuwen zijn gesimuleerd als variabele drempelhoogtes. De sturing hiervan gaat op basis van tabellen.
	De Kadoelerkeersluis wordt gesloten als de waterstand hoger wordt dan 1,0m+NAP.	De Kadoelerkeersluis wordt gesloten als de waterstand hoger wordt dan 1,0m+NAP
		De sturing van de spuisluizen bij Den Oever en Kornwerderzand wordt gesimuleerd aan de hand van de waterstanden op het IJsselmeer en de Waddenzee
		De sturing van de Ramspolbalgstuw wordt bepaald door de stromingsrichting en de waterstand bij het Zwarte Meer
Bodemruwheid	De ruwheid van het winterbed is geschat met behulp van het landgebruik. De ruwheid van het zomerbed is bepaald met kalibratie.	De ruwheden van zowel het zomer- als het winterbed zijn bepaald met kalibratie.

⁵ Een redelijk bereik in Chézy zomerbedruwheid is tussen de $25 \text{ m}^{1/2}\text{s}^{-1}$ en $55 \text{ m}^{1/2}\text{s}^{-1}$ (van der Mheen, 5de generatie IJVD WAQUA model, 2014).

4.2. Onderzoeksvraag 2

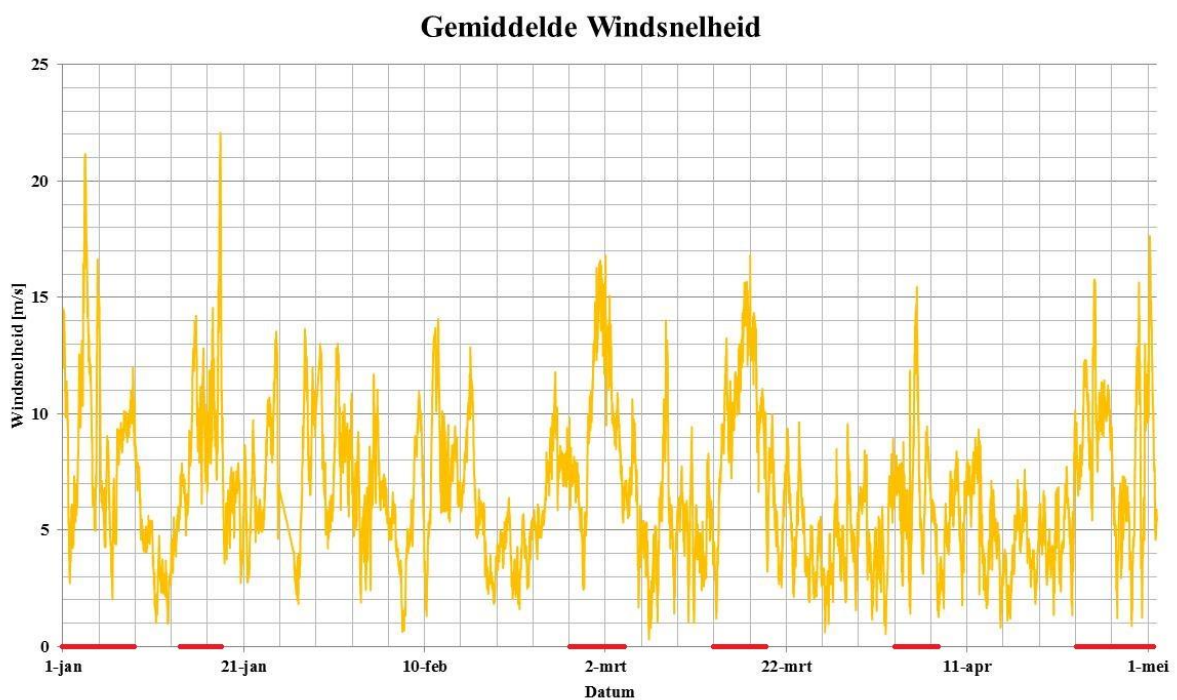
Welke situaties zijn de afgelopen tijd waargenomen?

In deze paragraaf wordt besproken welke situaties uitgekozen zijn, en door welke invloeden (wind, afvoer of een combinatie hiervan) deze situaties veroorzaakt zijn. Zoals eerder vermeld, is de huidige versie van RWsOS-Meren pas sinds januari 2018 geschikt voor dit onderzoek. Daarom vinden alle situaties plaats tussen januari en mei 2018. In Figuur 9 zijn de gemeten afvoeren over deze periode weergegeven.



Figuur 9 Gemeten afvoeren over gehele periode

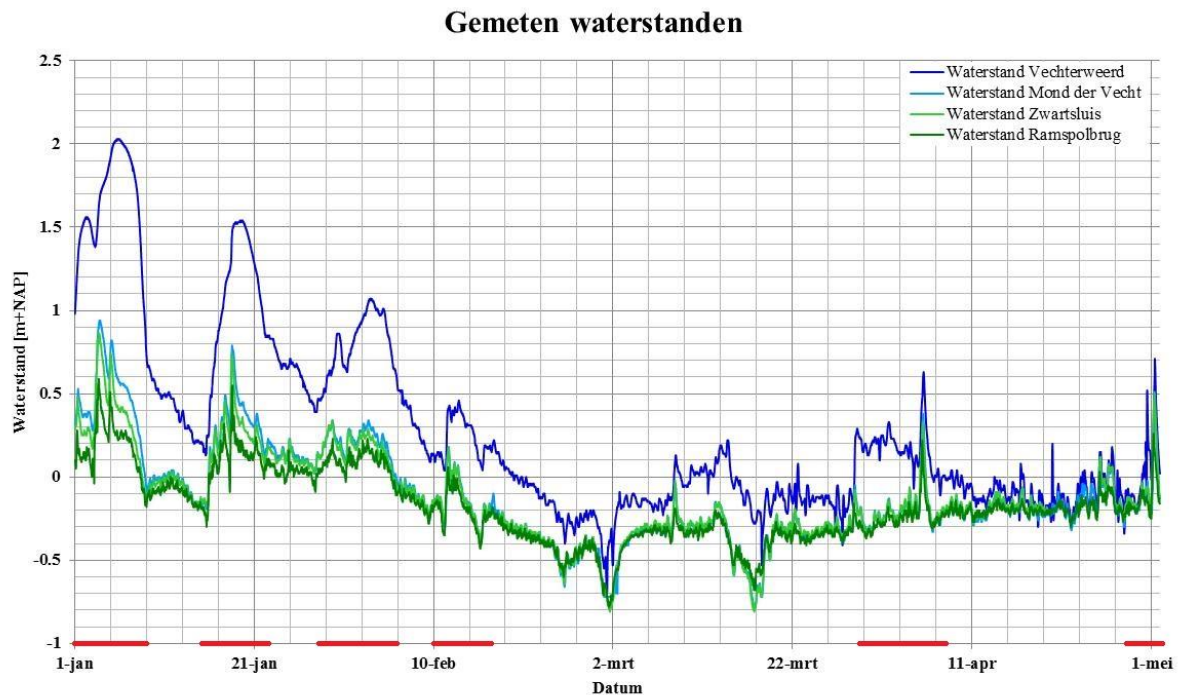
In Figuur 9 zijn een aantal pieken te zien. De pieken in januari zijn het meest opvallend, maar ook in februari en april zijn kleine pieken te zien. De periodes met pieken zijn rood gearceerd op de horizontale as.



Figuur 10 Gemiddelde gemeten windsnelheden over gehele periode

In Figuur 10 is de gemiddelde windsnelheid over de hele periode te zien. Hier zijn een aantal pieken te zien. De pieken in januari zijn weer opvallend, maar ook in maart, april en mei zijn pieken te zien. Deze periodes zijn weer rood gearceerd op de horizontale as.

Voor het kiezen van periodes met harde wind is niet alleen de windsnelheid van belang. De windrichting is relevant, aangezien alleen een (noord)westelijke windrichting het water opstuwt in het Zwarte Meer. De periodes in maart hadden te maken met een noordoostelijke wind, waardoor een piek in waterstanden niet verwacht wordt.



Figuur 11 Gemeten waterstanden over gehele periode

De pieken van zowel de afvoer als de gemiddelde windsnelheid zijn vervolgens vergeleken met de gemeten waterstanden. Wanneer een afvoer- of windpiek samenviel met een waterstandspiek, werd dit als een potentiële onderzoeksperiode gekozen. In Figuur 11 zijn de gemeten waterstanden over de gehele periode van vier locaties te zien. Hierin zijn drie grote, duidelijke pieken te zien, voornamelijk in januari. In februari, april en mei zijn kleinere pieken te zien. Deze periodes zijn rood gearceerd op de horizontale as.

De pieken uit de drie figuren zijn gecombineerd, waarbij zes periodes zijn gekozen. De criteria voor deze periodes zijn dat er tenminste één afvoergestuurde periode moet zijn, één windgestuurde periode, en één combinatie van deze twee factoren. De gekozen periodes zijn:

- 1 januari – 9 januari
- 17 januari – 21 januari
- 27 januari – 6 februari
- 10 februari – 15 februari
- 4 april – 7 april
- 29 april – 2 mei

In Tabel 3 en Tabel 4 zijn per periode de belangrijkste opmerkingen over de afvoer en de wind genoemd. In Tabel 5 is per periode de belangrijkste invloed op de waterstand genoemd. Deze is bepaald door de afvoer, windsnelheid en windrichting te analyseren. Een gedetailleerde beschrijving van elke periode is te vinden in Bijlage C.1.

Tabel 3 Opmerkingen over de gemeten afvoeren

Periode		Afvoer		
Start	Einde	Dalfsen	Genemuiden	Lateralen
1 januari 2018 00.00 uur	9 januari 2018 00.00 uur	Pieken tot 160 en 205 m ³ /s	Pieken tot 400 m ³ /s	Meppelerdiep en Sallandse Weteringen groot
17 januari 2018 00.00 uur	21 januari 2018 00.00 uur	Constant stijgend tot 160 m ³ /s	Varieert tussen 100 en 320 m ³ /s	Kleiner dan periode 1. Meppelerdiep en Sallandse Weteringen groot
27 januari 2018 00.00 uur	6 februari 2018 00.00 uur	Pieken tot 95 en 110 m ³ /s	Pieken tot 190 en 200 m ³ /s	Meppelerdiep groot ten opzichte van de afvoer bij Dalfen (25-35%)
10 februari 2018 00.00 uur	15 februari 2018 00.00 uur	Pieken tot 63 m ³ /s	Piek tot 175 m ³ /s.	Pieken tot 35 m ³ /s (Meppelerdiep) en 18 m ³ /s (Sallandse Weteringen)
4 april 2018 00.00 uur	7 april 2018 00.00 uur	Lage afvoer, piek 56 m ³ /s	Piek van 225 m ³ /s	Gemiddelde dagafvoer laag, wel een aantal pieken
29 april 2018 00.00 uur	2 mei 2018 00.00 uur	Eerst laag, pieken tot 80 en 50 m ³ /s	Eerst laag, piek tot 200 m ³ /s	Eerst laag door droogte, later wel een aantal pieken

Tabel 4 Opmerkingen over de gemeten wind

Periode		Wind	
Start	Einde	Windsnelheid	Windrichting
1 januari 2018 00.00 uur	9 januari 2018 00.00 uur	Pieken van 15, 21 en 17 m/s	Zuidwesten
17 januari 2018 00.00 uur	21 januari 2018 00.00 uur	Pieken tot 15 en 22 m/s	Zuiden, noordwesten
27 januari 2018 00.00 uur	6 februari 2018 00.00 uur	Pieken tot 11 en 14 m/s	Zuidwesten, noordoosten
10 februari 2018 00.00 uur	15 februari 2018 00.00 uur	Pieken tot 13, 14 en 12 m/s	Westen, Zuidoosten
4 april 2018 00.00 uur	7 april 2018 00.00 uur	Pieken tot 12 en 15 m/s	Zuidoosten, zuidwesten, noordwesten
29 april 2018 00.00 uur	2 mei 2018 00.00 uur	Pieken tot 16 en 18 m/s	Zuidwesten, noordoosten

Tabel 5 Belangrijkste invloed op de waterstand

Periode		Waterstand			
Start	Eind	Vechterweerd	Mond der Vecht	Zwartsluis	Ramspolbrug
1 januari 2018 00.00 uur	9 januari 2018 00.00 uur	Afvoer	Wind	Wind	Wind
17 januari 2018 00.00 uur	21 januari 2018 00.00 uur	Afvoer, 18 januari wind	Wind	Wind	Wind
27 januari 2018 00.00 uur	6 februari 2018 00.00 uur	Afvoer	Afvoer, wind	Afvoer, wind	Afvoer, wind
10 februari 2018 00.00 uur	15 februari 2018 00.00 uur	Wind	Wind	Wind	Wind
4 april 2018 00.00 uur	7 april 2018 00.00 uur	Afvoer	Afvoer, wind	Afvoer, wind	Afvoer, wind
29 april 2018 00.00 uur	2 mei 2018 00.00 uur	Afvoer	Afvoer, Wind	Afvoer, wind	Wind

4.3. Onderzoeksvraag 3

Hoe wijkt de berekende data van de gemeten data af en wat veroorzaakt deze afwijking?

In deze paragraaf worden de resultaten van onderzoeksvraag 3 besproken. Hierbij wordt gekeken naar de afwijking van de modellen per locatie en periode. Een aantal periodes worden bij bepaalde locaties uitgesloten, aangezien deze niet geschikt zijn voor het onderzoek. Bij de overige periodes wordt bepaald wanneer de verschillen plaatsvinden, hoe groot deze verschillen zijn en hoe het verschil verklaard kan worden. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de resultaten bij onderzoeksvraag 1 en 2.

In Bijlage D.1 tot en met Bijlage D.6 zijn de verwachtingen van beide modellen weergegeven in grafieken. Voor elke periode zijn de verwachtingen per locatie weergegeven.

4.3.1. Geschiedte periodes voor onderzoek

In Bijlage E.7 is per locatie beargumenteerd waarom bepaalde periodes uitgesloten worden. Samengevat worden de volgende periodes wel onderzocht:

- Vechterweerd
 - 27 januari tot 6 februari
 - 10 februari tot 15 februari
 - 4 april tot 7 april
 - 29 april tot 2 mei
- Mond der Vecht
 - 1 januari tot 9 januari
 - 17 januari tot 21 januari
 - 27 januari tot 6 februari
 - 10 februari tot 15 februari
 - 4 april tot 7 april
 - 29 april tot 2 mei
- Zwartsluis
 - 1 januari tot 9 januari
 - 17 januari tot 21 januari
 - 27 januari tot 6 februari
 - 10 februari tot 15 februari
 - 4 april tot 7 april
 - 29 april tot 2 mei
- Ramspolbrug
 - 17 januari tot 21 januari
 - 27 januari tot 6 februari
 - 10 februari tot 15 februari
 - 4 april tot 7 april
 - 29 april tot 2 mei

4.3.2. Resultaten per periode

Hier worden periode 3 (27 januari tot 6 februari) en periode 4 (10 februari tot 15 februari) geanalyseerd. In Bijlage E is zijn de analyses van alle periodes te vinden. Voor elke periode zijn de grootste afwijkingen geselecteerd. Deze paragraaf richt zich vooral op het vinden van de onderlinge verschillen en hun verklaringen, terwijl in Bijlage E voornamelijk de verschillen met de gemeten waterstanden worden geanalyseerd. Periode 3 en 4 zijn verder uitgewerkt, omdat dit een afvoer- en een windgedreven periode zijn, en hier de onderlinge verschillen tussen RWsOS-Meren en FEWS-Vecht duidelijk te zien zijn.

Periode 3

Gedurende de derde periode zijn afwijkingen over de gehele periode te zien. Het onderlinge verschil tussen de twee modellen is voornamelijk van 27 tot 30 januari groot, hoewel ook later in de periode verschillen te zien zijn. Deze verschillen zijn bij de locaties Vechterweerd, Mond der Vecht en Zwartsluis te zien. Bij de Ramspolbrug is het onderlinge verschil klein, aangezien hier de verwachting

van RWsOS-Meren een randvoorwaarde is voor FEWS-Vecht. Het onderlinge verschil bij Mond der Vecht is het grootst. Voor de locaties Vechterweerd, Mond der Vecht en Zwartsluis geldt dat de verwachting van FEWS-Vecht over het algemeen lager is dan de verwachting van RWsOS-Meren, en daarmee ook dichterbij de gemeten waterstand. Dit verschil wordt veroorzaakt door de verschillen in de modelopbouw.

Periode 3 is een afvoergedreven periode. Op 30 januari vindt een afvoerpiek plaats. De wind komt gedurende deze periode uit het zuidwesten, en veroorzaakt geen grote windopzet. Zoals bekend is, berekent FEWS-Vecht de verwachte afvoeren van de deelstroomgebieden, en schat RWsOS-Meren deze afvoeren aan de hand van de afvoer bij Ommen.

De waterstandsverwachtingen van RWsOS-Meren zijn vrijwel de gehele periode aan de hoge kant. De afwijking is bij Vechterweerd het grootst, en wordt verder benedenstrooms kleiner. De waterstandsafname op 30 januari wordt in de verwachting wel goed opgenomen, hier is de afwijking kleiner. Opvallend is dat hier de afvoerverwachtingen laag zijn. Dit kan erop wijzen dat de afvoerschattings van de deelstroomgebieden aan de hoge kant is geweest. Toen de afvoer zo'n 20 m³/s te laag werd verwacht, was de schatting eveneens aan de lage kant, waardoor de verwachting minder afweek van de gemeten waterstanden. Echter, de verwachting van RWsOS-Meren zou dan waarschijnlijk zelfs te laag zijn, en dat is niet het geval. Een verklaring hiervoor kan zijn dat het model de windopzet een te grote invloed toeschrijft, waardoor de waterstandsverwachtingen te hoog worden. Binnen het tijdsbestek van dit onderzoek was het niet mogelijk dit te controleren. Wel is gebleken dat de hindcast weinig afwijkt van de verwachting, wat erop duidt dat het onderliggende meteorologische model een goede windverwachting heeft gegeven.

FEWS-Vecht geeft lagere verwachtingen dan RWsOS-Meren. Deze verwachtingen zijn vaak hoger dan de gemeten waterstanden. Dit verschil is benedenstrooms groter dan bovenstrooms, wat erop kan wijzen dat de windopzet ook hier een rol speelt. Immers, de waterstandsverwachting van RWsOS-Meren is bij de Ramspolbrug een randvoorwaarde voor FEWS-Vecht. Een andere verklaring is dat de afvoerverwachting te hoog was. Dit is vooral bij Dalfsen het geval, bij Ommen zijn de verwachtingen. Dit kan erop duiden dat de afvoerverwachtingen van de deelstroomgebieden aan de hoge kant waren, waardoor de totale afvoer ook te hoog werd verwacht.

De bovengenoemde verschillen tussen de verwachtingen van RWsOS-Meren en FEWS-Vecht worden voornamelijk veroorzaakt door verschillen in de modelopbouw. FEWS-Vecht berekent de afvoer van de deelstroomgebieden, welke in deze afvoergedreven periode een grote invloed heeft. RWsOS-Meren schat deze afvoer in, waardoor deze waarschijnlijk te hoog ingeschat worden. Ook kan het zijn dat de combinatie van een afvoerpiek met een (kleine) windpiek niet correct in het model opgenomen is, en het model daardoor te heftig reageert op deze combinatie. Om deze redenen is de verwachting van FEWS-Vecht gedurende afvoergedreven periodes, zoals periode 3, het beste te gebruiken.

Periode 4

Gedurende de vierde periode zijn, zoals uitgelegd in Bijlage E, op drie momenten afwijkingen te zien bij de verwachtingen. Alleen de onderlinge afwijking op 11 februari is groter dan tien centimeter. Deze afwijking wordt hier verder uitgewerkt. Dit geldt voornamelijk voor de locaties Vechterweerd, Mond der Vecht en Zwartsluis. Bij de Ramspolbrug is het onderlinge verschil klein, aangezien hier de verwachting van RWsOS-Meren een randvoorwaarde is voor FEWS-Vecht. Voor de locaties Vechterweerd, Mond der Vecht en Zwartsluis geldt dat de verwachting van FEWS-Vecht over het algemeen lager is dan de verwachting van RWsOS-Meren. Dit verschil kan verklaard worden door de verschillen in de modelopbouw.

Periode 4 is een windgedreven periode. De windpiek in deze periode vindt op 11 februari plaats. De wind komt op dat moment uit een westelijke richting, en behaalt een snelheid van 14 m/s. De afvoer neemt op 11 februari iets toe, van 38 m³/s tot 46 m³/s (Ommen), en van 45 m³/s tot 56 m³/s.

De waterstand neemt op alle locaties 30 tot 40 centimeter toe. Aangezien deze stijging tegelijk met de windpiek plaatsvindt, is de wind hoogstwaarschijnlijk de oorzaak van de waterstandstoename. Zoals

bekend is, berekent RWsOS-Meren de windopzet, en vormt de windopzet bij de Ramspolbrug een randvoorwaarde voor FEWS-Vecht. In Bijlage E zijn de verwachtingen van RWsOS-Meren en FEWS-Vecht te zien.

De waterstandsverwachting van RWsOS-Meren stijgt op het juiste moment, maar wordt te hoog. In de hindcast is hetzelfde te zien. Dit kan verklaard worden door de windpiek en stijgende afvoer. De combinatie hiervan kan ervoor zorgen dat RWsOS-Meren een hogere waterstand verwacht dan gemeten wordt. Echter, de verwachte afvoer is juist lager dan de gemeten afvoer. Dit zou eerder tot lagere waterstandsverwachtingen leiden, in plaats van te hoge. Er zijn twee verklaringen voor de te hoge waterstand. Eén hiervan is dat een andere afvoerverwachting gebruikt is bij het opstellen van de waterstandsverwachting. De waterstandsverwachtingen van eerdere momenten zijn hoger dan zowel de afvoerverwachting van 11 februari 00.00 uur, en de gemeten afvoer. De andere verklaring is dat het model heftiger reageert op de combinatie van een stijgende afvoer en een windpiek. Voor beide gevallen geldt dat het, binnen het tijdsbestek van dit onderzoek, niet mogelijk was dit te controleren.

FEWS-Vecht geeft een te lage verwachting. Ook hier zijn twee verklaringen voor te bedenken. De eerste verklaring is dat hierbij de lage afvoerverwachting gebruikt is, dus de afvoerverwachting van 11 februari 00.00 uur. Aangezien de piek van de waterstanden voornamelijk veroorzaakt wordt door een piek in de windsnelheid, is deze verklaring niet waarschijnlijk. De andere verklaring is dat het model de invloed van de windopzet te laag inschat. Dit is een reële verklaring, omdat de windopzet alleen bij de Ramspolbrug meegenomen wordt als randvoorwaarde. De windopzet wordt verder niet berekend, wat als gevolg kan hebben dat de invloed te klein ingeschat wordt op locaties verder bovenstrooms.

De bovengenoemde verschillen tussen de verwachtingen van RWsOS-Meren en FEWS-Vecht worden voornamelijk veroorzaakt door verschillen in de modelopbouw. RWsOS-Meren berekent de windopzet, welke in deze windgedreven periode een grote invloed heeft. FEWS-Vecht gebruikt de windopzet slechts als randvoorwaarde, en onderschat daardoor waarschijnlijk de invloed verder bovenstrooms. Om deze redenen is de verwachting van RWsOS-Meren gedurende windgedreven periodes, zoals periode 4, het beste te gebruiken.

4.3.3. Algemene resultaten

Over het algemeen zijn de onderlinge verschillen tussen de modellen klein. Wanneer echter een verschil van meer dan tien centimeter voorkomt, is het van belang te weten of dit een wind- of afvoergedreven periode is. Gedurende een windgedreven periode is vaak RWsOS-Meren het meest bruikbaar. Dit komt omdat RWsOS-Meren de windopzet berekent, waar FEWS-Vecht dit slechts als randvoorwaarde opneemt. Voor een afvoergedrevenperiode geldt dat FEWS-Vecht vaak het meest bruikbaar is, aangezien deze de afvoer van de deelstroomgebieden berekent, waar RWsOS-Meren deze schat. In beide gevallen moet rekening gehouden worden met onnauwkeurigheden in de onderliggende meteorologische modellen.

Ook de locatie bepaalt de bruikbaarheid van de modellen. Over het algemeen geldt dat FEWS-Vecht de meest bruikbare verwachting geeft voor Vechterweerd, aangezien de waterstand hier voornamelijk bepaald wordt door de afvoer. Bij Mond der Vecht is dit iets minder duidelijk, wel is vaak FEWS-Vecht bruikbaar, aangezien ook hier de afvoer meestal de grootste invloed heeft. Bij een noordwesterwind is RWsOS-Meren soms bruikbaar. Voor Zwartsluis geldt dat RWsOS-Meren vaak de meest bruikbare verwachting geeft, omdat hier de windopzet een grote rol speelt. Bij de Ramspolbrug wordt de verwachting van RWsOS-Meren gebruikt als randvoorwaarde voor FEWS-Vecht, waardoor het verschil vaak klein is. Hier kan RWsOS-Meren het beste gebruikt worden. De waterstand bij de Ramspolbrug wordt namelijk vrijwel alleen maar bepaald door de wind.

5. Discussie

Gedurende dit onderzoek zijn een aantal punten van aandacht naar voren gekomen. Deze punten beïnvloeden de betrouwbaarheid van het onderzoek. Een aantal van deze punten hebben het onderzoek beperkt. Deze aandachtspunten worden in dit hoofdstuk besproken. Verder worden suggesties voor vervolgonderzoek gedaan.

5.1. Aandachtspunten

Een van de grootste aandachtspunten is de beperking in de hoeveelheid data. Aangezien de nieuwste versie van RWsOS-Meren pas bruikbaar was vanaf januari 2018, zijn alleen situaties van 2018 onderzocht. Dit betekent dat slechts voor 4 maanden data beschikbaar was, van 2 seizoenen. Hierdoor was het niet mogelijk om bijvoorbeeld de drogere periodes van de zomer te onderzoeken. Er zijn conclusies getrokken op basis van beperkte data, en is er geen zekerheid dat deze conclusies juist zijn voor andere seizoenen of extreme hoogwaterstanden.

Voor het bepalen van de afvoer bij Dalfsen, en de laterale afvoeren is gebruik gemaakt van ruwe data. Dit is data die direct van het afvoermeetstation komt, en onbewerkt is. Deze ruwe data is nog niet gevalideerd, en kan daarom onjuiste of onnauwkeurige waardes bevatten. Dit beïnvloedt de betrouwbaarheid van de data. Om te voorkomen dat de conclusies op verkeerde informatie gebaseerd zijn, is gebruik gemaakt van de afvoeren bij Ommen en Genemuiden. Zo is getracht zoveel mogelijk onzekerheden uit te sluiten.

Een ander aandachtspunt, wat de afvoer betreft, is de onzekerheid over welke afvoerverwachting gebruikt is voor het opstellen van de waterstandsverwachting. Er is vanuit gegaan dat bij de berekening van de waterstandsverwachting om 00.00 uur, ook de afvoerverwachting, die om 00.00 uur berekend is, gebruikt wordt. Dit is echter niet onderzocht wegens de beperking in tijd. Om de invloed van het gebruik van eerdere afvoerverwachtingen te onderzoeken, is dit bij onderzoeksvraag 3 tweemaal vergeleken. Dit bleek soms grote verschillen op te leveren. Deze aanname kan dus een onzekerheid in dit onderzoek vormen.

Bij het vergelijken van de berekende en gemeten data is gebruik gemaakt van verwachtingen. Hierdoor wordt een grote onzekerheid gevormd door de onderliggende meteorologische modellen, zoals HiRLAM en ECMWF. Een alternatief was geweest om gebruik te maken van hindcasts. Zo worden de waargenomen meteorologische toestanden gebruikt voor een nieuwe berekening, waarmee de onzekerheid van de onderliggende meteorologische modellen uitgesloten wordt. De hindcast is bij RWsOS-Meren in MATROOS te vinden. Echter, van FEWS-Vecht is geen hindcast beschikbaar. Dit maakte het niet mogelijk om hindcasts van de twee modelsystemen te vergelijken. Hierdoor kunnen de afwijkingen van de verwachtingen veroorzaakt zijn door onnauwkeurigheden in de meteorologische modellen.

Een laatste aandachtspunt is dat elke dag gebruik is gemaakt van de verwachting van die dag. FEWS-Vecht maakt verwachtingen voor 5 dagen vooruit, RWsOS-Meren voor 2 dagen vooruit. Hoe verder de verwachting vooruit loopt, hoe groter de onzekerheid van de verwachting is. Om de modellen eerlijk te kunnen vergelijken, is daarom per dag de verwachting van die dag gebruikt. Voor bijvoorbeeld 1 januari is de verwachting van 1 januari 00.00 uur gebruikt, voor 2 januari de verwachting van 2 januari 00.00 uur, etc. Dit heeft in sommige grafieken sprongen opgeleverd, aangezien de verwachtingen niet soepel in elkaar overlopen. Deze sprongen hebben er soms voor gezorgd dat de data niet of lastig te vergelijken was. Dit was te voorkomen geweest door de verwachtingen per dag te vergelijken. Echter, in beide gevallen varieert de voorspelhorizon van 1 tot 24 uur, waardoor ook de onzekerheid per dag verschilt. Het meest ideale zou zijn om één voorspelhorizon te gebruiken, bijvoorbeeld van 24 uur. In dat geval waren er geen sprongen geweest, en hadden betrouwbaardere conclusies getrokken kunnen worden. Het was helaas niet bekend hoe dit in MATROOS opgevraagd kon worden. Echter, de conclusies waren in dat geval waarschijnlijk (ongeveer) hetzelfde geweest, aangezien de afwijkingen slechts kleiner waren geweest door een kleinere onzekerheid.

5.2. Suggesties voor vervolgonderzoek

Er zijn nog veel vragen onbeantwoord over de verschillen tussen de modellen. Dit onderzoek is voornamelijk beperkt door het ontbreken van data en de tijdsdruk. Er zijn concessies gedaan over welke locaties en periodes te onderzoeken. Met het onderzoek zijn een aantal veelbelovende resultaten behaald, maar deze kunnen alleen informatie geven over de periode januari tot mei 2018, en de locaties Vechterweerd, Mond der Vecht, Zwartsluis, en de Ramspolbrug. De betrouwbaarheid van het onderzoek is beperkt door de afwezigheid van een hindcast bij FEWS-Vecht.

Verder onderzoek zou kunnen focussen op de beperkingen veroorzaakt door het ontbreken van de hindcast van FEWS-Vecht. Indien het mogelijk is om toch een hindcast op te zetten, zou deze vergeleken kunnen worden met de hindcast van RWsOS-Meren. Wanneer het niet mogelijk is om de hindcast op te zetten, zou het misschien mogelijk zijn om diverse situaties opnieuw te runnen. Of dit mogelijk is, is niet bekend, maar indien dit mogelijk is, zou het de betrouwbaarheid van dit onderzoek kunnen vergroten.

Vervolgonderzoek zou ook kunnen focussen op meer locaties. Voor dit onderzoek zijn slechts vier locaties onderzocht, wegens de tijdsbeperking. Echter, het advies dat bij de conclusie gegeven wordt, zou meer gedetailleerd kunnen worden wanneer meer locaties in het onderzoek opgenomen worden. Dit zouden dan vooral locaties tussen Vechterweerd en Zwartsluis zijn.

Een andere suggestie voor vervolgonderzoek, is om dit onderzoek, al dan niet op basis van een hindcast en meer locaties, nogmaals uit te voeren wanneer meer data beschikbaar is. Hierbij zouden de periodes en locaties zorgvuldiger gekozen kunnen worden, waarbij duidelijkere wind- of afvoergedreven periodes gekozen kunnen worden. Verder kan in dat geval data van andere seizoenen onderzocht worden, wanneer de rivier zich anders gedraagt. Dit draagt bij aan de betrouwbaarheid van dit onderzoek, en kan een gedetailleerder beeld geven van de bruikbaarheid van de verwachtingen.

6. Conclusie

De grootste verschillen tussen FEWS-Vecht en RWSOS-Meren worden gevonden in de opname van neerslag en afvoer van de deelstroomgebieden, en de berekening van de windopzet. FEWS-Vecht maakt gebruik van de neerslag om een afvoerverwachting van de deelstroomgebieden te bepalen. Deze afvoerverwachting wordt vervolgens als lateraal debiet op het SOBEK-model gezet. RWSOS-Meren berekent de afvoerverwachting van de deelstroomgebieden niet, maar maakt een schatting op basis van de afvoer bij Ommen. FEWS-Vecht berekent de windopzet van het Zwarte Meer, het Zwarte Water en de Vecht niet. Echter, de verwachte waterstand van RWSOS-Meren bij de Ramspolbrug wordt als randvoorwaarde gebruikt, hierin is de windopzet wel meegenomen. RWSOS-Meren berekent de windopzet op basis van de windverwachting van HiRLAM.

Op basis van de gemeten waterstanden, afvoeren, windsnelheden en windrichtingen zijn de volgende situaties gekozen:

- 1 januari tot 9 januari 2018
Windgedreven periode
- 17 januari tot 21 januari 2018
Windgedreven periode
- 27 januari tot 6 februari 2018
Afvoergedreven periode
- 10 februari tot 15 februari 2018
Windgedreven periode
- 4 april tot 7 april 2018
Wind- en afvoergedreven periode
- 29 april tot 2 mei 2018
Wind en afvoergedreven periode

Bij het vergelijken van de verwachtingen van de twee systemen bleek dat de verschillen hiertussen over het algemeen klein zijn. Echter, soms treden verschillen van meer dan tien centimeter op. In dat geval is het van belang te weten of dit een wind- of afvoergedreven periode is. Ook de locatie is van belang. Bij de locaties Zwartsluis en de Ramspolbrug is RWSOS-Meren vrijwel altijd het meest nauwkeurig, aangezien hier de wind een grote rol speelt, en RWSOS-Meren de windopzet berekent. FEWS-Vecht gebruikt de windopzet slechts als een randvoorwaarde en schat daardoor waarschijnlijk een te lage invloed van de wind in. FEWS-Vecht geeft vaak de meest geschikte verwachting voor Vechterwaard, aangezien de waterstand hier voornamelijk bepaald wordt door de afvoer, en FEWS-Vecht de laterale afvoeren zelf berekent. Voor Mond der Vecht geldt dat tijdens een windgedreven periode RWSOS-Meren vaak het meest geschikt is. Tijdens een afvoergedreven periode is FEWS-Vecht vaak het meest geschikt bij Mond der Vecht. Dit komt omdat de windopzet Mond der Vecht wel kan bereiken, maar de waterstand hier ook vaak een grote invloed ondervindt van de afvoer van de Sallandse Weteringen, welke berekent wordt door FEWS-Vecht. RWSOS-Meren schat deze afvoer in.

Over het algemeen blijkt dat FEWS-Vecht voor de locatie het meest bruikbaar is. Voor de locaties Zwartsluis en de Ramspolbrug is dit vaak RWSOS-Meren. Welk model bij Mond der Vecht het meest bruikbaar is, wordt bepaald door de aard van de periode. Indien dit een afvoergedreven periode is, is FEWS-Vecht op deze locatie het meest bruikbaar. Indien het een windgedreven periode betreft, is RWSOS-Meren het meest bruikbaar.

7. Aanbevelingen

Op basis van dit onderzoek worden enkele aanbevelingen gedaan. Deze aanbevelingen dragen bij aan de bruikbaarheid van beide modellen en aan de vindbaarheid van data.

De eerste aanbeveling draagt bij aan het verbeteren van de modellen. Hoewel beide modellen vaak goede verwachtingen geven, komt toch de vraag naar voren waarom bepaalde waarden niet meegenomen worden bij de berekening van waterstandsverwachtingen. Aangezien het onrealistisch is om te verwachten dat beide modellen volledig opnieuw ingericht worden, wordt niet de aanbeveling gedaan bijvoorbeeld de windopzet door FEWS-Vecht te laten berekenen, of de laterale afvoeren door RWsOS-Meren te laten berekenen. Echter, RWsOS-Meren neemt laterale afvoeren nu al mee als schatting. Advies is deze schatting, indien mogelijk, te vervangen door verwachte afvoeren van deelstroomgebieden. Zeker lateralen zoals het Meppelerdiep en de Sallandse Weteringen hebben een grote bijdrage aan de totale afvoer. Deze verwachte afvoeren zijn beschikbaar vanuit FEWS-Vecht. Deze zouden geëxporteerd kunnen worden naar MATROOS, waardoor zij opgenomen kunnen worden in RWsOS-Meren. Hiermee wordt neerslag beter opgenomen in RWsOS-Meren, waardoor de verwachtingen nauwkeuriger worden.

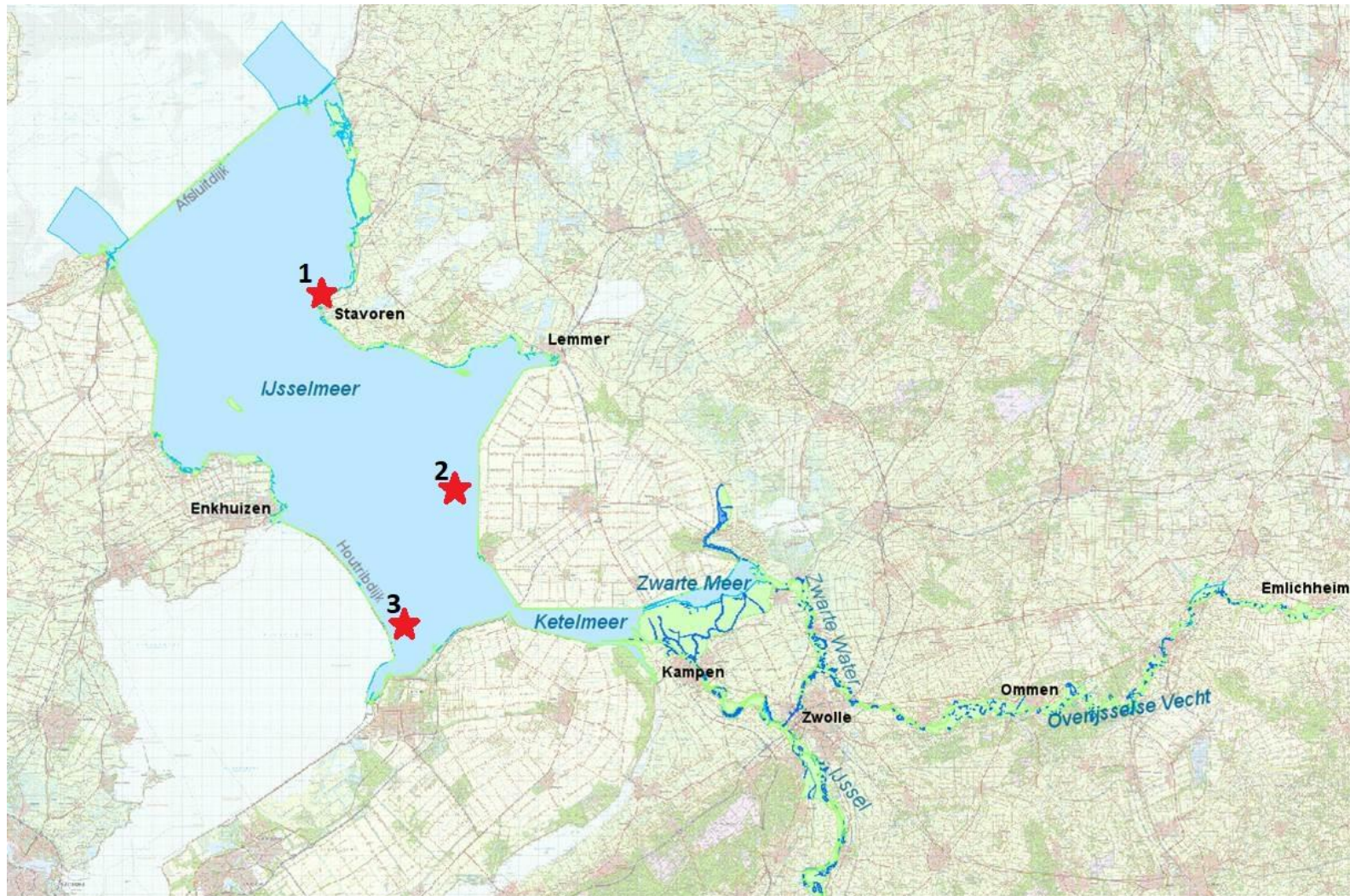
Verder is er een aanbeveling over de vindbaarheid van data in MATROOS. Tijdens het onderzoek is gebleken dat slechts beperkt bekend is welke data waar te vinden is in MATROOS. Dit bleek onder andere bij het zoeken naar hindcasts van RWsOS-Meren en FEWS-Vecht. Advies is om een overzicht of handleiding te maken, waarbij uitgelegd wordt welke data beschikbaar is in de database, en hoe dit te vinden is.

8. Literatuurlijst

- Deltares. (2016, 9 september). SOBEK Suite. Geraadpleegd van <https://www.deltares.nl/nl/software/sobek-suite/>
- Deltares. (2017, 19 januari). Model Adapters. Geraadpleegd van <https://www.delft-fews.nl/model-adapters>
- Eijsberg-Bak, C. (2016). *Actualisatie IJsselmeer en IJssel Vechtdelta model 2016*. Rapportnummer:1230071-005-ZWS-0012
- Filius, P., & Tromp, G. (2014, 1 april). Hoogwatervoorspelmodel Overijsselsche Vecht [Slides]. Geraadpleegd van [https://publicwiki.deltares.nl/display/FEWSWTD/Presentaties?preview=%2F90425341%2F97518884%2FHoogwatervoorspelmodel Vecht_RWS-1+april+2014.ppt](https://publicwiki.deltares.nl/display/FEWSWTD/Presentaties?preview=%2F90425341%2F97518884%2FHoogwatervoorspelmodel+Vecht_RWS-1+april+2014.ppt)
- Helpdesk Water Rijkswaterstaat. (2017). RWsOS. Geraadpleegd van <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/applicaties-modellen/applicaties-per/watermanagement/watermanagement/rwsos/>
- Jungermann, N., Hakvoort, H., & Versteeg, R. (2012). *Neerslag-afvoermodellen voor de Overijsselsche Vecht*. doi:PR2324.10
- Rura-Arnhem. (2012). *Ontwikkeling Hydraulisch 1D-Model Vecht*. Rapportnummer:VENV1210239
- Rijkswaterstaat. (2017). *Voorstel afstemming in het Benedenstroomse Rivierengebied*.
- Siemers, A. (2018, 5 januari). Hoog water in Dalfsen, januari 2018 [Video]. Geraadpleegd van <https://www.youtube.com/watch?v=9MQvv5ocgRY>
- Stengs, B. (2017, 26 augustus). WAQUA Workflows. Geraadpleegd van <https://publicwiki.deltares.nl/display/FEWSWTD/WAQUA+workflows>
- Swedish Meteorological and Hydrological Institute. (2015, 9 juni). HBV. Geraadpleegd van <https://www.smhi.se/en/research/research-departments/hydrology/hbv-1.90007>
- Twigt, D. (2014, 19 september). Systeembeschrijving. Geraadpleegd van <https://publicwiki.deltares.nl/display/FEWSWTD/Systeembeschrijving>
- Twigt, D. (2014). *WAQUA IJVD model*. Geraadpleegd van <https://publicwiki.deltares.nl/display/FEWSWTD/Besprekverslagen%2C+notities+en+projectplannen>
- Van der Mheen, M. (2014). *5de generatie IJVD WAQUA model*. Rapportnummer:1209449-007-ZWS-0008
- Van der Mheen, M., Keizer, A., & De Jong, J. (2015). *SOBEK 3-model van de Overijsselse Vecht*. doi:1220072-006-ZWS-0008
- Van der Molen, J., Kornelis, W., Kloosterboer, H., Laarman-Hoogendoorn, D., & Van der Wiele, P. (2012). Betere hoogwatervoorspelling voor Vechtstroomgebied. *Land+Water*, 2012(6), 24-25. Geraadpleegd van https://oss.deltares.nl/c/document_library/get_file?uuid=d0aec927-ff80-4ad3-9766-ea800a74f5ec&groupId=145641
- Van Eerdenbrugh, K. (2004). *Numerieke modellen ter ondersteuning in crisisperiodes*. Geraadpleegd van <http://docplayer.nl/28999338-Numerieke-modellen-ter-ondersteuning-in-crisisperiodes.html>
- Van Heeringen, K., & Haaksma, H. (2016). *FEWS Vecht*. Rapportnummer:1220754-000-ZWS-0019

- Watermanagementcentrum Nederland. (2018). *Stormflits IJsselmeergebied Noordwesterstorm 10 Bft*. Rijkswaterstaat. Geraadpleegd van <https://waterberichtgeving.rws.nl/water-en-weer/verwachtingen-water/ijsselmeergebied/berichtgeving-1/download:1026>
- Waterschap Drents-Overijsselse Delta. (2017, 21 november). *Legger oppervlaktewateren 2018* Waterschap Drents-Overijsselse Delta [Legger]. Geraadpleegd van <http://wdodelta.maps.arcgis.com/apps/PublicInformation/index.html?appid=275a66d753fb4e0c873b909917fedbbf>
- Werner, M., Schellekens, J., Gijsbers, P., Van Dijk, M., Van den Akker, O., & Heynert, K. (2013, februari). The Delft-FEWS flow forecasting system. *Environmental Modelling & Software*, 2013(2), 65-77. Geraadpleegd van <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815212002083>

Bijlage A.1 Locaties Windmeetstations

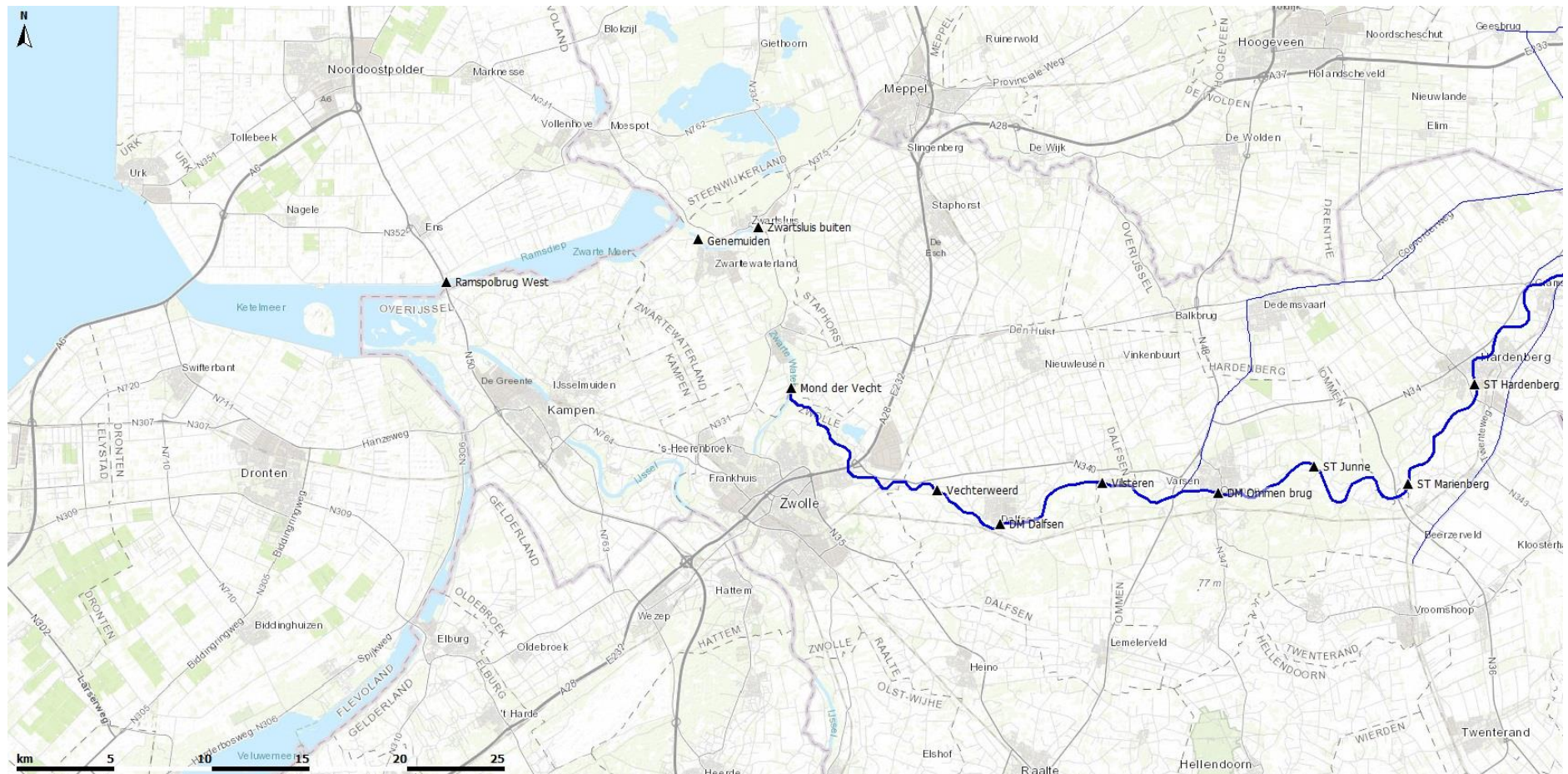


Figuur 12 Locaties Windmeetstations

1. Stavoren, 2. Rotterdamse Hoek, 3. Houtribdijk

Noot. Aangepast van "WAQUA IJVD model", door Twigt, D., 2014, p.3

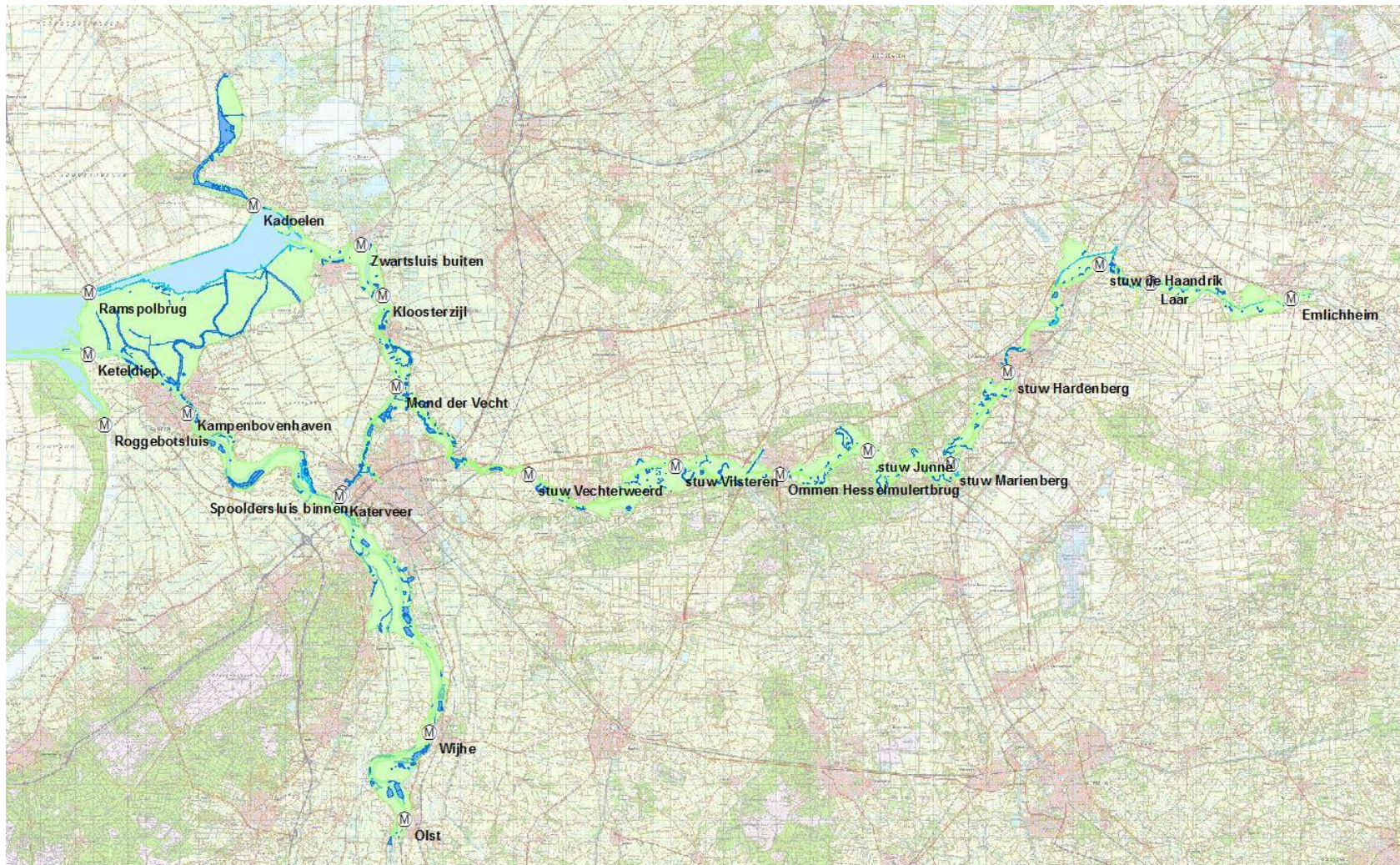
Bijlage A.2 Locaties afvoermeetstations



Figuur 13 Locaties afvoermeetstations

Noot. Herdrukt van FEWS-Vecht (2016.02) [Software]. (2018)

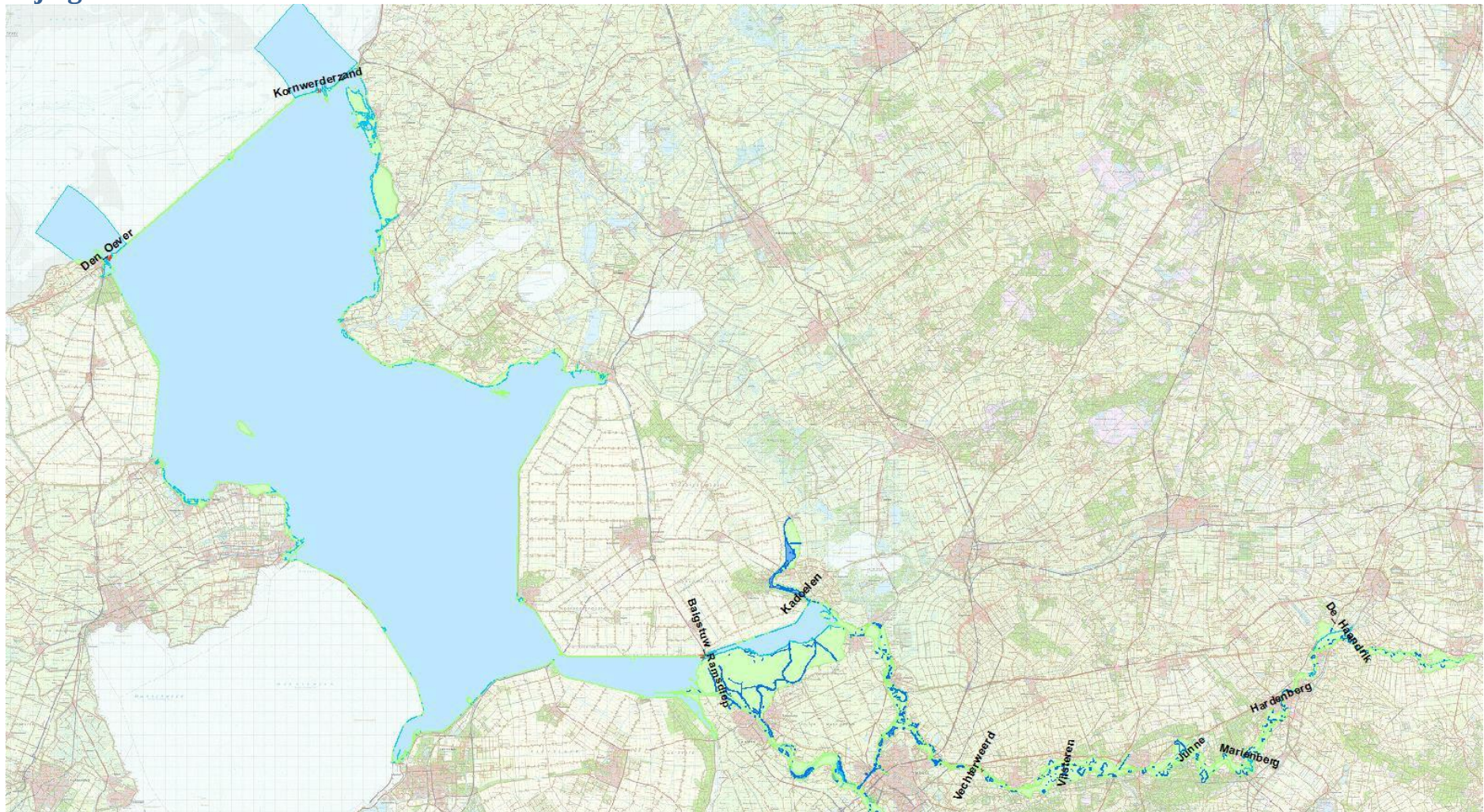
Bijlage A.3 Locaties waterstandmeetstations



Figuur 14 Locaties waterstandmeetstations

Noot. Herdrukt van “5^{de} generatie IJVD WAQUA model”, door van der Mheen, M., 2014, p.7

Bijlage B Locaties kunstwerken



Figuur 15 Locaties kunstwerken Vecht en IJsselmeer

Noot. Herdrukt van "5^{de} generatie IJVD WAQUA model", door van der Mheen, M., 2014, p.6

Bijlage C.1 Analyse gekozen periodes

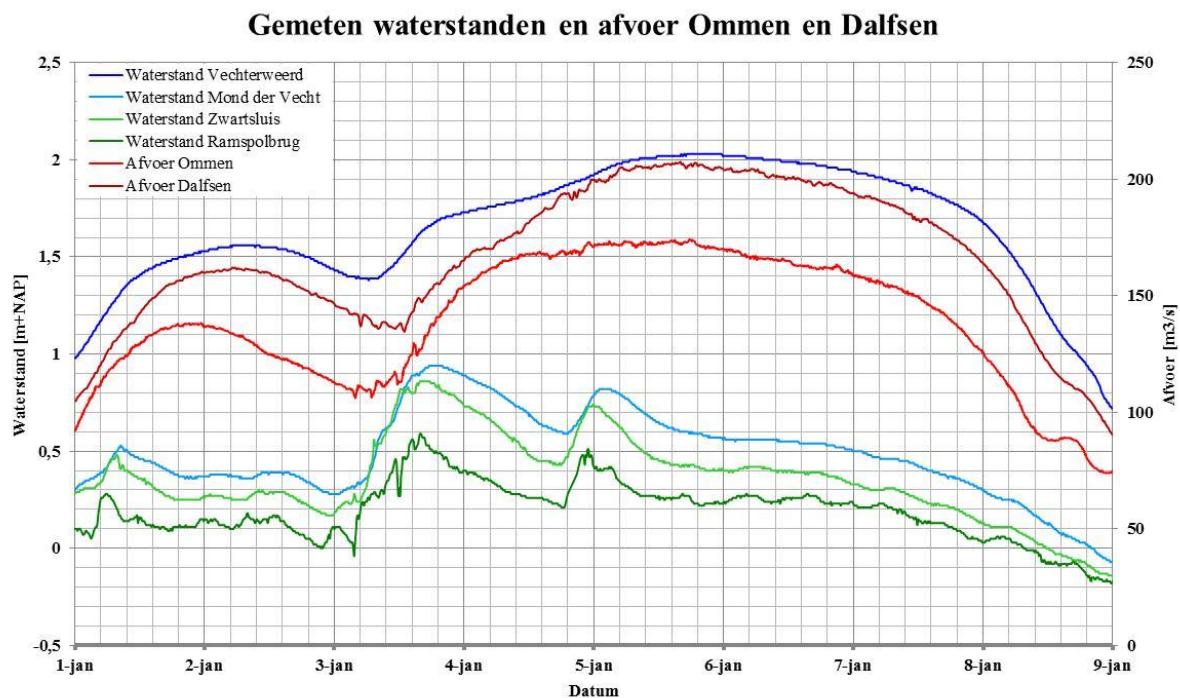
In deze bijlage worden de gekozen periodes geanalyseerd. Hierbij wordt gekeken naar de afvoeren bij Dalfsen en Genemuiden, de afvoeren van de lateralen, de windsnelheid en de windrichting. Ook wordt gekeken naar de gemeten waterstanden.

1.1. Periode 1 – 1 januari tot 9 januari 2018

De eerste periode die onderzocht wordt, begint op 1 januari 2018, om 00.00 uur, en eindigt op 9 januari 2018, om 00.00 uur.

1.1.1. Afvoeren

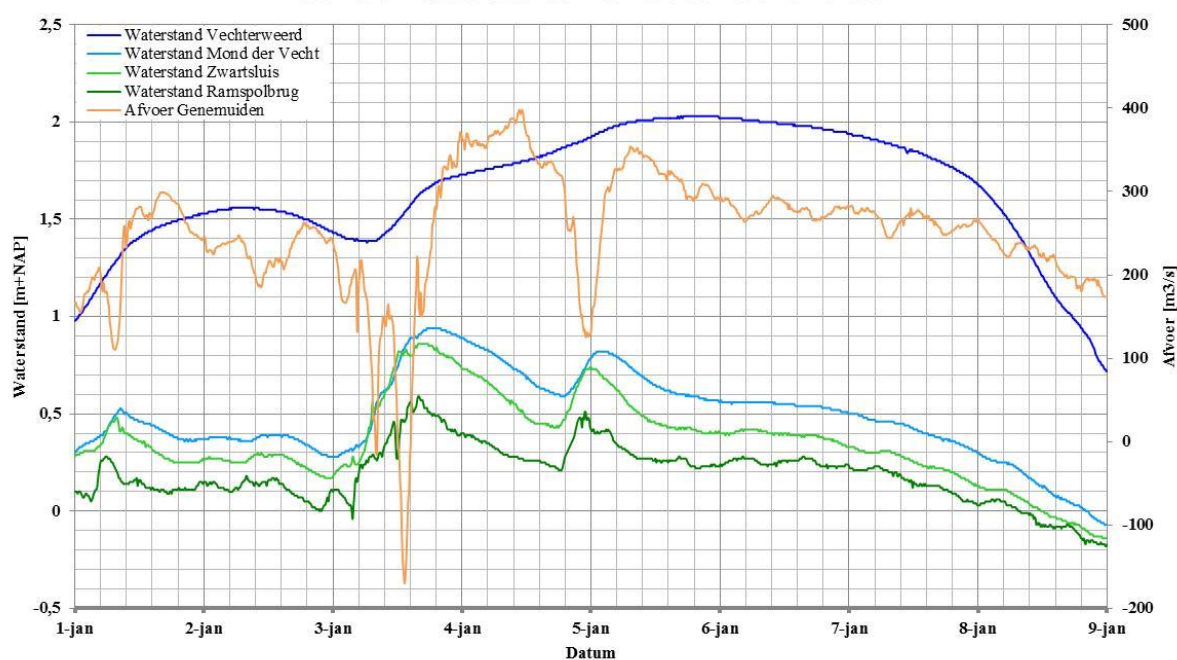
Zoals in Figuur 16 te zien is, zijn er geen grote pieken of dalen in de afvoer. Wel is er een afvoerdip op 3 januari. Hiervoor is de maximale afvoer zo'n 160 m³/s, op 3 januari zakt dit tot 135 m³/s. Vervolgens stijgt de afvoer geleidelijk tot 205 m³/s op 5 januari. Na 5 januari neemt de afvoer af, waarbij de afvoer op 9 januari 90 m³/s is.



Figuur 16 Gemeten waterstanden en afvoer bij Ommen en Dalfsen, over de periode 1 januari tot 9 januari 2018

In Figuur 17 zijn de waterstanden bij de vier locaties (Vechterweerd, Mond der Vecht, Zwartsluis en de Ramspolbrug) en de afvoer bij Genemuiden weergegeven. Zoals eerder vermeld wordt de afvoer bij Genemuiden gemeten door een drijvend meetstation, waardoor deze beïnvloed kan worden door de wind. In de grafiek is op 4 januari de piek te zien, deze behaalt een afvoer van 400 m³/s. Vanaf 4 januari neemt de afvoer geleidelijk af tot zo'n 200 m³/s. De afvoer bij Genemuiden is, zoals op te maken uit Figuur 16 en Figuur 17, een aanzienlijk stuk hoger dan de afvoer bij Dalfsen. Grofweg kan gezegd worden dat de afvoer bij Genemuiden twee maal zo groot is als de afvoer bij Dalfsen. Dit wordt verklaard door de afvoer van de lateralen tussen Dalfsen en Genemuiden.

Gemeten waterstanden en afvoer Genemuiden



Figuur 17 Gemeten waterstanden en afvoer bij Genemuiden, over de periode 1 januari tot 9 januari 2018

De vier belangrijkste lateralen zijn, zoals eerder genoemd, de Sallandse Weteringen, het Galgenrak, gemaal Streukelerzijl, en het Meppelerdiep. De afvoergrafieken hiervan zijn weergegeven in Figuur 40, Bijlage C.2. In Tabel 6 zijn de gemiddelde afvoeren per dag weergegeven.

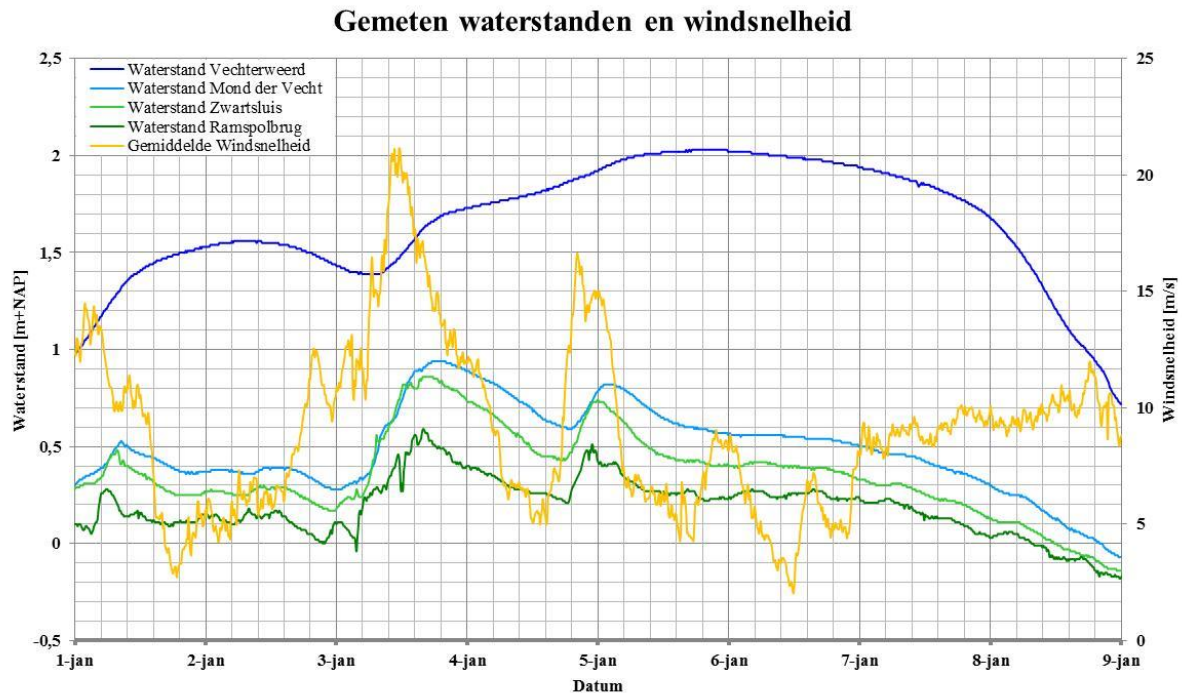
Tabel 6 Daggemiddelde laterale afvoeren, over de periode 1 januari tot 9 januari 2018

Datum	Afvoer Galgerak [m ³ /s]	Afvoer Meppelerdiep [m ³ /s]	Afvoer Sallandse Weteringen [m ³ /s]	Afvoer Streukelerzijl [m ³ /s]
1 januari	2.98	52.47	30.48	7.13
2 januari	1.42	34.23	21.69	3.65
3 januari	3.10	53.45	22.54	7.13
4 januari	2.93	65.75	43.25	9.59
5 januari	1.73	42.05	28.71	5.34
6 januari	1.22	38.21	20.63	3.93
7 januari	0.55	30.04	17.50	2.60
8 januari	0.73	24.77	16.49	2.10

Zoals in Tabel 6 te zien is, is de afvoer vanuit het Meppelerdiep veruit het grootst van de laterale afvoeren. Deze bedraagt ongeveer een kwart van de totale afvoer bij Dalfsen. Ook de afvoer vanuit de Sallandse Weteringen is groot.

1.1.2. Wind

Wat betreft de wind zijn de windsnelheid en de windrichting beide relevant voor de waterstanden. Eerst wordt gekeken naar de windsnelheid.



Figuur 18 Gemeten waterstanden en windsnelheid, over de periode 1 januari tot 9 januari 2018

In Figuur 18 zijn duidelijke pieken te zien. Gedurende de eerste piek, op 1 januari, bereikt de windsnelheid een maximum van bijna 15 m/s. Tijdens de tweede piek, op 3 januari, wordt de windsnelheid maximaal 21 m/s. In de nacht van 4 op 5 januari is nog een laatste piek te zien, deze bereikt een maximum van ongeveer 17 m/s. Vervolgens stabiliseert de wind zich, waarbij deze tussen de 8 en 12 m/s blijft.



Figuur 19 Gemeten windrichting, over de periode 1 januari tot 9 januari 2018

Zoals in Figuur 19 te zien is, komt de wind tot 6 januari uit zuidwestelijke richting, hierna draait de wind naar het noordoosten. Een harde wind uit westelijke richting zorgt ervoor dat het water in het Zwarte Meer opgestuwd wordt. Hierdoor kunnen de waterstanden bij de locaties Ramspolbrug, Zwartsluis en Mond der Vecht oplopen.

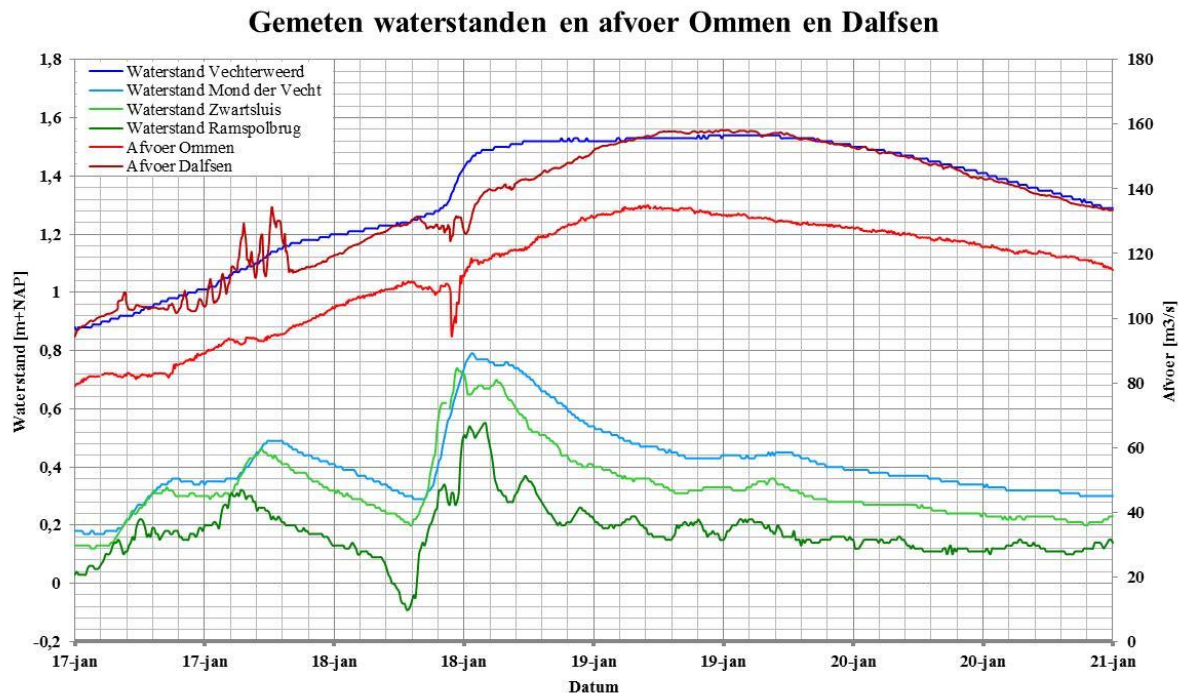
1.1.3. Waterstanden

Het eerste dat opvalt aan de waterstanden, is dat de waterstand bij Vechterweerd zich hetzelfde gedraagt als de afvoer bij Ommen en Dalfsen. Dit is duidelijk te zien in Figuur 16. Er is een hele kleine invloed van de wind te zien, wanneer op 3 januari de waterstand nog iets toeneemt. Dit is echter een hele kleine invloed.

De waterstanden op de locaties Mond der Vecht, Zwartsluis en de Ramspolbrug worden sterk beïnvloed door de wind. Zeker de windpieken op 3 en 5 januari zijn duidelijk zichtbaar in de waterstanden op deze locaties, zoals weergegeven in Figuur 18. Echter, ook de invloed van de afvoer is zichtbaar. Vlak voor de windpiek op 3 januari neemt de afvoer, zoals eerder genoemd, iets af. De waterstanden worden dan iets lager. Zij stijgen vervolgens wanneer de wind toeneemt. Wanneer na 5 januari de wind stabiliseert en draait, en de afvoer afneemt, dalen de waterstanden weer.

1.2. Periode 2 – 17 januari tot 21 januari 2018

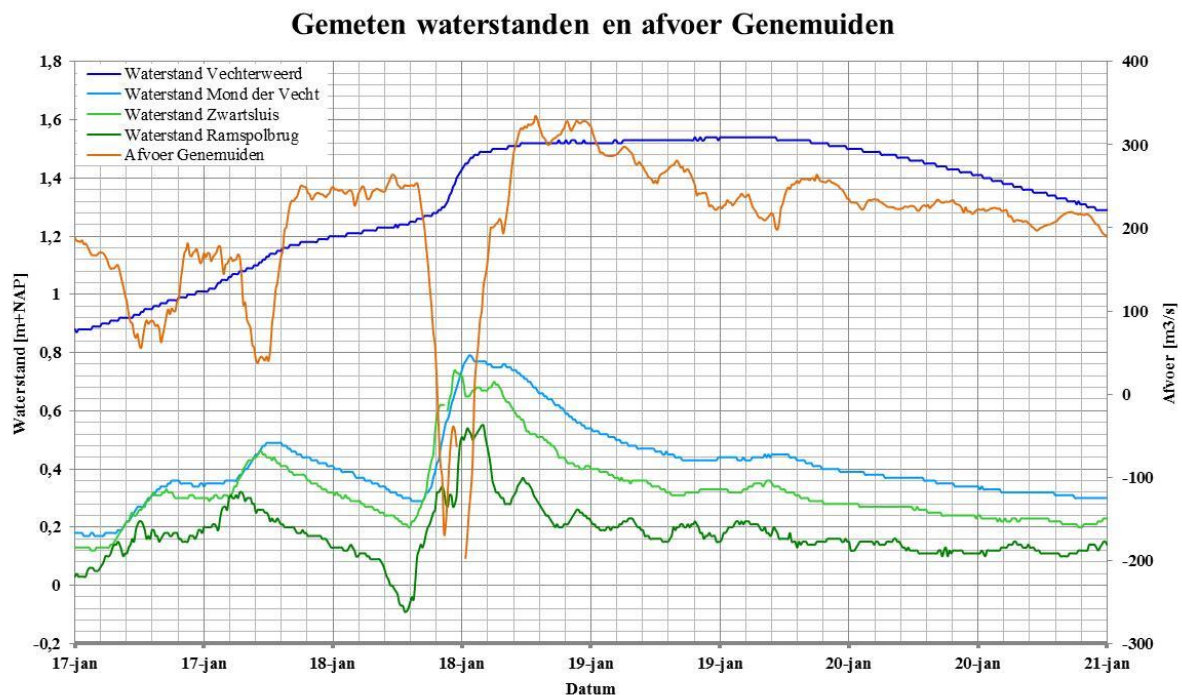
De tweede periode begint op 17 januari 2018 om 00.00 uur, en loopt tot 21 januari 2018 00.00 uur.



Figuur 20 Gemeten waterstanden en afvoer bij Ommen en Dalfsen, over de periode 17 januari tot 21 januari 2018

1.2.1. Afvoeren

In Figuur 20 zijn de afvoeren bij Ommen en Dalfsen weergegeven, alsmede de waterstanden bij Vechterweerd, Mond der Vecht, Zwartsluis, en de Ramspolbrug. De afvoer bij Dalfsen stijgt redelijk constant tot ongeveer $160 \text{ m}^3/\text{s}$ op 19 januari. Echter, op 17 januari zijn enkele pieken te zien in de afvoer, waarbij de afvoer $20 \text{ m}^3/\text{s}$ hoger wordt. Op 18 januari is een dip in de afvoer te zien. Na 19 januari neemt de afvoer geleidelijk af tot $130 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figuur 21 Gemeten waterstanden en afvoer bij Genemuiden, over de periode 17 januari tot 21 januari 2018

In Figuur 21 zijn de gemeten waterstanden bij de vier locaties en de gemeten afvoer bij Genemuiden te zien. De afvoer bij Genemuiden is grofweg tweemaal zo hoog als de afvoer bij Dalfsen. De invloed van de wind op dit meetstation is in deze grafiek duidelijk te zien, door de dalen in de grafiek. De afvoer varieert hierdoor tussen de 100 en 320 m³/s. Dit is iets lager dan de afvoer in periode 1.

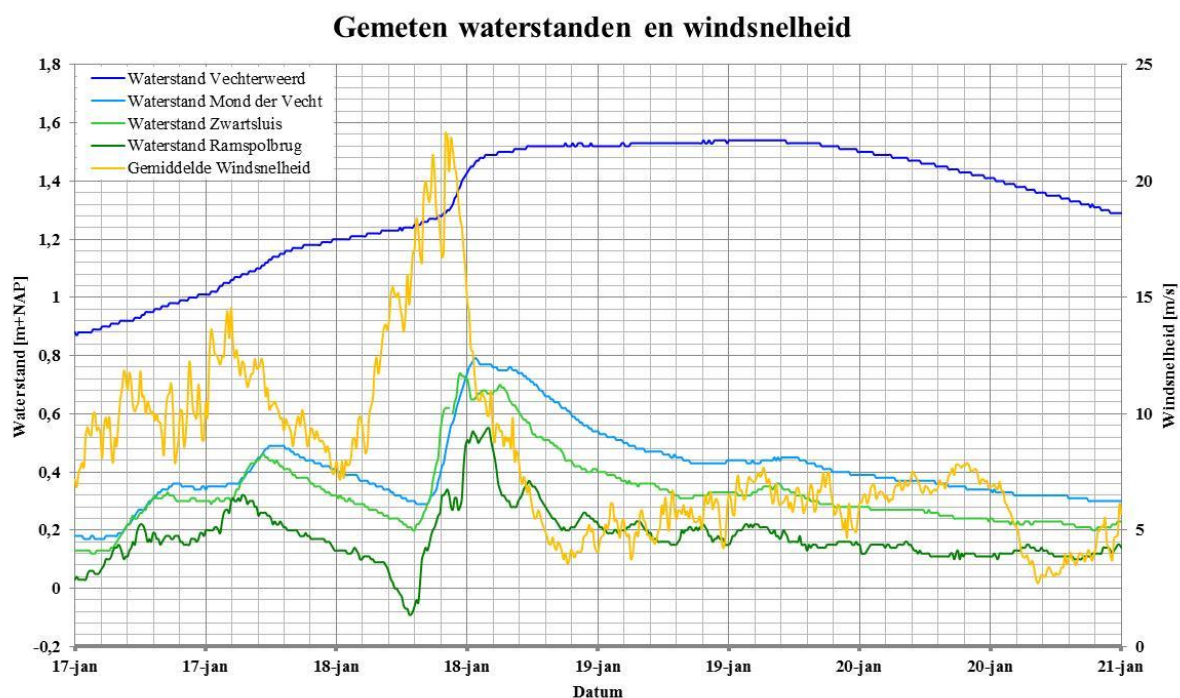
Tabel 7 Daggemiddelde laterale afvoeren, over de periode 17 januari tot 21 januari 2018

Datum	Afvoer Galgerak [m ³ /s]	Afvoer Meppelerdiep [m ³ /s]	Afvoer Sallandse Weteringen [m ³ /s]	Afvoer Streukelerzijl [m ³ /s]
17 januari	0.98	39.92	14.88	2.62
18 januari	1.79	52.13	29.02	4.93
19 januari	1.10	46.30	22.93	4.14
20 januari	1.35	31.89	16.52	3.03

Ook in deze periode is, zoals te zien in Tabel 7, de afvoer vanuit het Meppelerdiep veruit het grootst. Deze is gelijk aan ongeveer een kwart van de afvoer bij Dalfsen. De afvoeren vanuit de lateralen zijn lager dan in periode 1. In Figuur 41, Bijlage C.2, zijn de grafieken van de laterale afvoeren weergegeven.

1.2.2. Wind

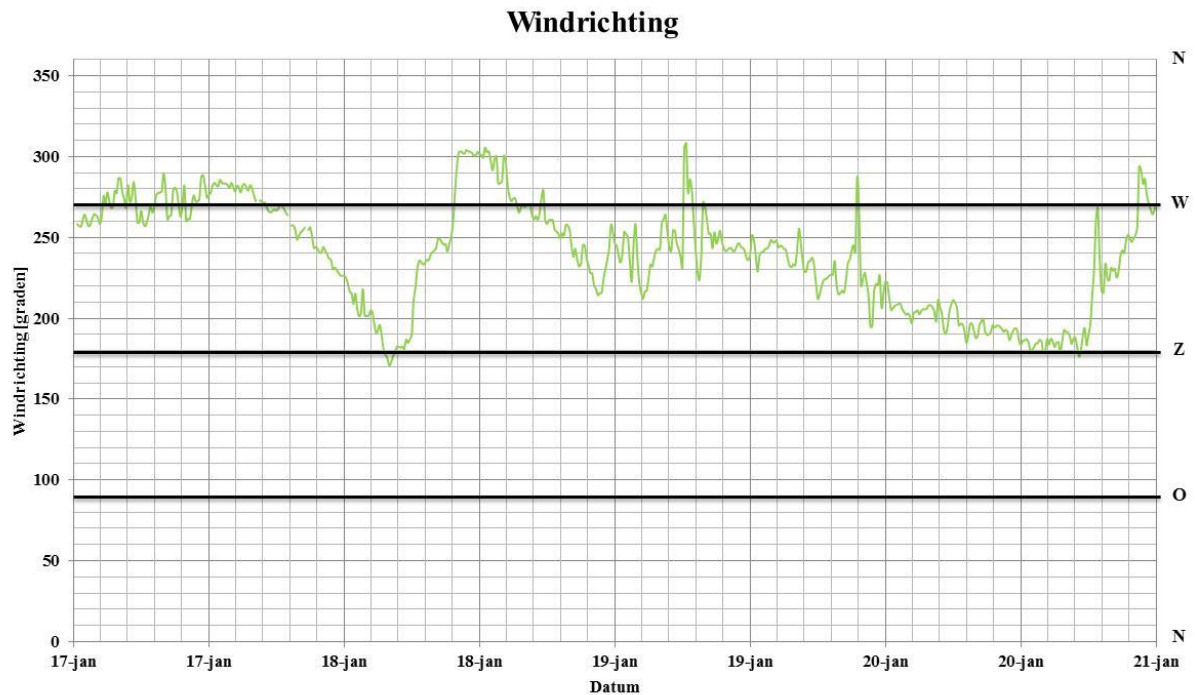
In Figuur 22 zijn twee duidelijke pieken te zien in de windsnelheid. De piek op 17 januari behaalt een windsnelheid van ongeveer 15 m/s. Op 18 januari bereikt de windsnelheid een piek van 22 m/s. Hierna neemt de windsnelheid snel af, en varieert deze enkel nog tussen 2,5 en 7,5 m/s.



Figuur 22 Gemeten waterstanden en windsnelheid, over de periode 17 januari tot 21 januari 2018

Zoals in Figuur 23 te zien is, varieert de windrichting tussen zuid en noordwest. Echter, de wind komt veelal uit het westen. Dit kan ervoor zorgen dat het water van het IJsselmeer, het Zwarte Meer en het Zwarte Water opgestuwd.

De piek op 18 januari kan de dalingen van afvoer bij Dalfsen en Genemuiden op dat tijdstip verklaren.



Figuur 23 Gemeten windrichting, over de periode 17 januari tot 21 januari 2018

1.2.3. Waterstanden

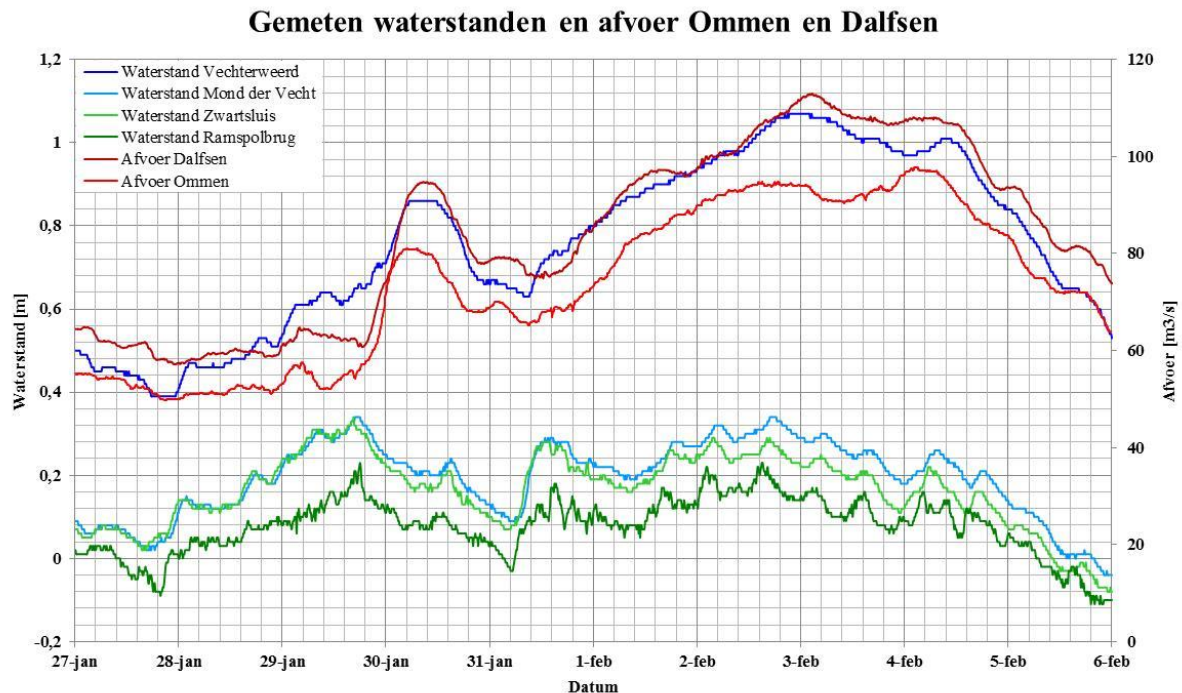
De waterstand bij Vechterweerd wordt grotendeels beïnvloed door de afvoer. Echter, op 18 januari is de windopzet op het Zwarte Water en de Vecht dermate groot dat deze Vechterweerd bereikt. Hierdoor maakt de waterstand hier een sprong, zoals te zien is in Figuur 22.

De waterstanden bij Mond der Vecht, Zwartsluis en de Ramspolbrug worden het meest beïnvloed door de wind. De waterstanden hier stijgen en dalen wanneer de wind respectievelijk toeneemt en afneemt. Na 18 januari, wanneer de wind sterk afneemt, en de afvoer geleidelijk afneemt, dalen de waterstanden op alle vier locaties.

1.3. Periode 3 – 27 januari tot 6 februari 2018

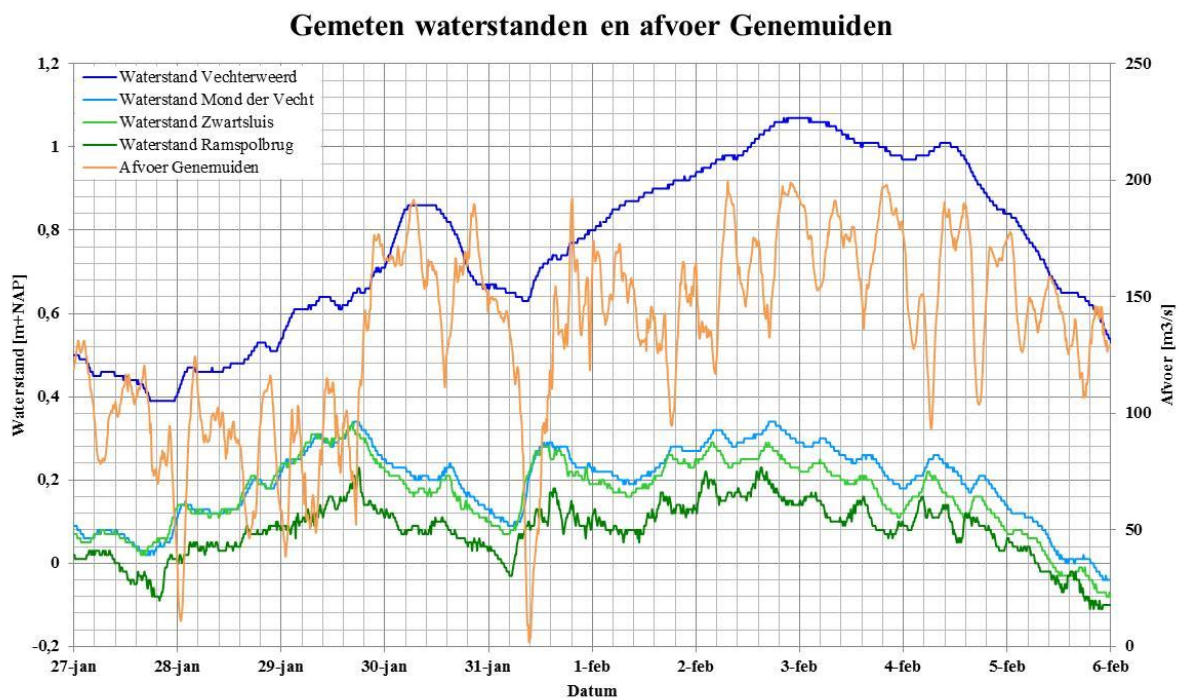
De derde periode die onderzocht wordt, begint op 27 januari 2018, om 00.00 uur, en eindigt op 6 februari 2018, om 00.00 uur.

1.3.1. Afvoer



Figuur 24 Gemeten waterstanden en afvoer bij Ommen en Dalfsen, over de periode 27 januari tot 6 februari 2018

In Figuur 24 zijn de afvoeren bij Ommen en Dalfsen weergegeven, alsmede de waterstanden bij Vechterweerd, Mond der Vecht, Zwartsluis, en de Ramspolbrug. Op 30 januari is een piek te zien, waarbij de afvoer bij Dalfsen toeneemt tot $95 \text{ m}^3/\text{s}$. Na een korte afname, stijgt de afvoer vanaf 1 februari weer. Hierbij wordt op 3 januari een afvoer van $110 \text{ m}^3/\text{s}$ gehaald. Vanaf 3 januari neemt de afvoer af tot $75 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figuur 25 Gemeten waterstanden en afvoer bij Genemuiden, over de periode 27 januari tot 6 februari 2018

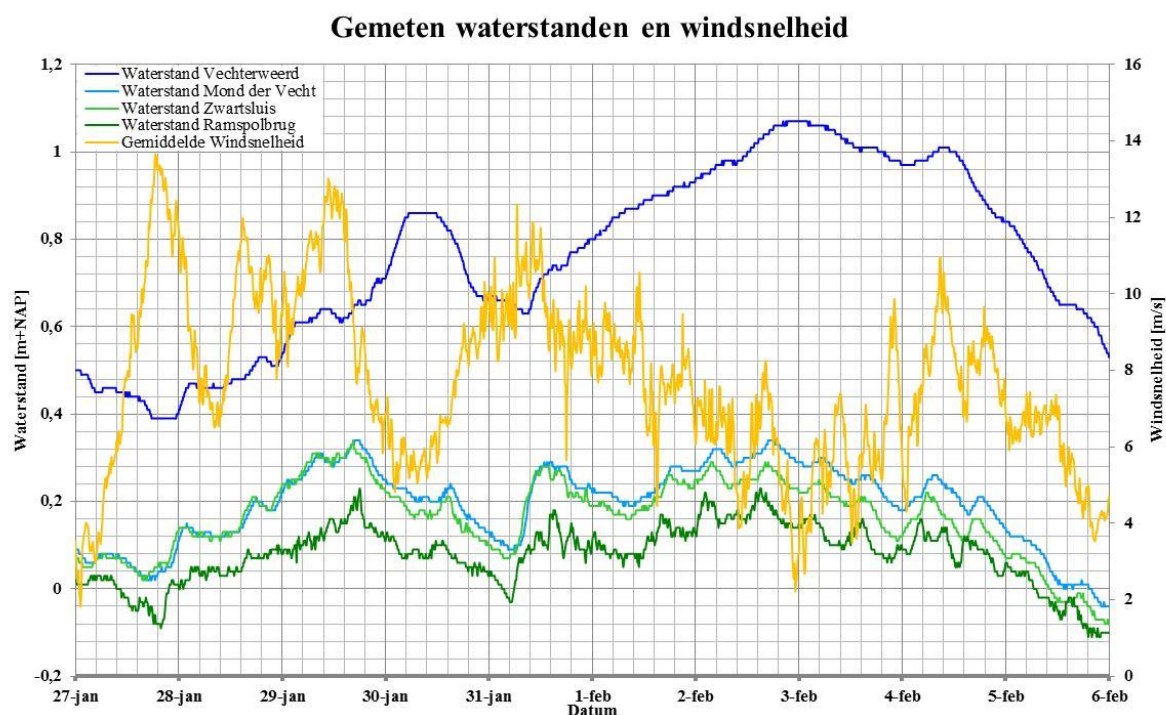
In Figuur 25 zijn de gemeten waterstanden bij de vier locaties en de gemeten afvoer bij Genemuiden te zien. Het valt weer op dat de afvoer bij Genemuiden ongeveer tweemaal zo groot is als de afvoer bij Dalfsen. Op 30 januari bereikt de afvoer een piek van 190 m³/s. Vervolgens is een grote afname te zien, dit wordt waarschijnlijk door de wind veroorzaakt. Op 2 en 3 februari bereikt de afvoer een waarde van 200 m³/s, vervolgens neemt deze af tot 130 m³/s.

Tabel 8 Daggemiddelde laterale afvoeren, 27 januari tot 6 februari 2018

Datum	Afvoer Galgerak [m ³ /s]	Afvoer Meppelerdiep [m ³ /s]	Afvoer Sallandse Weteringen [m ³ /s]	Afvoer Streukelerzijl [m ³ /s]
27 januari	0.45	17.16	9.74	1.48
28 januari	0.63	16.55	7.57	1.14
29 januari	0.66	21.27	9.11	1.99
30 januari	1.01	34.85	12.24	2.83
31 januari	0.86	24.48	10.56	1.70
1 februari	1.26	27.79	13.97	2.42
2 februari	0.61	29.58	17.34	2.52
3 februari	-0.13	26.72	17.46	2.30
4 februari	0.27	20.50	13.25	1.97
5 februari	0.33	19.36	12.56	1.76

In Tabel 8 zijn de afvoeren vanuit de lateralen te zien. Deze zijn lager dan de afvoeren in periode 1 en 2, maar de afvoer uit het Meppelerdiep is weer het grootste. Verder valt op dat de curve van de laterale afvoeren, de curve van de afvoer van de Vecht volgt. De pieken vinden plaats op 30 januari en 3 februari. In Figuur 42, Bijlage C.2, zijn de grafieken van de laterale afvoeren weergegeven.

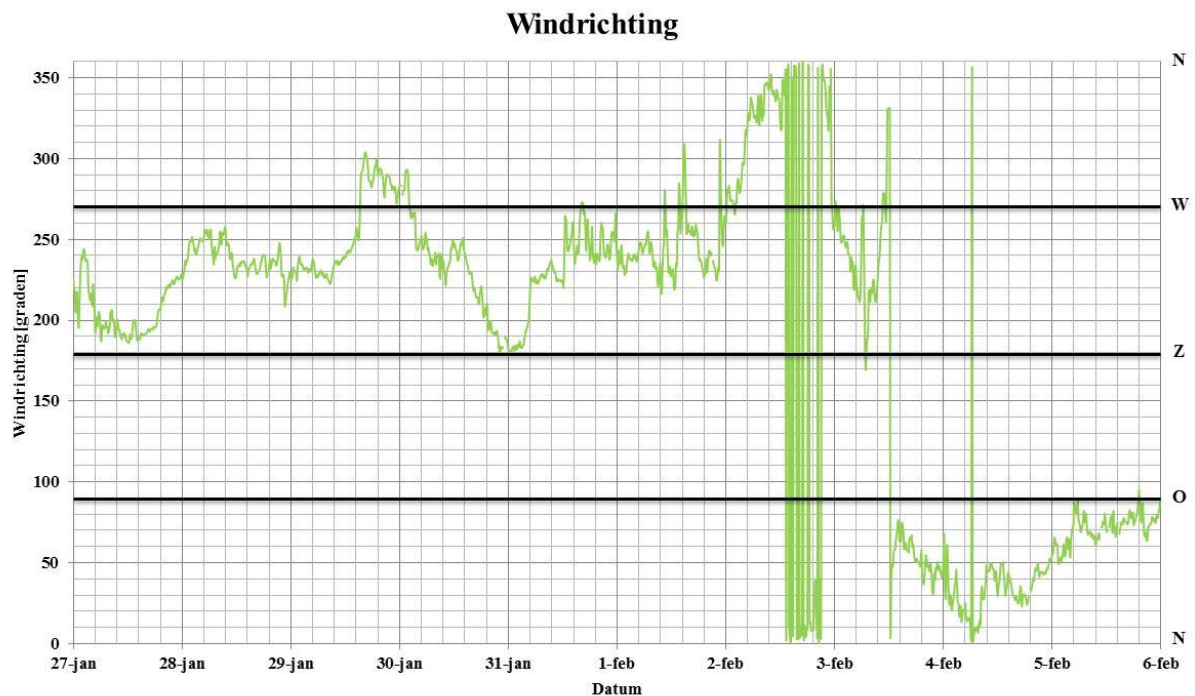
1.3.2. Wind



Figuur 26 Gemeten waterstanden en windsnelheid, over de periode 27 januari tot 6 februari 2018

Wat als eerste opvalt in Figuur 26, is dat er meerdere pieken zijn. Geen van deze pieken is echter zo hoog als de pieken in periode 1 en 2. De pieken vinden plaats op 27 januari, 29 januari, 31 januari en 4 februari, en bedragen respectievelijk 14 m/s, 13 m/s, 12 m/s en 11 m/s.

Zoals in Figuur 27 te zien is, komt de wind tot 2 februari uit zuidwestelijke richting. Vervolgens draait de wind richting het noorden, door naar het noordoosten.



Figuur 27 Gemeten windrichting, over de periode 27 januari tot 6 februari 2018

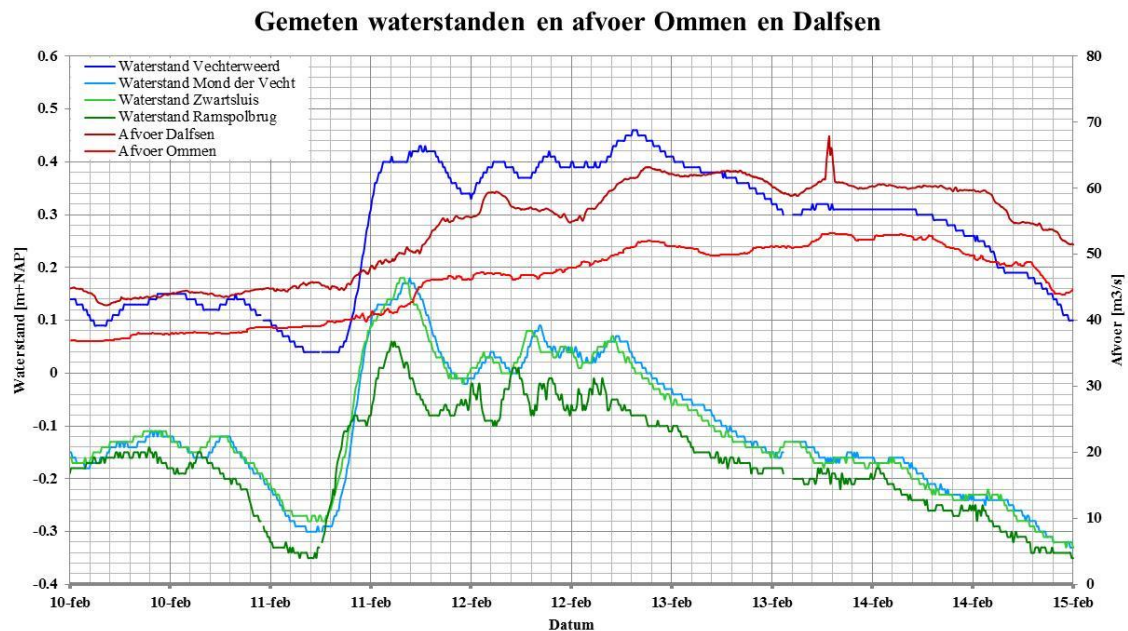
1.3.3. Waterstanden

De waterstand bij Vechterweerd wordt volledig bepaald door de afvoer, en volgt vrijwel exact de afvoercurve, zoals te zien is in Figuur 24. Ook de waterstanden op de locaties Mond der Vecht, Zwartsluis en Ramspolbrug lijken de afvoercurve te volgen, hoewel zij de piek op 30 januari niet meenemen. Dit zou veroorzaakt kunnen worden door de wegvallende wind op die dag. Hierdoor vermindert de windopzet en kan het water gemakkelijker afstromen richting het IJsselmeer. Op 31 januari is bij deze drie locaties een sterke toename te zien, hier haalt de wind aan en neemt de afvoer toe.

1.4. Periode 4: 10 februari – 15 februari

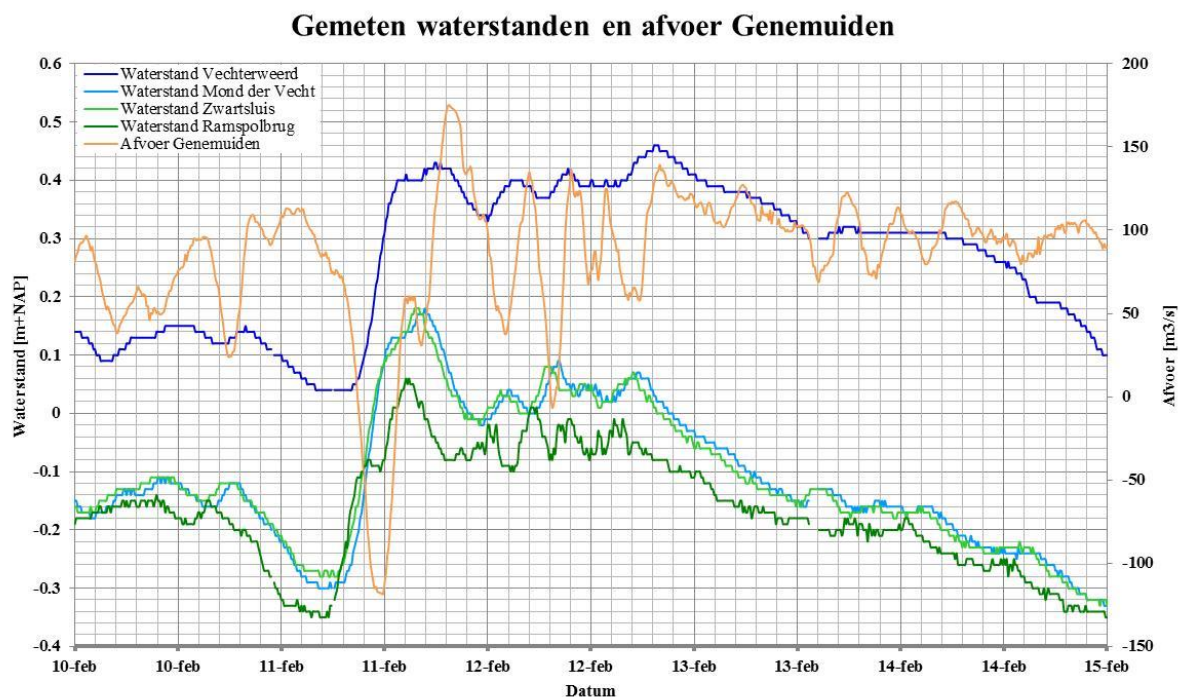
De vierde periode die onderzocht wordt, begint op 10 februari 2018, om 00.00 uur, en eindigt op 15 februari 2018, om 00.00 uur.

1.4.1. Afvoer



Figuur 28 Gemeten waterstanden en afvoer Ommen en Dalfsen, over de periode 10 februari tot 15 februari 2018

In Figuur 28 zijn de afvoeren bij Ommen en Dalfsen weergegeven. De afvoer bij Dalfsen is redelijk constant. Aan het begin van de periode heeft de afvoer hier een waarde van $45 \text{ m}^3/\text{s}$. Dit loopt geleidelijk op tot $63 \text{ m}^3/\text{s}$. Op 13 februari is een piek te zien van $68 \text{ m}^3/\text{s}$. Dit is een kleine piek, die alleen bij de afvoer in Dalfsen te zien is. Bij Ommen is deze piek niet terug te zien. Er zijn verschillende mogelijke verklaringen voor deze piek. Aangezien met ruwe data is gewerkt, kan het zijn dat dit een opslag- of meetfout is. Ook zou het kunnen dat er gedurende deze tijd geloosd is op de Vecht.



Figuur 29 Gemeten waterstanden en afvoer Genemuiden, over de periode 10 februari tot 15 februari 2018

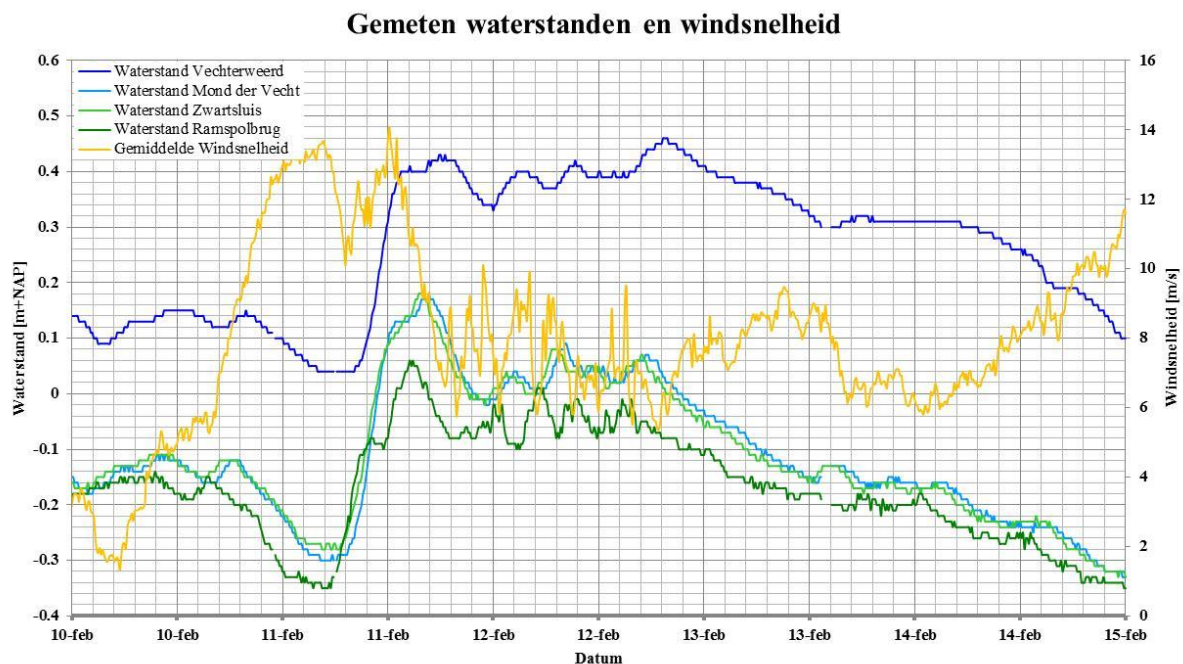
In Figuur 29 is de afvoer bij Genemuiden weergegeven. Deze afvoer varieert tussen 50 en 150 m³/s. Op 11 februari is een piek te zien, deze bereikt een waarde van 175 m³/s. De afvoer bij Genemuiden is weer grofweg tweemaal zo groot als de afvoer bij Dalfsen. In het begin is dit nog iets minder, vanwege de droge periode.

Tabel 9 Daggemiddelde laterale afvoeren, over de periode 10 februari tot 15 februari 2018

Datum	Afvoer Galgerak [m ³ /s]	Afvoer Meppelerdiep [m ³ /s]	Afvoer Sallandse Weteringen [m ³ /s]	Afvoer Streukelerzijl [m ³ /s]
10 februari	0.64	11.84	6.26	1.20
11 februari	0.44	10.60	6.10	1.38
12 februari	0.58	12.90	7.50	1.72
13 februari	0.53	14.91	10.75	1.77
14 februari	0.67	12.73	8.43	1.80

Op 10 en 11 februari zijn, zoals te zien in Tabel 9, de laterale afvoeren relatief laag. In Figuur 43, Bijlage C.2 is te zien dat de afvoeren op sommige momenten negatief zijn. Dit kan bijvoorbeeld veroorzaakt worden door de wind.

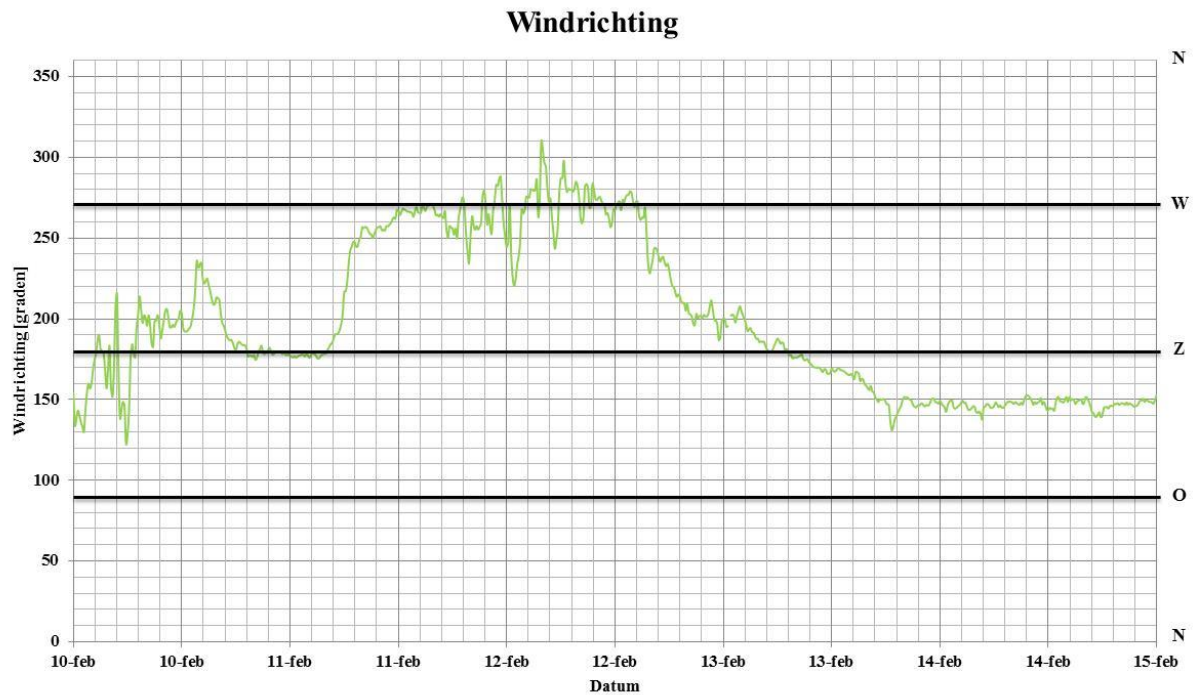
1.4.2. Wind



Figuur 30 Gemeten waterstanden en windsnelheid, over de periode 10 februari tot 15 februari 2018

In Figuur 30 is de gemiddelde gemeten windsnelheid weergegeven. In de figuur zijn drie pieken te zien. De eerste twee pieken vinden plaats op 11 februari, en behalen waarden van 13 en 14 m/s. Op 14 februari neemt de windsnelheid geleidelijk toe tot 12 m/s.

Zoals in Figuur 31 te zien is, draait de wind van het zuidoosten naar het zuiden. Vervolgens draait de wind op 11 februari naar het westen. Op 12 februari draait de wind geleidelijk door naar het zuidoosten. De westelijke wind kan een windopzet in het Zwarte Meer en Zwarte Water veroorzaken.



Figuur 31 Gemeten windrichting, over de periode 10 februari tot 15 februari 2018

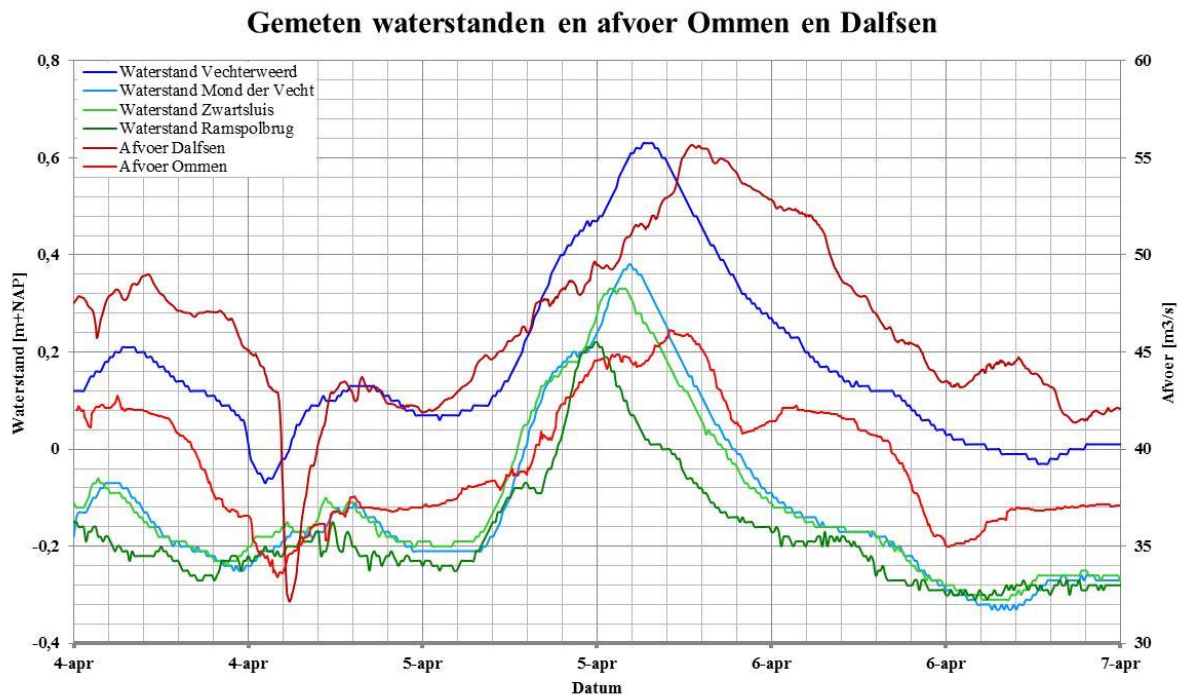
1.4.3. Waterstanden

Zoals in Figuur 28 te zien is, stijgen alle waterstanden flink op 11 februari. De afvoer stijgt echter slechts geleidelijk. De wind neemt op 11 februari toe, maar komt eerst nog uit zuidelijke richting. Wanneer de wind draait naar het westen, is duidelijk te zien dat alle waterstanden toenemen. De waterstand bij de Ramspolbrug neemt als eerste toe, de overige locaties volgen later. Bij Vechterweerd is een duidelijke toename te zien. Na de piek op 11 februari nemen de waterstanden geleidelijk af.

1.5. Periode 5: 4 april – 7 april

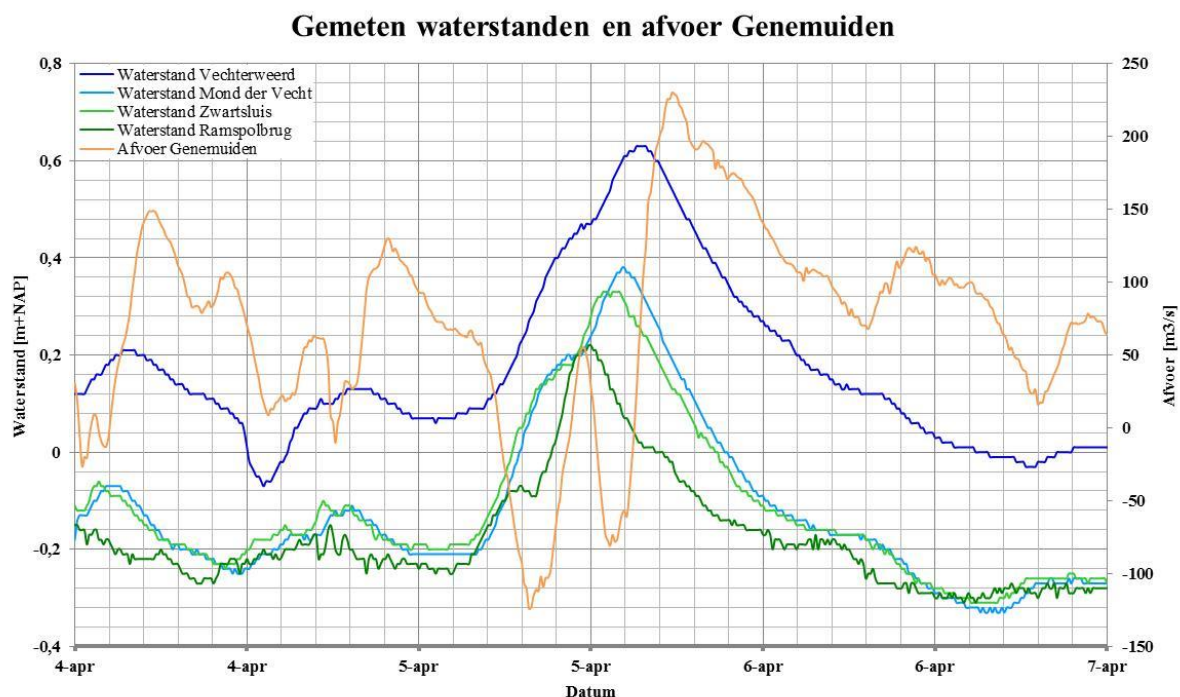
De vijfde periode die onderzocht wordt, begint op 4 april 2018, om 00.00 uur, en eindigt op 7 april, om 00.00 uur.

1.5.1. Afvoer



Figuur 32 Gemeten waterstanden en afvoer Ommen en Dalfsen, over de periode 4 april tot 7 april 2018

Het eerst dat opvalt in Figuur 32 is dat de afvoer, vergeleken de voorgaande periodes, laag is. Gemiddeld bedraagt de afvoer bij Dalfsen 40 tot 50 m³/s. Op 5 april vindt een piek plaats, waarbij de afvoer een waarde van 56 m³/s behaalt. Het dal op 4 april valt op, hierbij is de afvoer nog maar 32 m³/s. Dit is lager dan de afvoer bij Ommen, terwijl de Regge en het Ommerkanaal pas na Ommen op de Vecht aansluiten. Hoewel de exacte verklaring voor dit dal niet bekend is, zijn er wel verklaringen voor te bedenken. Eén verklaring is dat het een droge periode was. In Twente verdampte het water in de grond door de hoge temperaturen en droge periode. Vanwege deze droge periode bestaat er een



Figuur 33 Gemeten waterstanden en afvoer Genemuiden, over de periode 4 april tot 7 april 2018

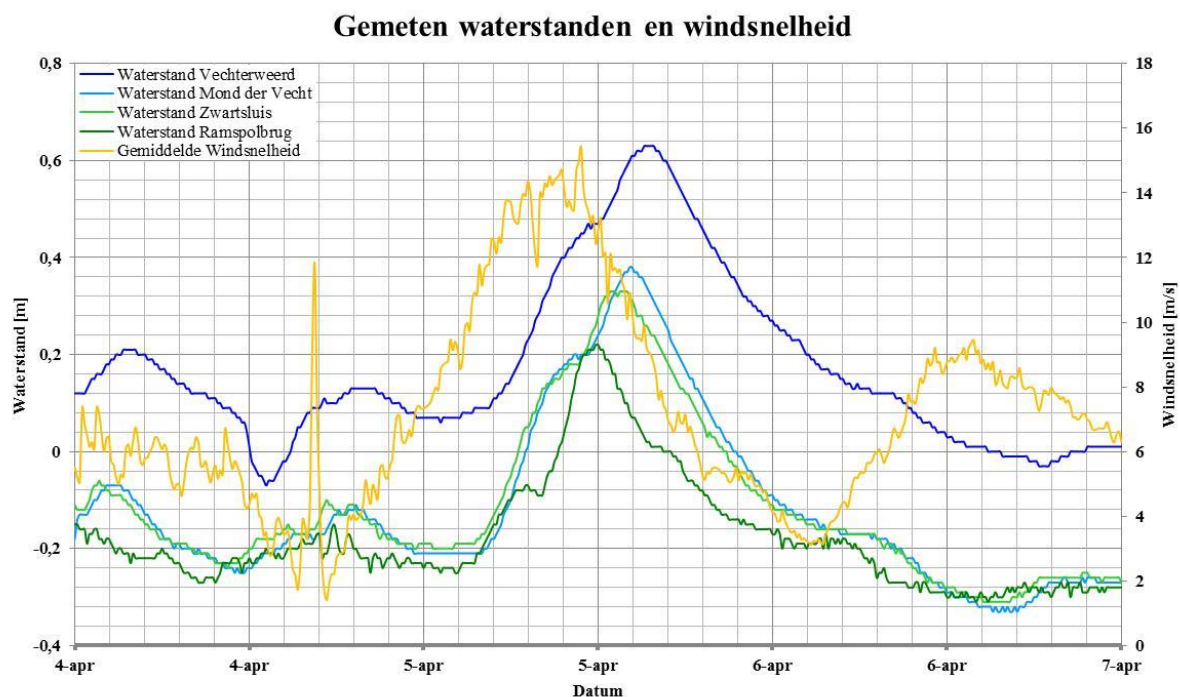
kans dat er water aan de Vecht onttrokken is voor bijvoorbeeld landbouw. Dit is echter niet de enige verklaring; het is mogelijk dat dit een meetfout of fout in de datareeks is. Zoals in Figuur 33 te zien is, is de afvoer bij Genemuiden aanzienlijk hoger dan de afvoer bij Dalfsen. Gemiddeld varieert deze afvoer tussen 100 en 150 m³/s, twee tot driemaal hoger dan de afvoer bij Dalfsen. Bij Genemuiden is er een piek op 5 april, deze is 225 m³/s, ruim 4 maal zo groot als de afvoer bij Dalfsen. Hieruit blijkt dat de bijdrage van de laterale afvoeren hier groot is.

Tabel 10 Daggemiddelde laterale afvoeren, over de periode 4 april tot 7 april 2018

Datum	Afvoer Galgerak [m ³ /s]	Afvoer Meppelerdiep [m ³ /s]	Afvoer Sallandse Weteringen [m ³ /s]	Afvoer Streukelerzijl [m ³ /s]
4 april	0.47	9.68	5.07	1.22
5 april	0.80	8.57	9.86	1.60
6 april	0.67	12.66	7.18	1.08

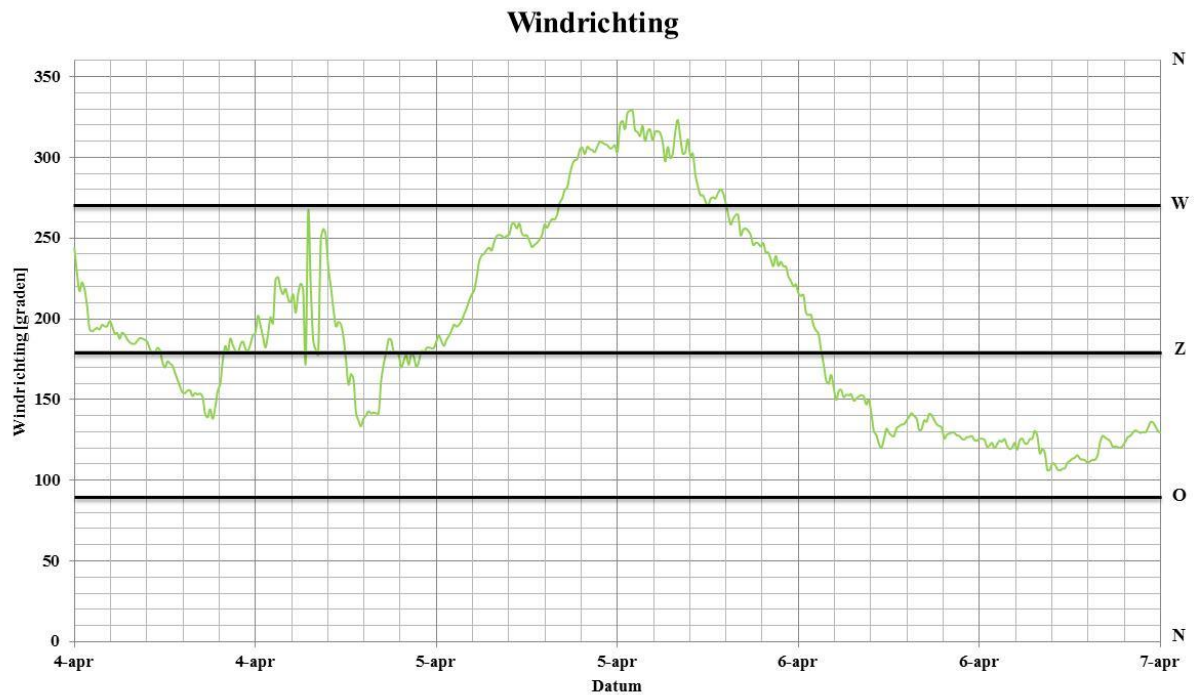
Uit Tabel 10 blijkt dit niet. De gemiddelde dagafvoeren zijn niet aanzienlijk groot. Deze zijn juist laag vergeleken met de vorige periodes. Echter, in Figuur 44 in Bijlage C.2, is te zien dat het Galgerak, het Meppelerdiep en de Sallandse Weteringen alle drie een piek hebben op 5 april. In Tabel 10 is te zien dat het verschil tussen het Meppelerdiep en de Sallandse Weteringen relatief klein is.

1.5.2. Wind



Figuur 34 Gemeten waterstanden en windsnelheid, over de periode 4 april tot 7 april 2018

Gedurende deze periode is een duidelijke piek te zien op 5 april, zoals weergegeven in Figuur 34. Op 4 april is een kleine piek te zien. De piek op 4 april weergeeft een windsnelheid van ongeveer 12 m/s. De piek op 5 april behaalt een waarde van 15 m/s.



Figuur 35 Gemeten windrichting, over de periode 4 april tot 7 april 2018

Zoals te zien is in Figuur 35, komt de wind eerst voornamelijk uit het zuidoosten en zuidwesten. Op 5 april draait deze richting het noordwesten. Vervolgens draait de wind weer richting het zuidoosten.

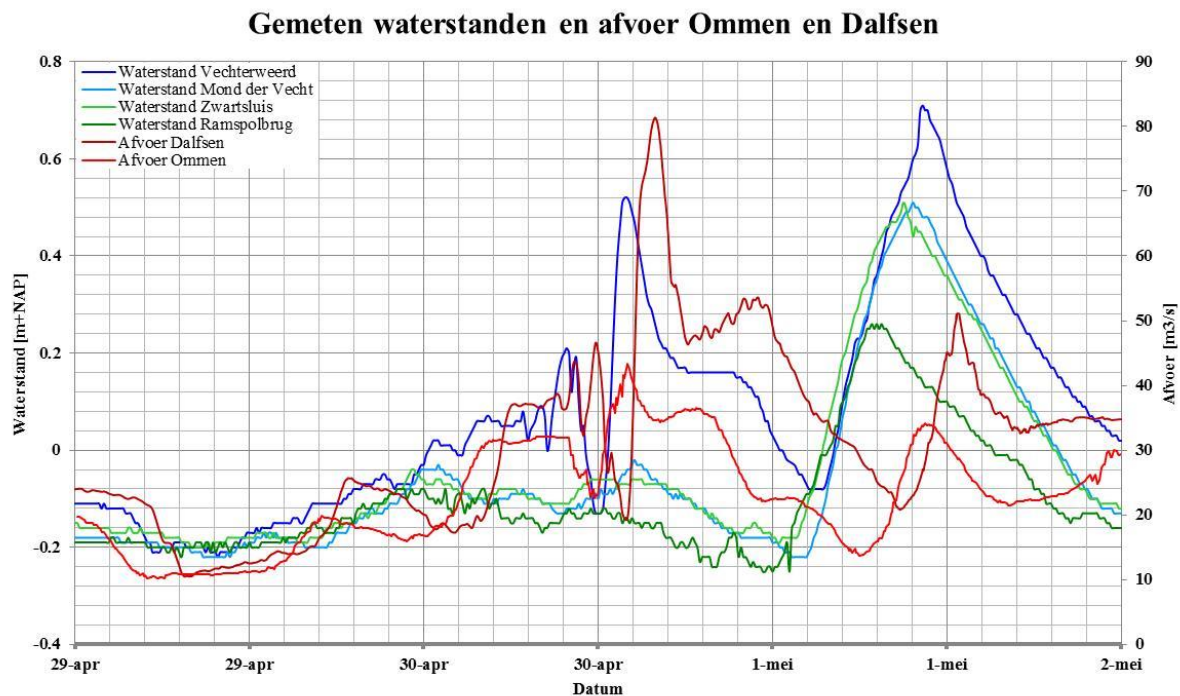
1.5.3. Waterstanden

Deze periode wordt beïnvloed door zowel een afvoerpiek als een windsnelheidspiek. Door de piek in windsnelheid stijgen de waterstanden bij Mond der vecht, Zwartsluis en de Ramspolbrug iets eerder dan de waterstand bij Vechterweerd, die alleen door de afvoerpiek beïnvloed wordt. Echter, de waterstanden vanaf Mond der Vecht worden ook nog beïnvloed door de afvoer.

1.6. Periode 6: 29 april – 2 mei

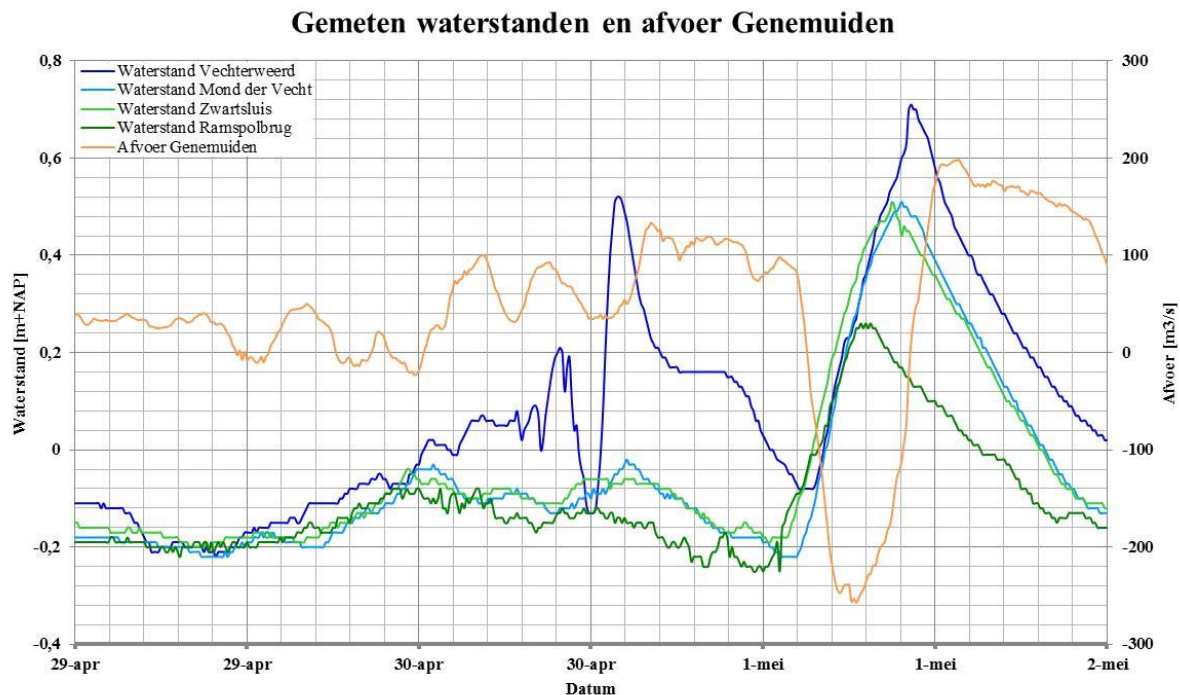
De zesde en laatste periode begint op 29 april 2018 om 00.00 uur, en loopt tot 2 mei 2018 00.00 uur.

1.6.1. Afvoer



Figuur 36 Gemeten waterstanden en afvoer bij Ommen en Dalfsen, over de periode 29 april tot 2 mei 2018

Zoals in Figuur 36 te zien is, was de afvoer in het begin van deze periode laag, tussen de 10 en 30 m^3/s . Op 30 april nam de afvoer toe tot 40 m^3/s , en vervolgens tot een piekwaarde van 80 m^3/s . Hierna daalt de afvoer, tot deze op 1 mei weer stijgt tot een piekwaarde van 50 m^3/s . Vervolgens stabiliseert de afvoer zich tot 35 m^3/s .



Figuur 37 Gemeten waterstanden en afvoer bij Genemuiden, over de periode 29 april tot 2 mei 2018

In Figuur 37 is de afvoer bij Genemuiden weergegeven. Deze is in het begin van de periode laag met een waarde tussen 30 en 40 m³/s. Op 1 mei wordt een waarde van 200 m³/s behaald, waarna de afvoer daalt tot een waarde van 100 m³/s. De afvoer bij Genemuiden is op 1 mei viermaal zo groot als de afvoer bij Dalfsen, hieruit kan opgemaakt worden dat de afvoer van de lateralen relatief groot is, en er dus neerslag is gevallen.

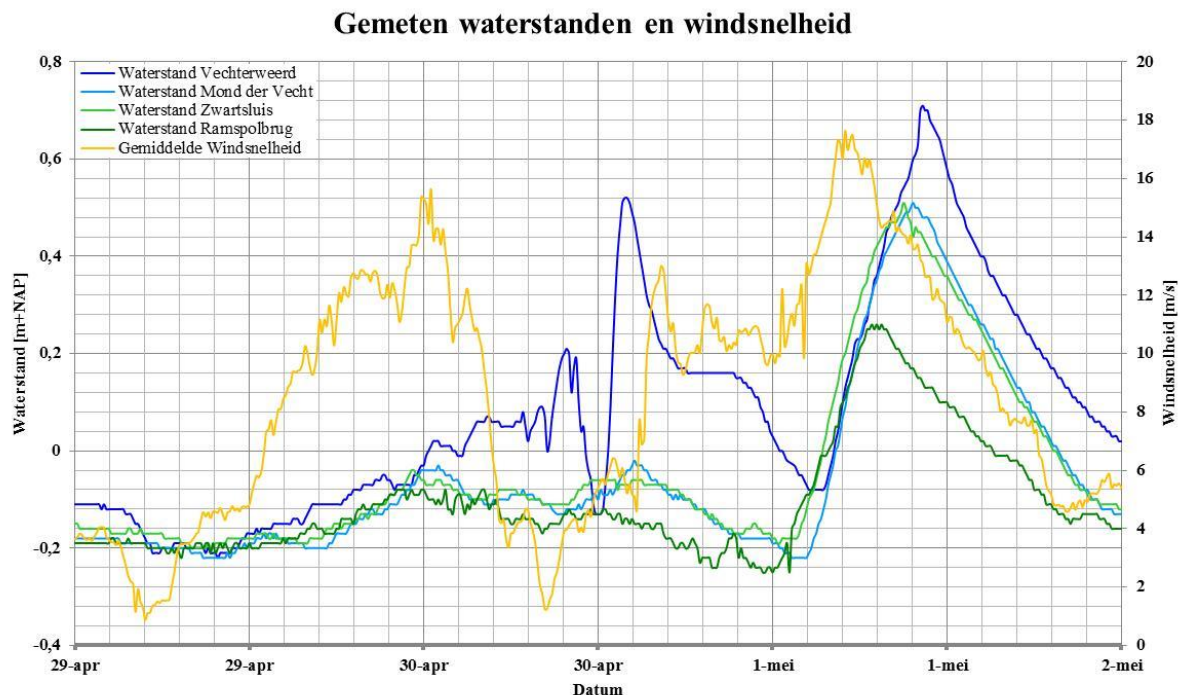
Tabel 11 Daggemiddelde laterale afvoeren, over de periode 29 april tot 2 mei 2018

Datum	Afvoer Galgerak [m ³ /s]	Afvoer Meppelerdiep [m ³ /s]	Afvoer Sallandse Weteringen [m ³ /s]	Afvoer Streukelerzijl [m ³ /s]
29 april	-0.03	0.97	1.75	0.81
30 april	0.44	15.42	6.77	1.37
1 mei	0.60	8.54	14.48	1.88

In Tabel 11 zijn de gemiddelde dagafvoeren van de lateralen weergegeven. Hieruit blijkt dat de afvoer op 29 april bij alle lateralen laag is. De afvoer van de Vecht en het Zwarte Water was op die dag eveneens laag. Op 30 april is de afvoer van de lateralen juist opeens hoog. Dit verklaart waarom op 30 april en 1 mei een stijging in de afvoer en waterstand plaatsvindt. In Figuur 45, Bijlage C.2, zijn de grafieken van de laterale afvoeren weergegeven.

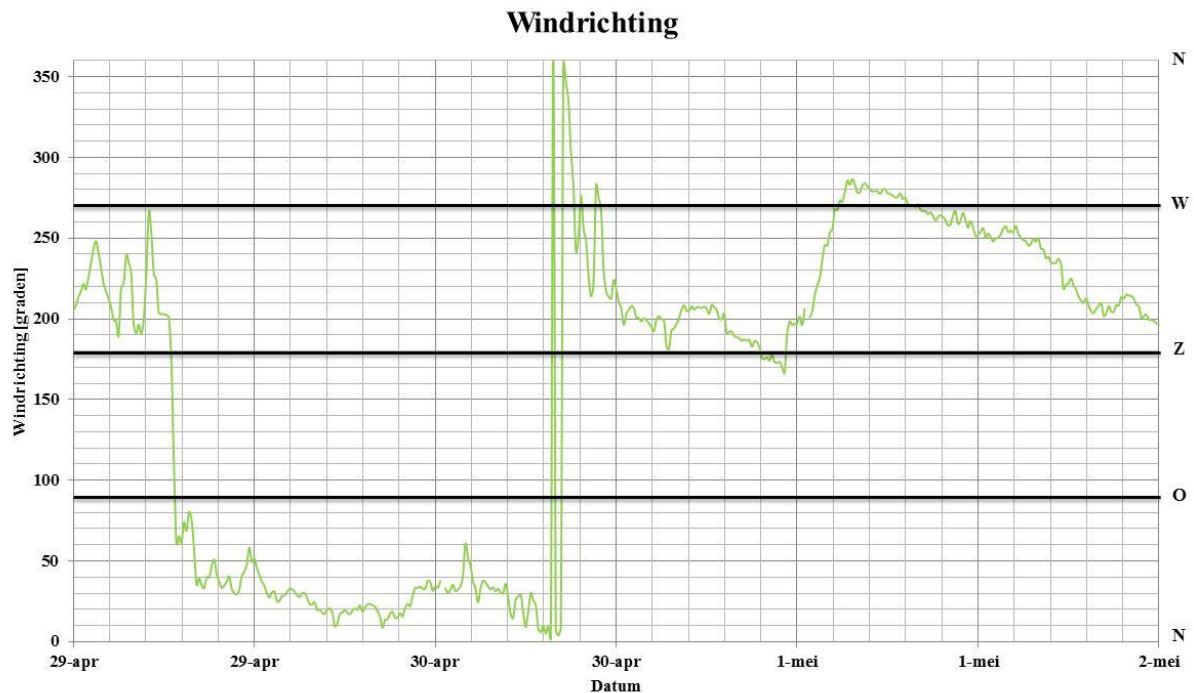
1.6.2. Wind

In Figuur 38 is de gemiddelde windsnelheid te zien. Van 29 op 30 april bereikt de wind een piek van



Figuur 38 Gemeten waterstanden en windsnelheid, over de periode 29 april tot 2 mei 2018

16 m/s. Vervolgens daalt de windsnelheid, tot deze op 1 mei een piek bereikt van bijna 18 m/s. Na deze piek neemt de windsnelheid af tot 5 m/s.



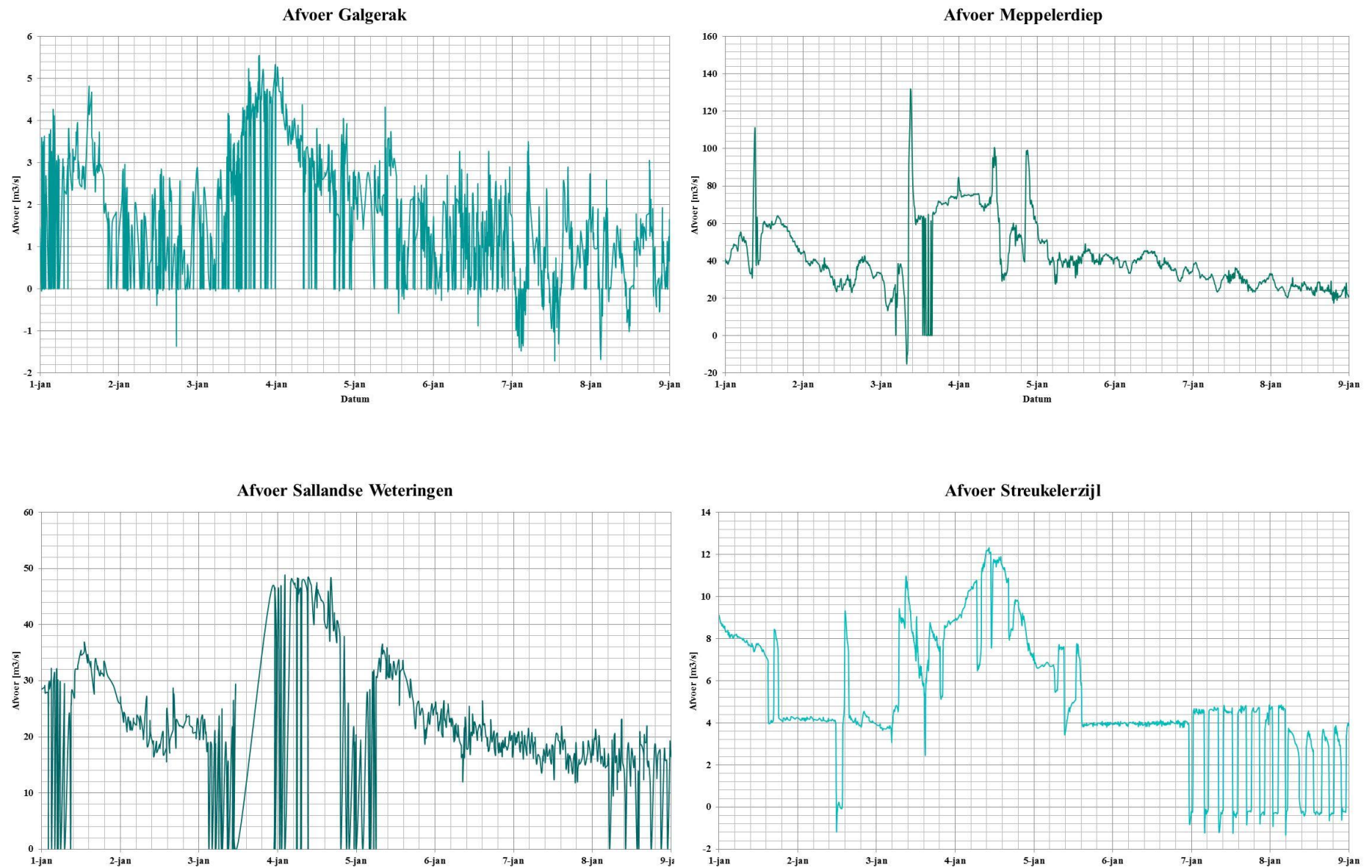
Figuur 39 Gemeten windrichting, over de periode 29 april tot 2 mei 2018

Zoals in Figuur 39 te zien is, draait de wind op 29 april eerst naar het noordoosten, en vervolgens op 30 april naar het zuidwesten. Op 1 mei draait de wind even naar het noordwesten, waardoor een windopzet op het Zwarte Meer ontstaat.

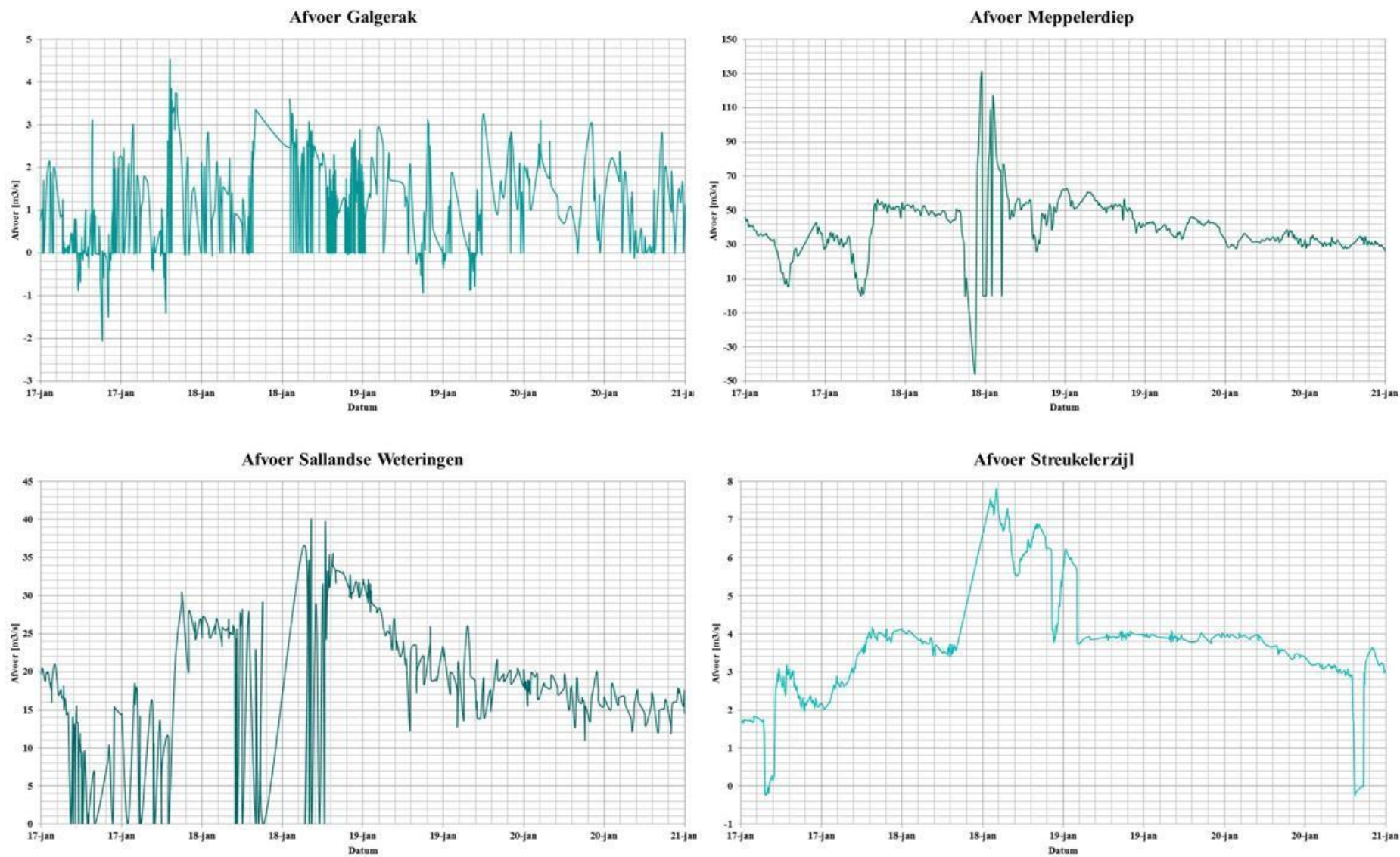
1.6.3. Waterstanden

De waterstand bij Vechterweerd wordt gedurende de eerste afvoerpiek beïnvloed door de afvoer. De curves zijn vrijwel gelijk aan elkaar. Echter, de waterstanden op de overige locaties volgen deze curve niet gedurende deze piek. Bij de tweede piek beginnen de waterstanden bij Mond der Vecht, Zwartsluis en de Ramspolbrug eerder te stijgen door de windopzet, vervolgens stijgen zij mee met de stijgende afvoer. Alleen de waterstand bij de Ramspolbrug daalt wanneer de windsnelheid daalt, en wordt dus niet beïnvloed door de afvoer.

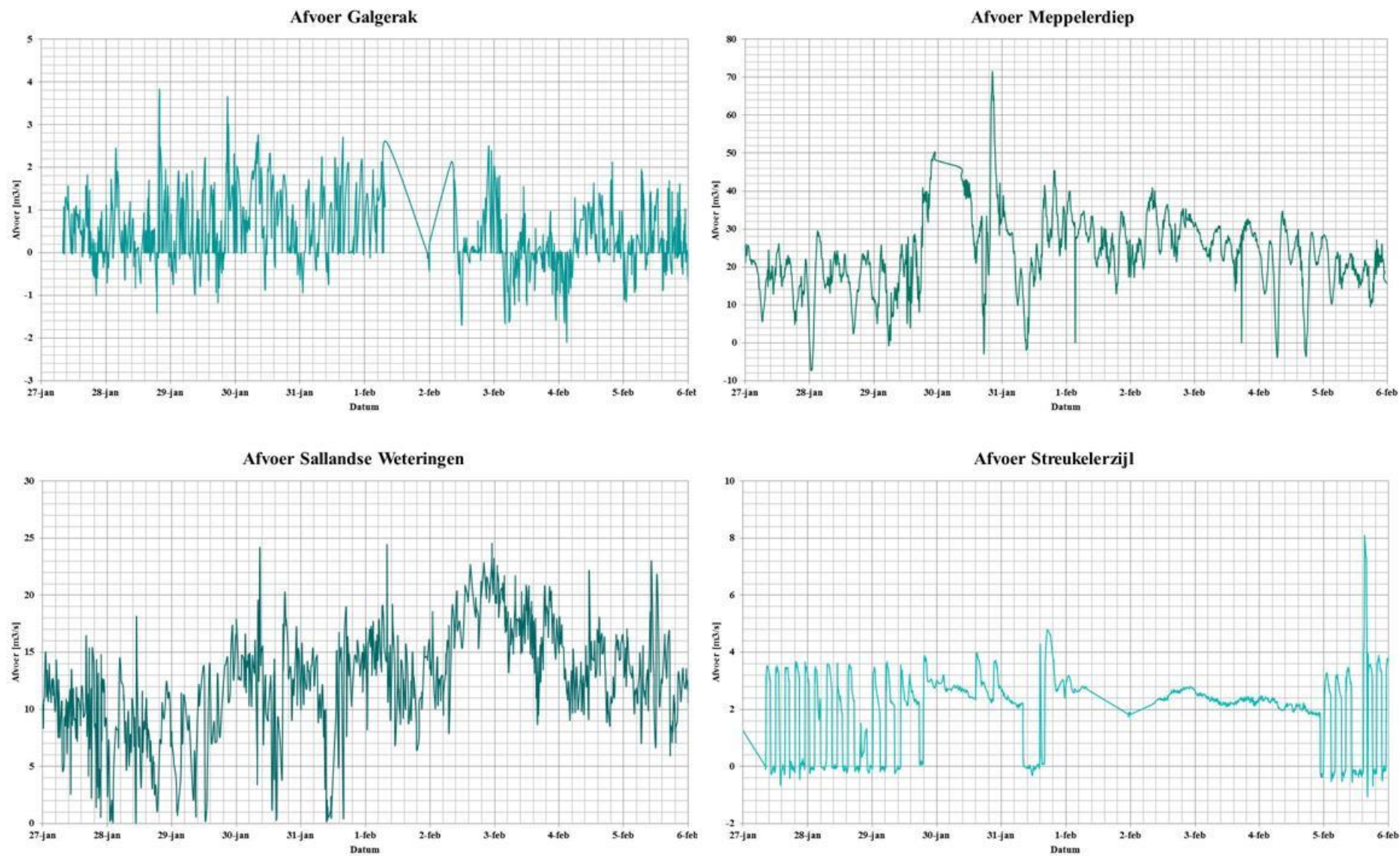
Bijlage C.2 Laterale afvoeren



Figuur 40 Gemeten laterale afvoeren, over de periode 1 januari tot 9 januari 2018



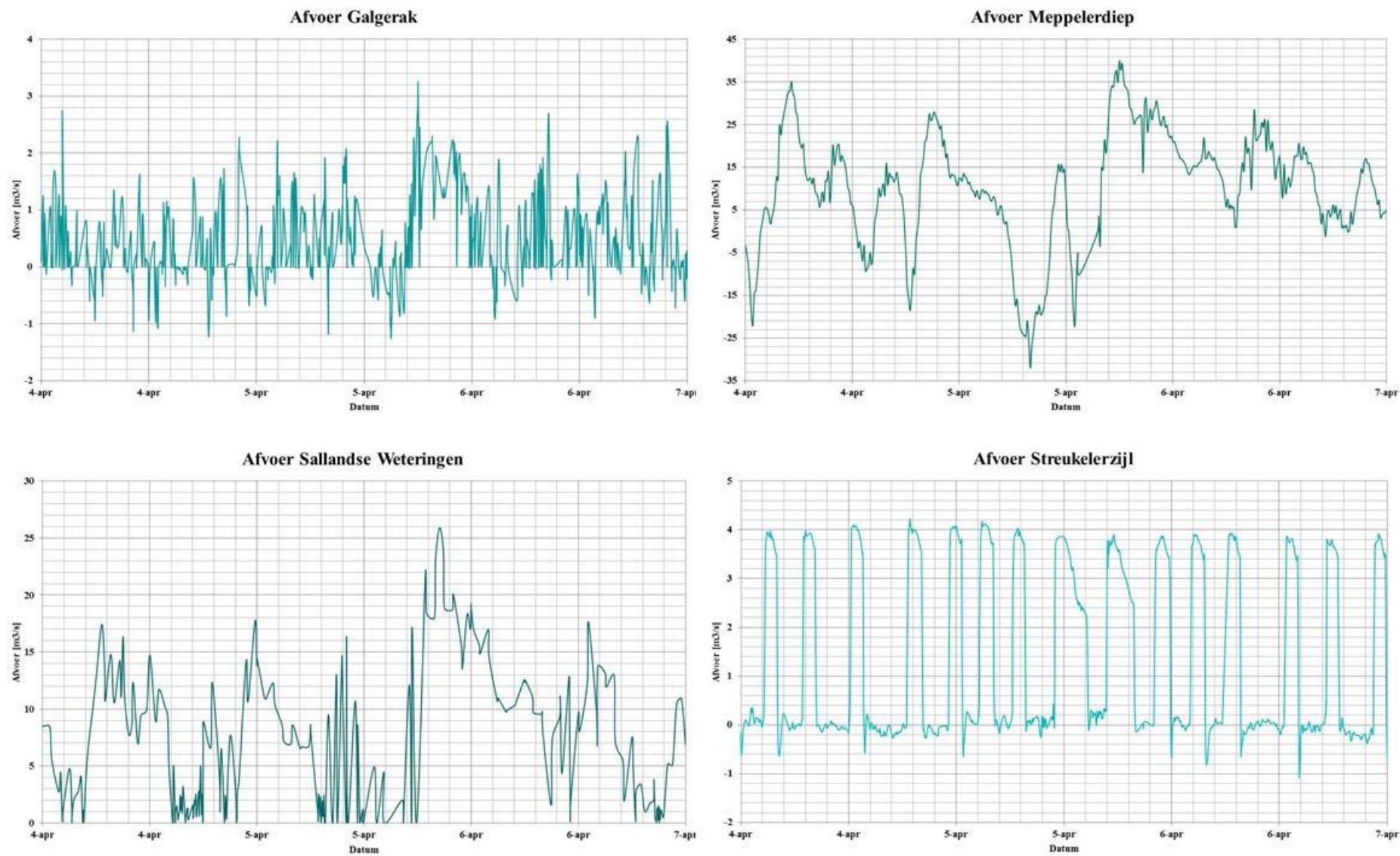
Figuur 41 Gemeten laterale afvoeren, over de periode 17 januari tot 21 januari 2018



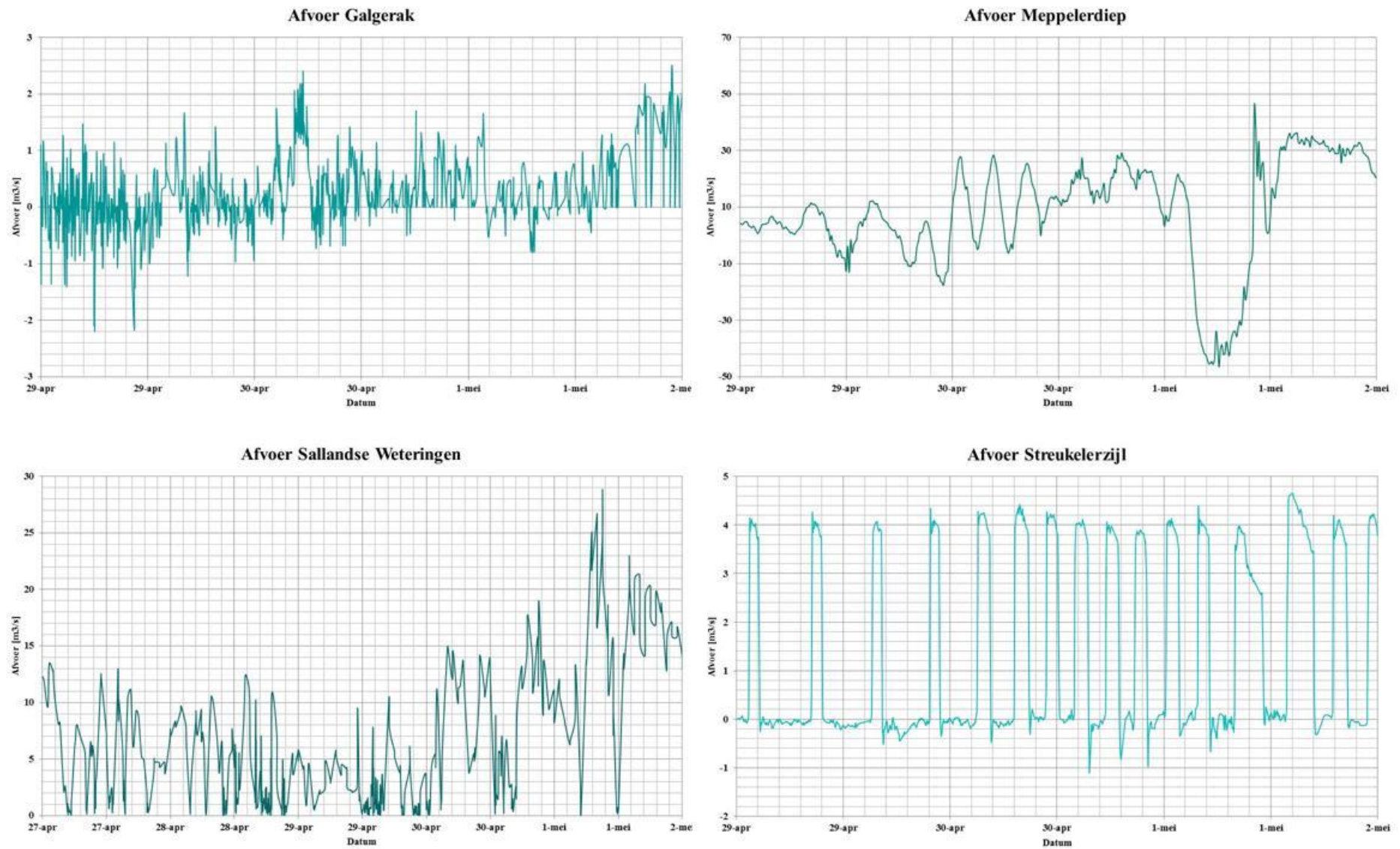
Figuur 42 Gemeten laterale afvoeren, over de periode 27 januari tot 6 februari 2018



Figuur 43 Gemeten laterale afvoeren, over de periode 10 februari tot 15 februari 2018

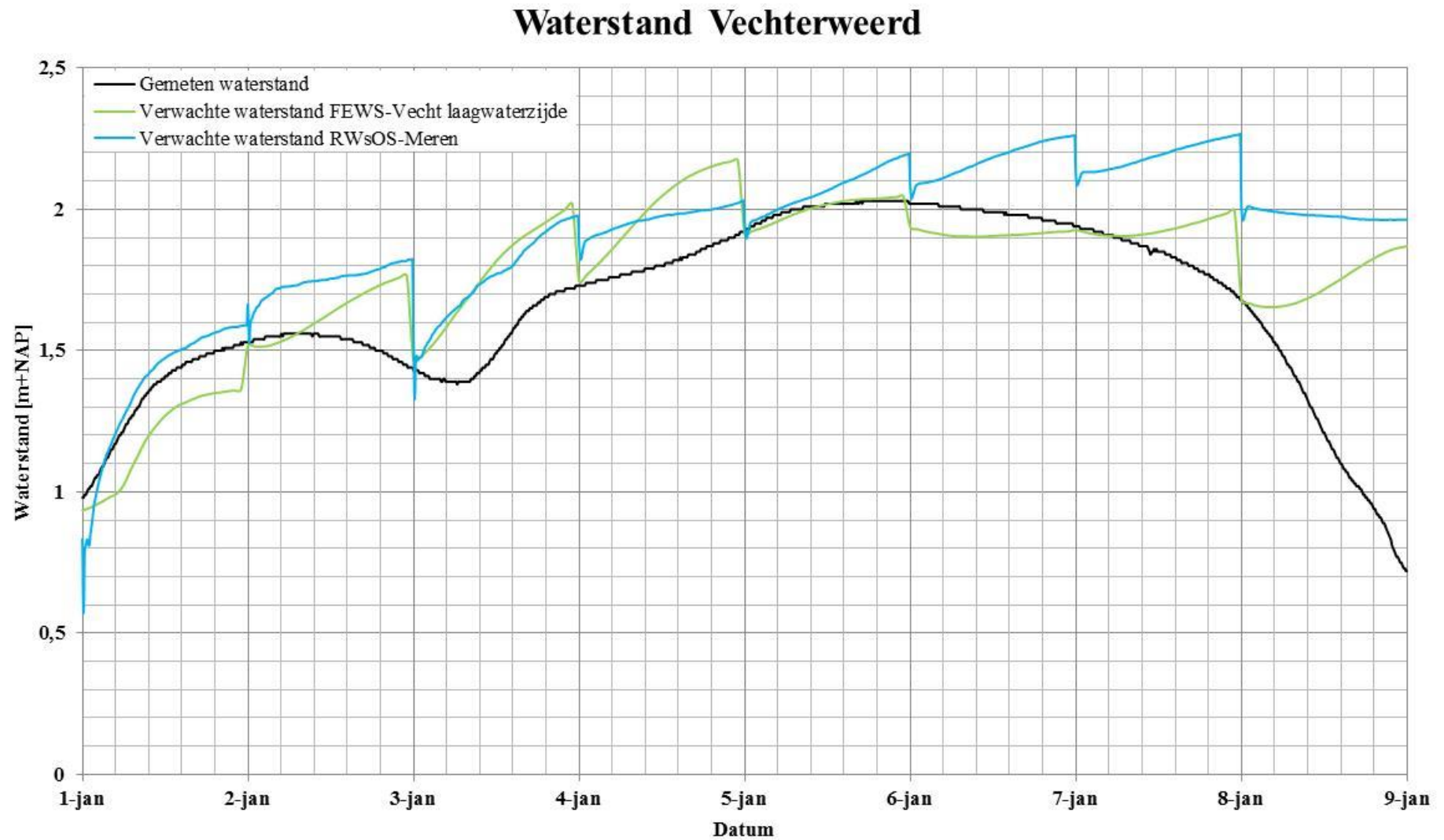


Figuur 44 Gemeten laterale afvoeren, over de periode 4 april tot 7 april 2018



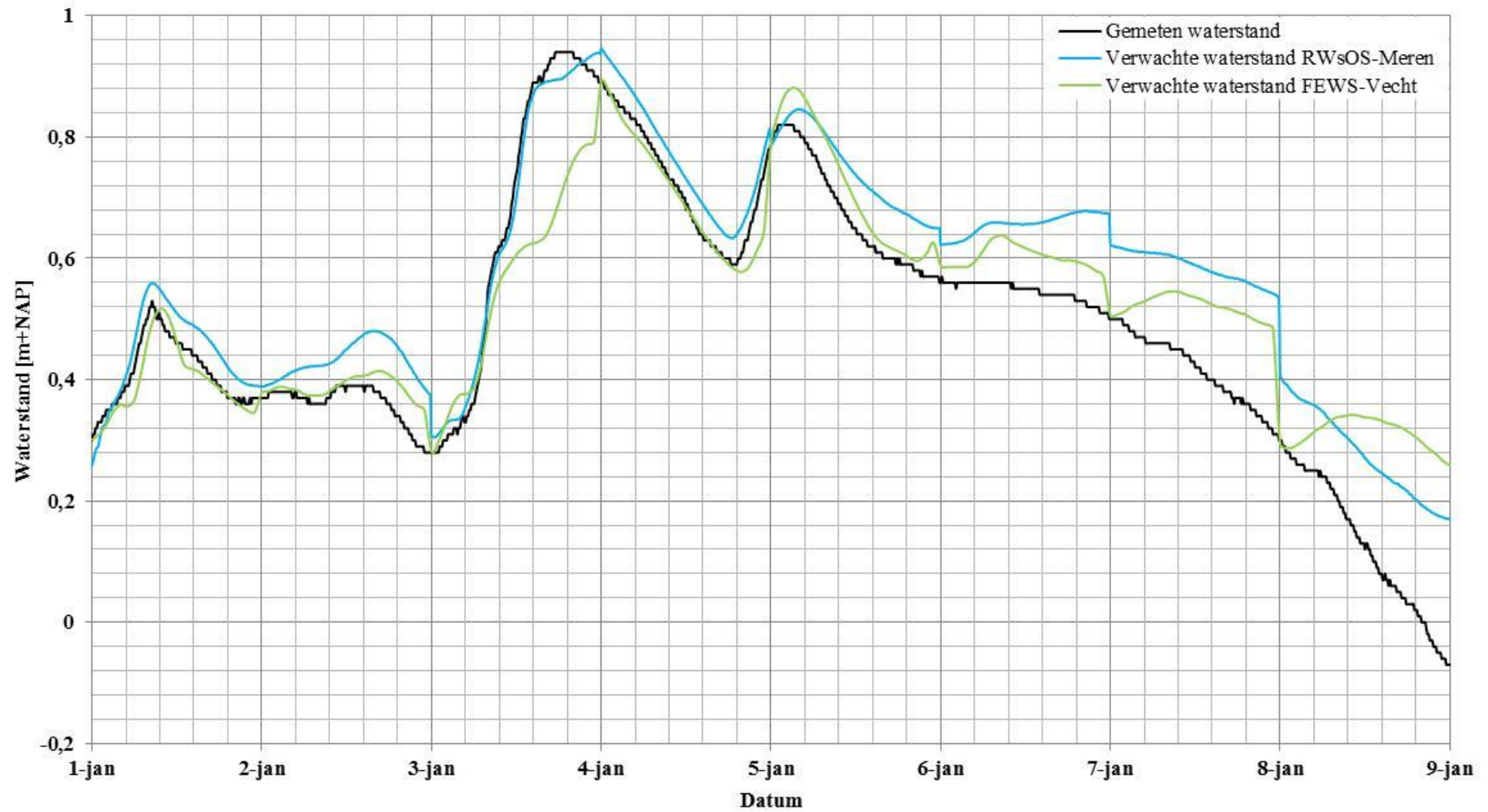
Figuur 45 Gemeten laterale afvoeren, over de periode 29 april tot 2 mei 2018

Bijlage D.1 Gemeten en verwachte waterstanden: Periode 1



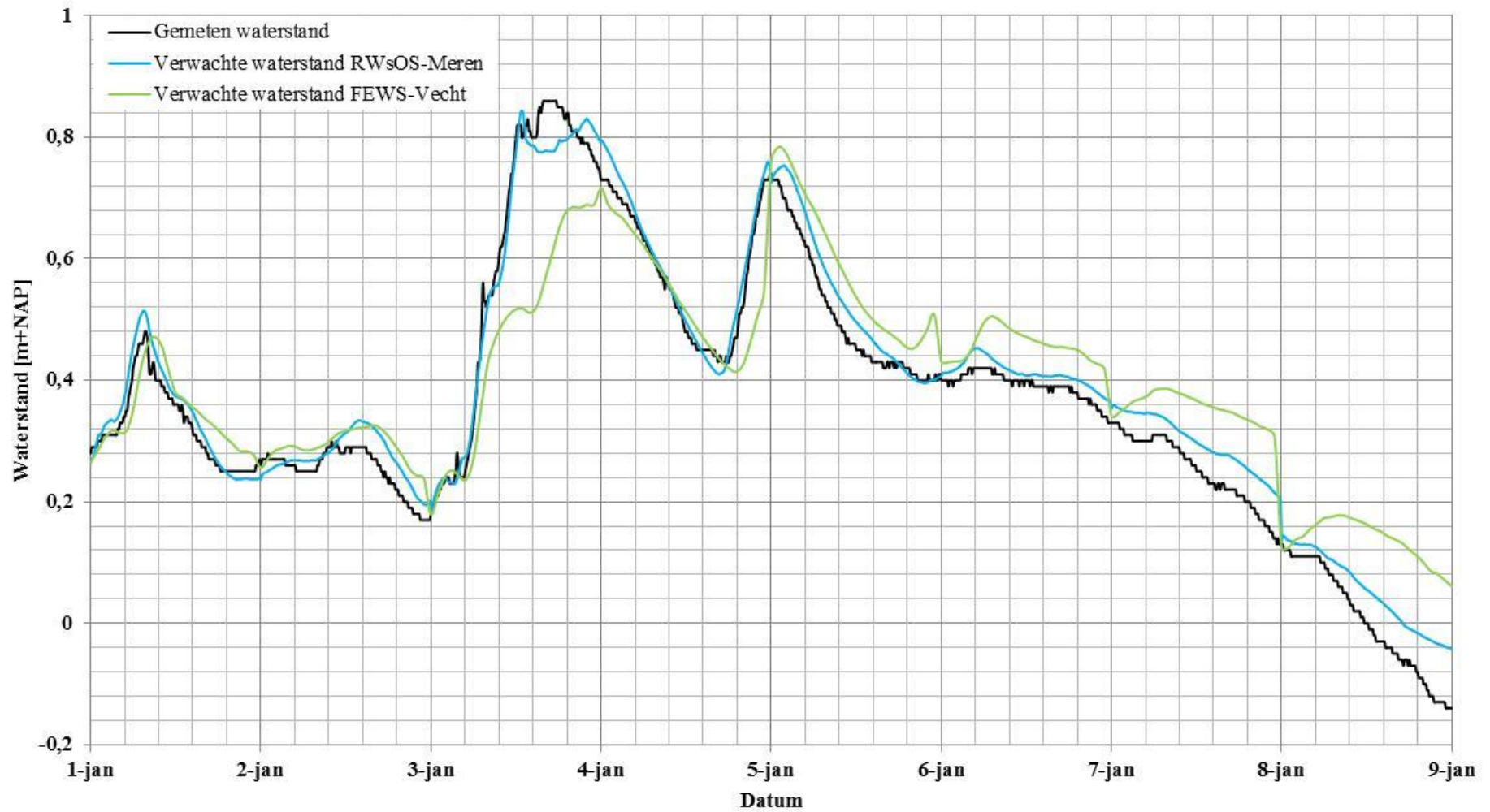
Figuur 46 Gemeten en verwachte waterstanden bij Vechterweerd, over de periode 1 januari tot 9 januari 2018

Waterstand Mond der Vecht



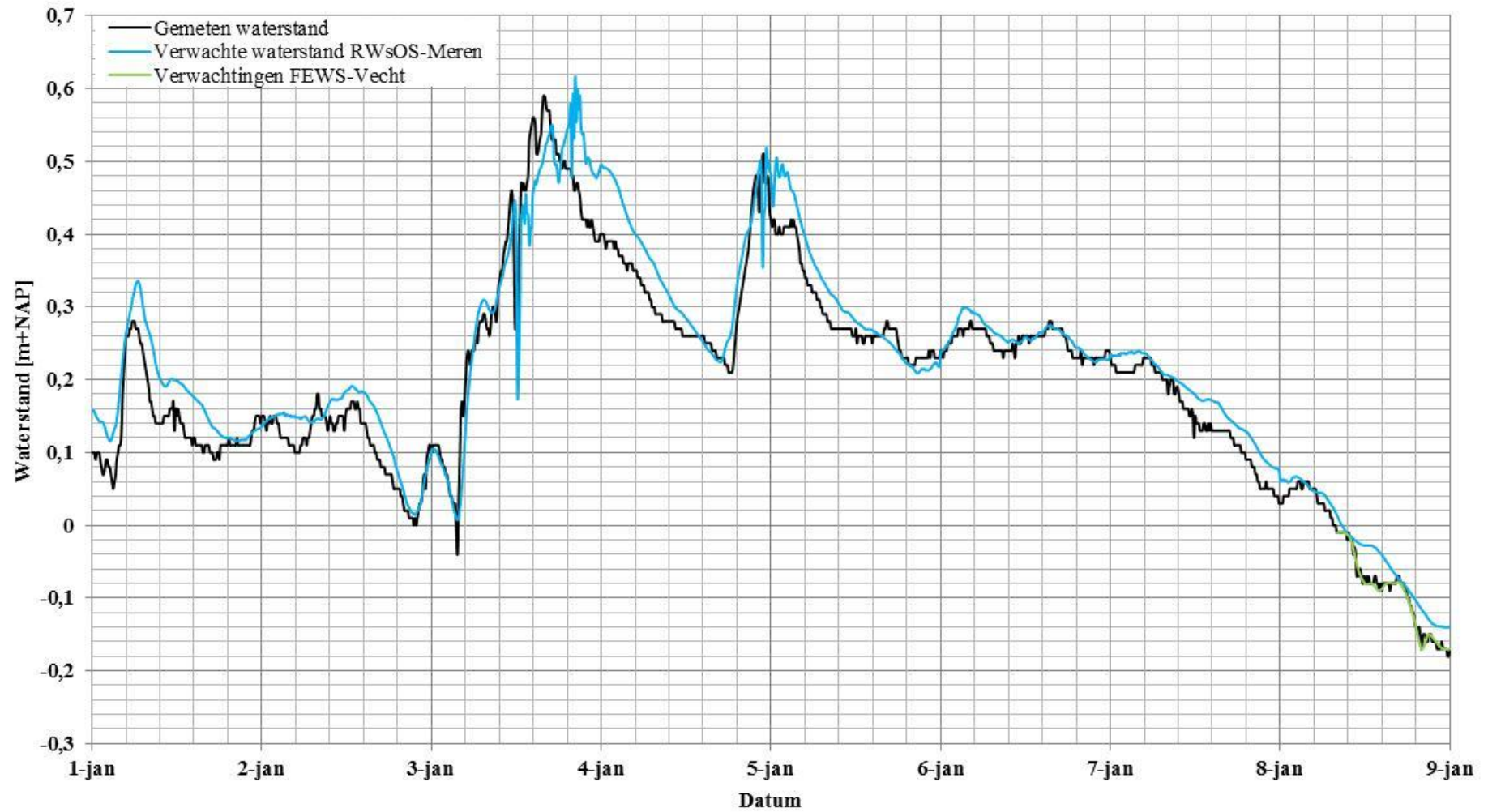
Figuur 47 Gemeten en verwachte waterstanden bij Mond der Vecht, over de periode 1 januari tot 9 januari 2018

Waterstand Zwartsluis



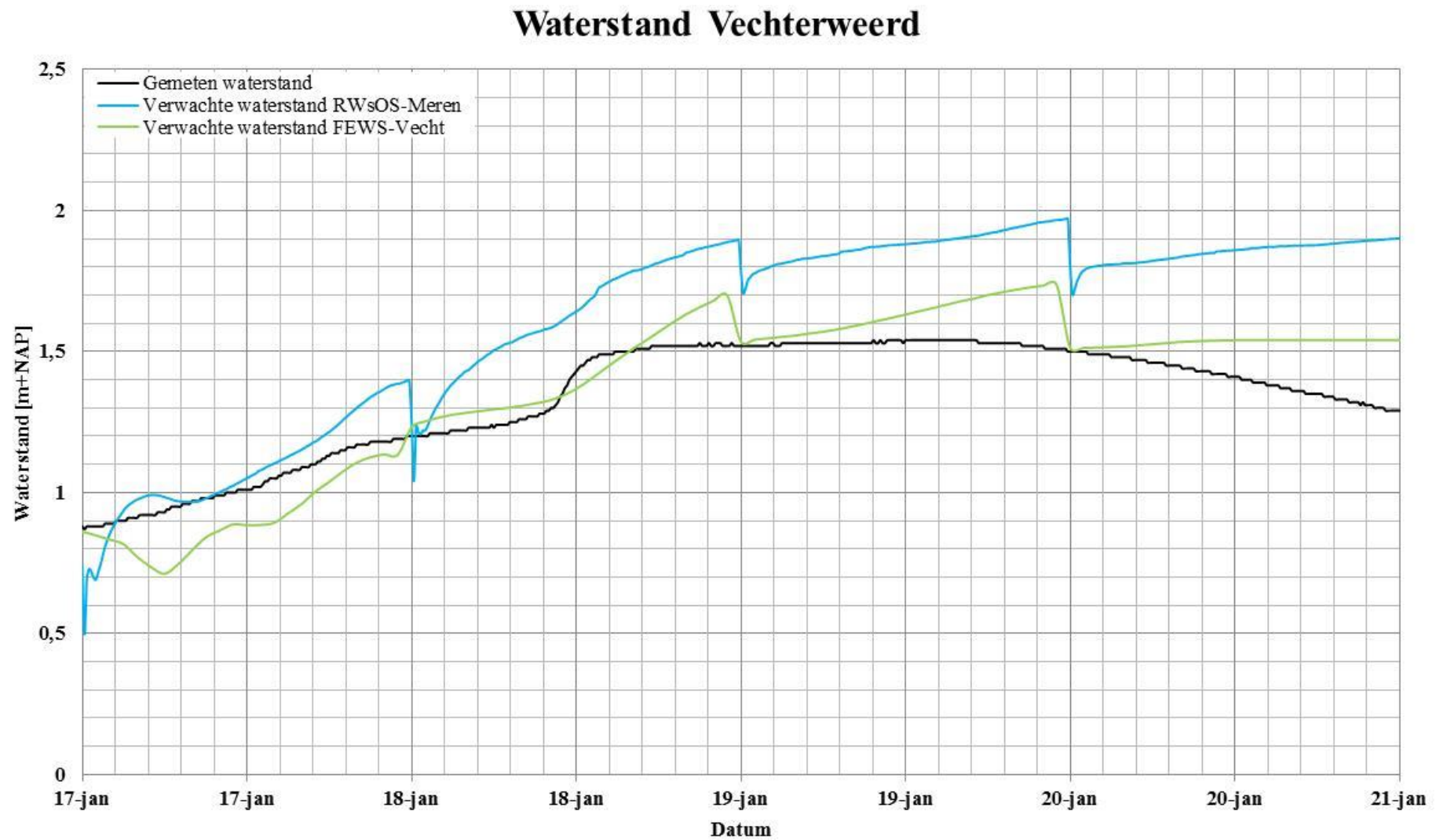
Figuur 48 Gemeten en verwachte waterstanden bij Zwartsluis, over de periode 1 januari tot 9 januari 2018

Waterstand Ramspolbrug



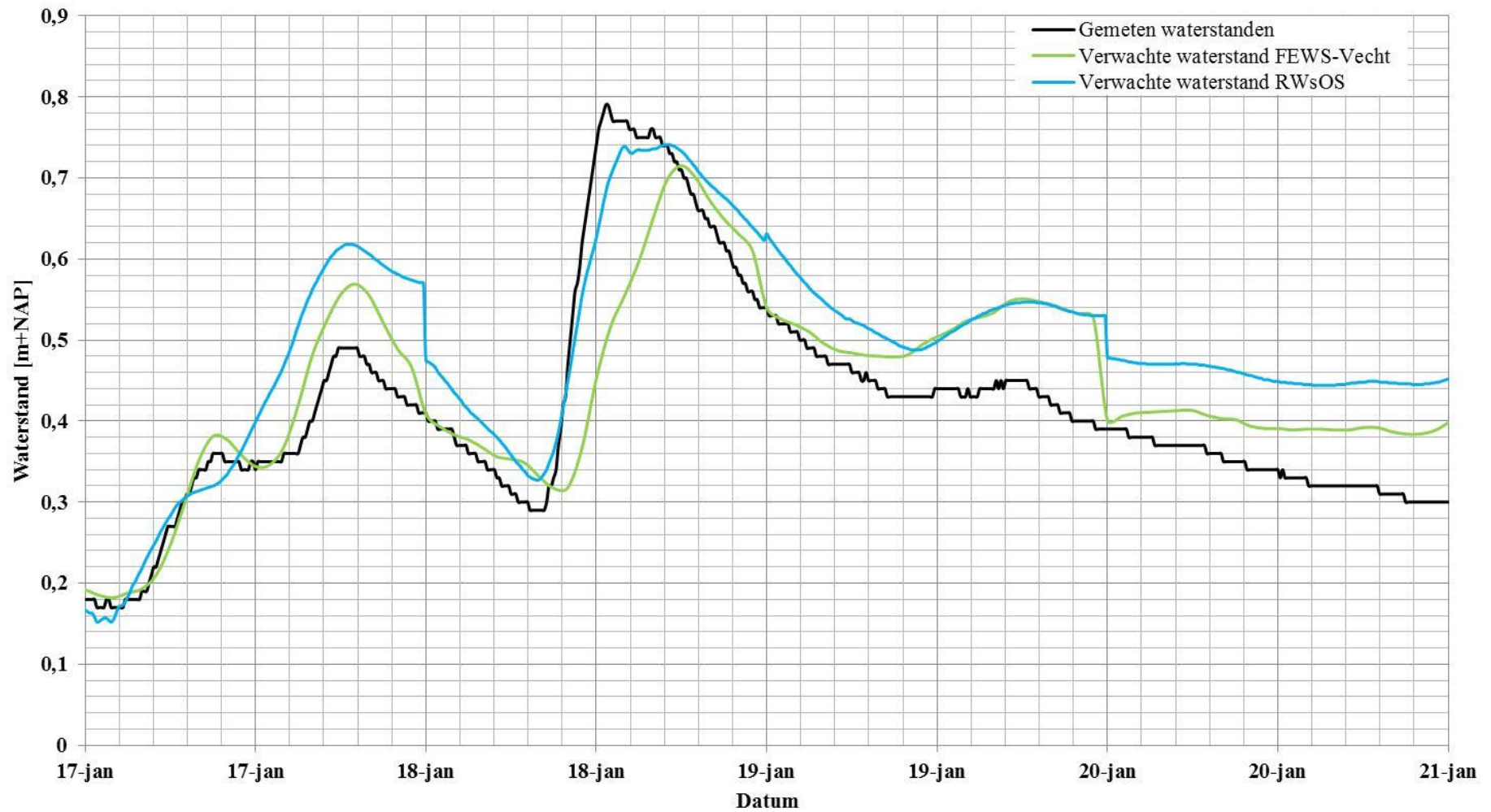
Figuur 49 Gemeten en verwachte waterstanden bij Ramspolbrug, over de periode 1 januari tot 9 januari 2018

Bijlage D.2 Gemeten en verwachte waterstanden: Periode 2



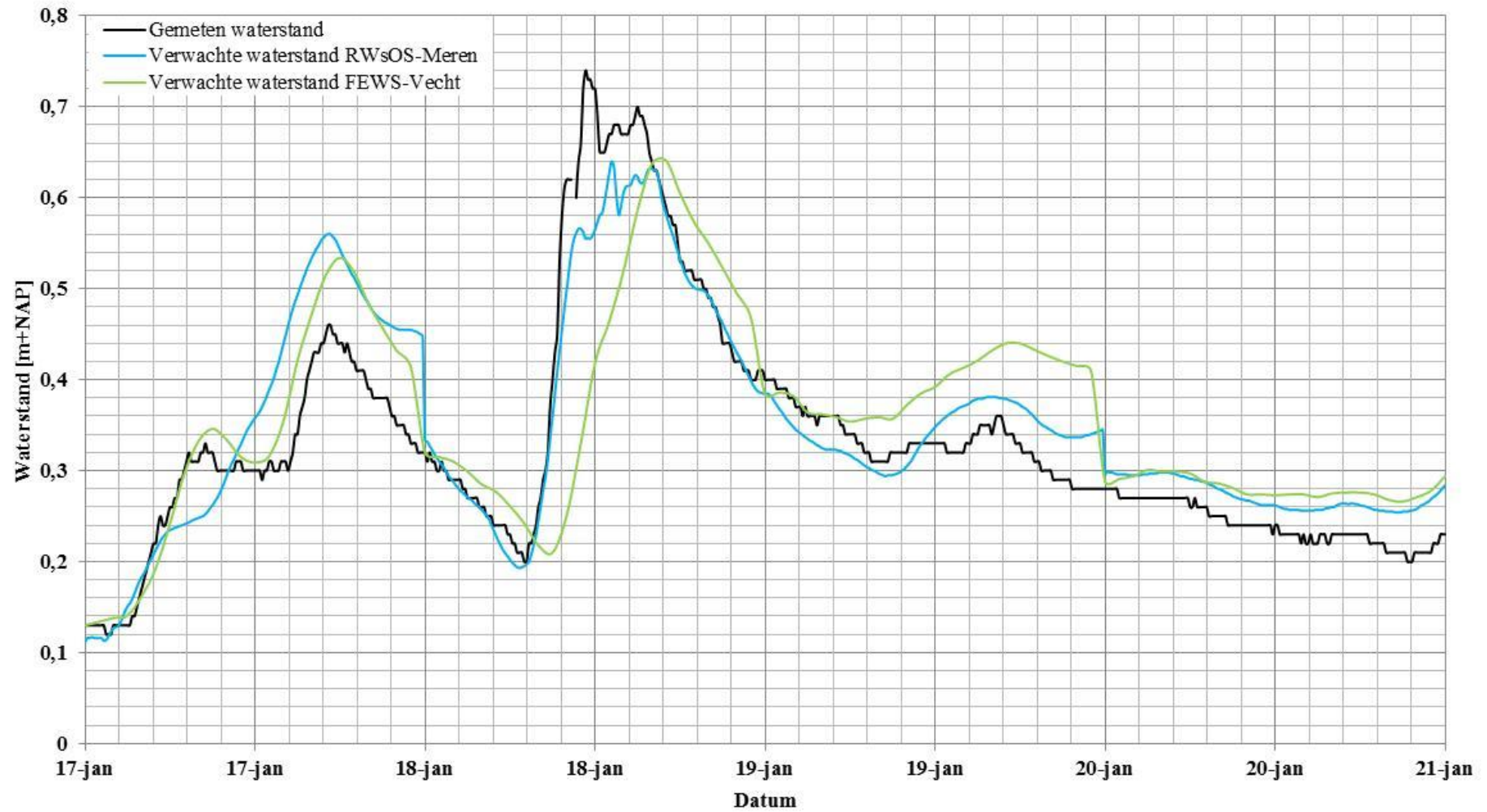
Figuur 50 Gemeten en verwachte waterstanden bij Vechterweerd, over de periode 17 januari tot 21 januari 2018

Waterstand Mond der Vecht



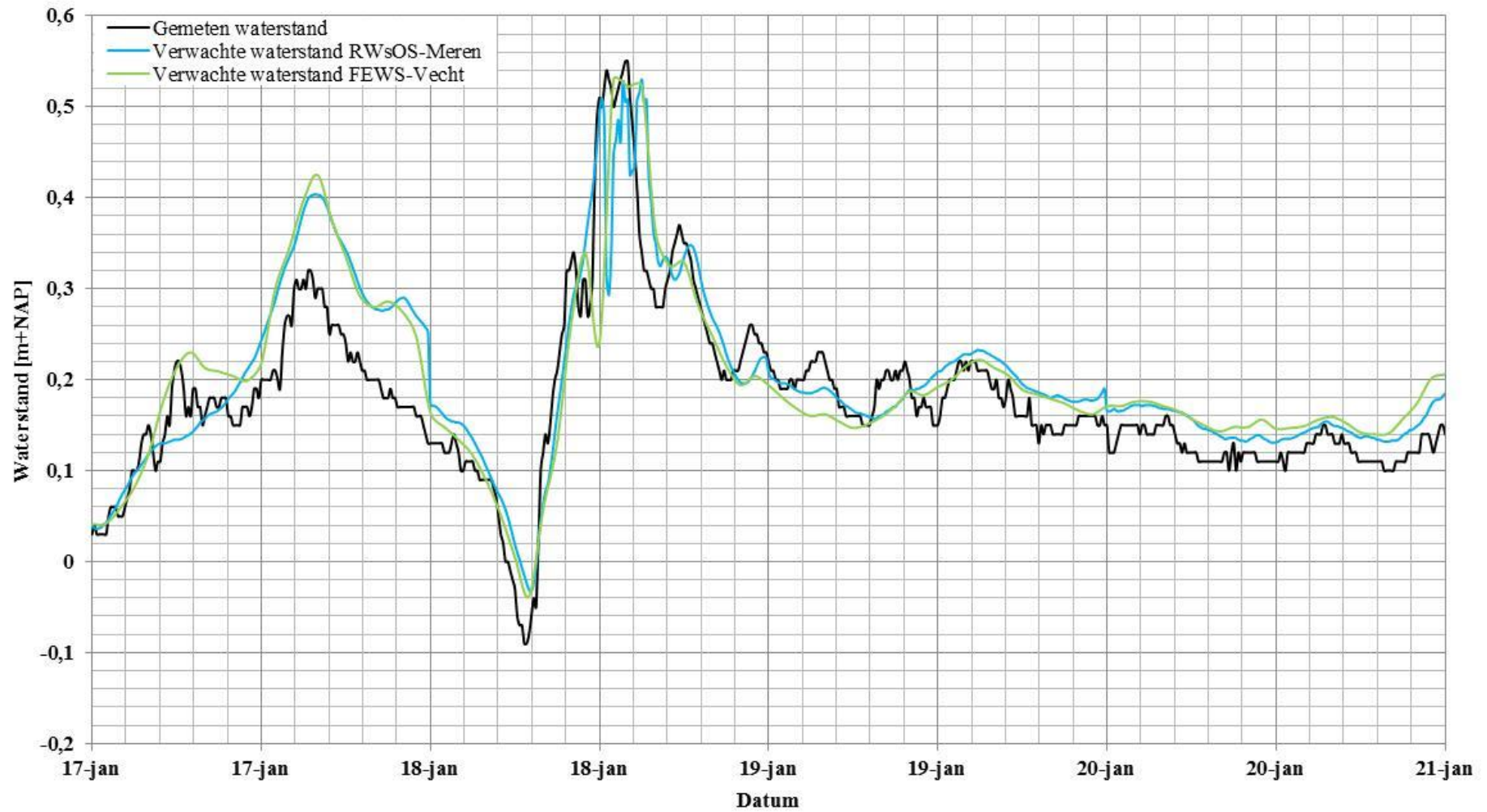
Figuur 51 Gemeten en verwachte waterstanden bij Mond der Vecht, over de periode 17 januari tot 21 januari 2018

Waterstand Zwartsluis



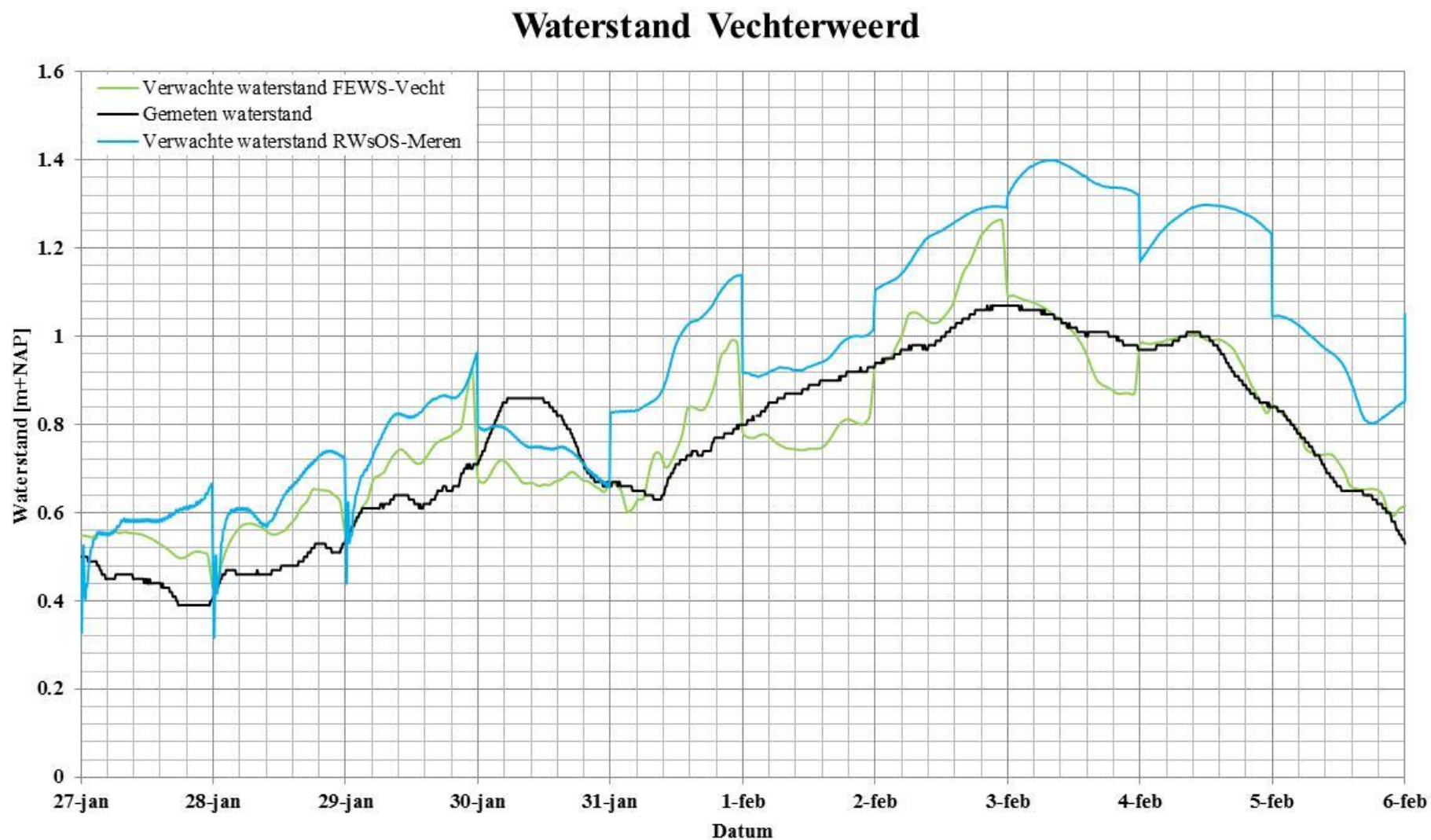
Figuur 52 Gemeten en verwachte waterstanden bij Zwartsluis, over de periode 17 januari tot 21 januari 2018

Waterstand Ramspolbrug



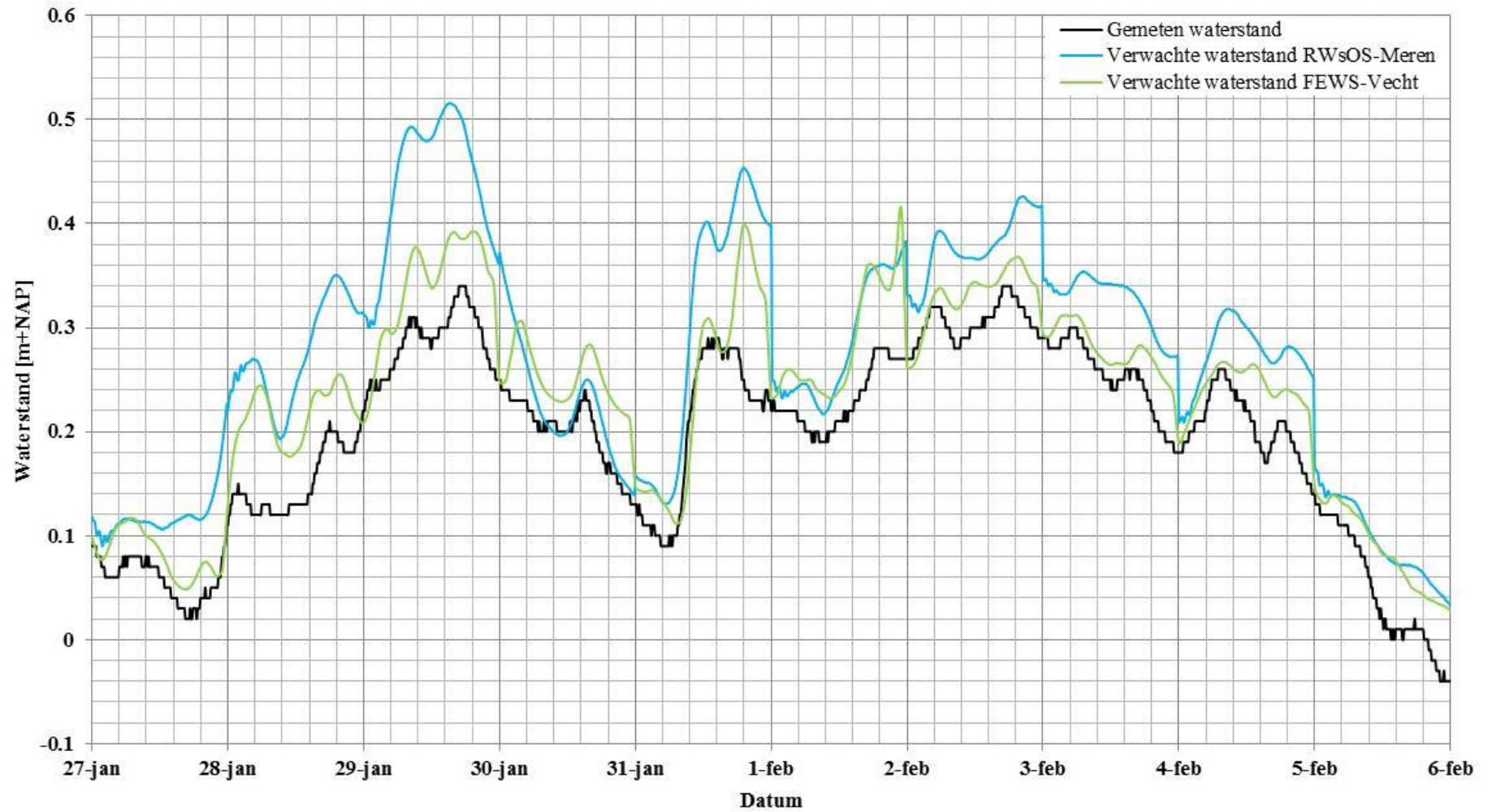
Figuur 53 Gemeten en verwachte waterstanden bij Ramspolbrug, over de periode 17 januari tot 21 januari 2018

Bijlage D.3 Gemeten en verwachte waterstanden: Periode 3



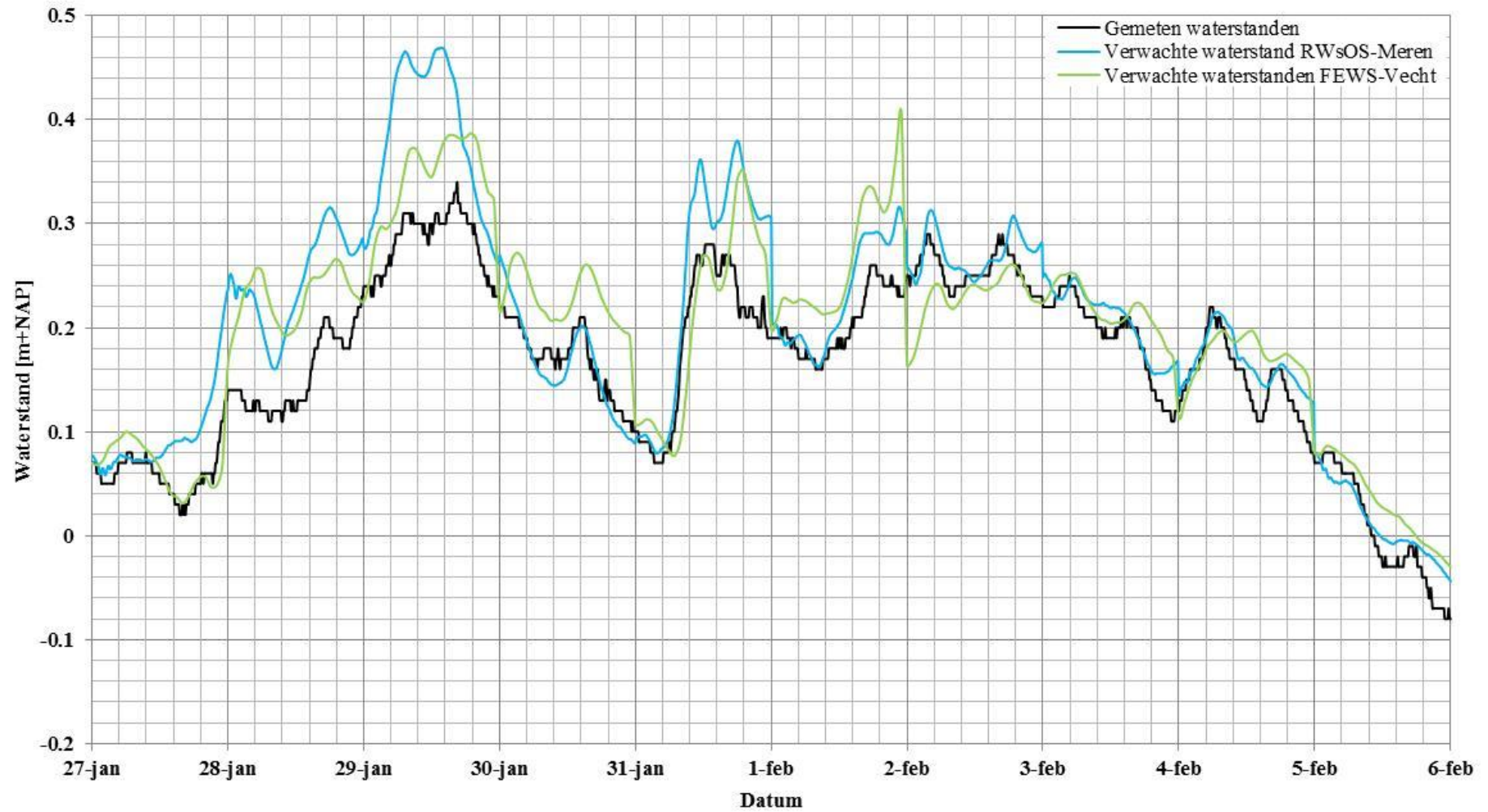
Figuur 54 Gemeten en verwachte waterstanden bij Vechterweerd, over de periode 27 januari tot 6 februari 2018

Waterstand Mond der Vecht



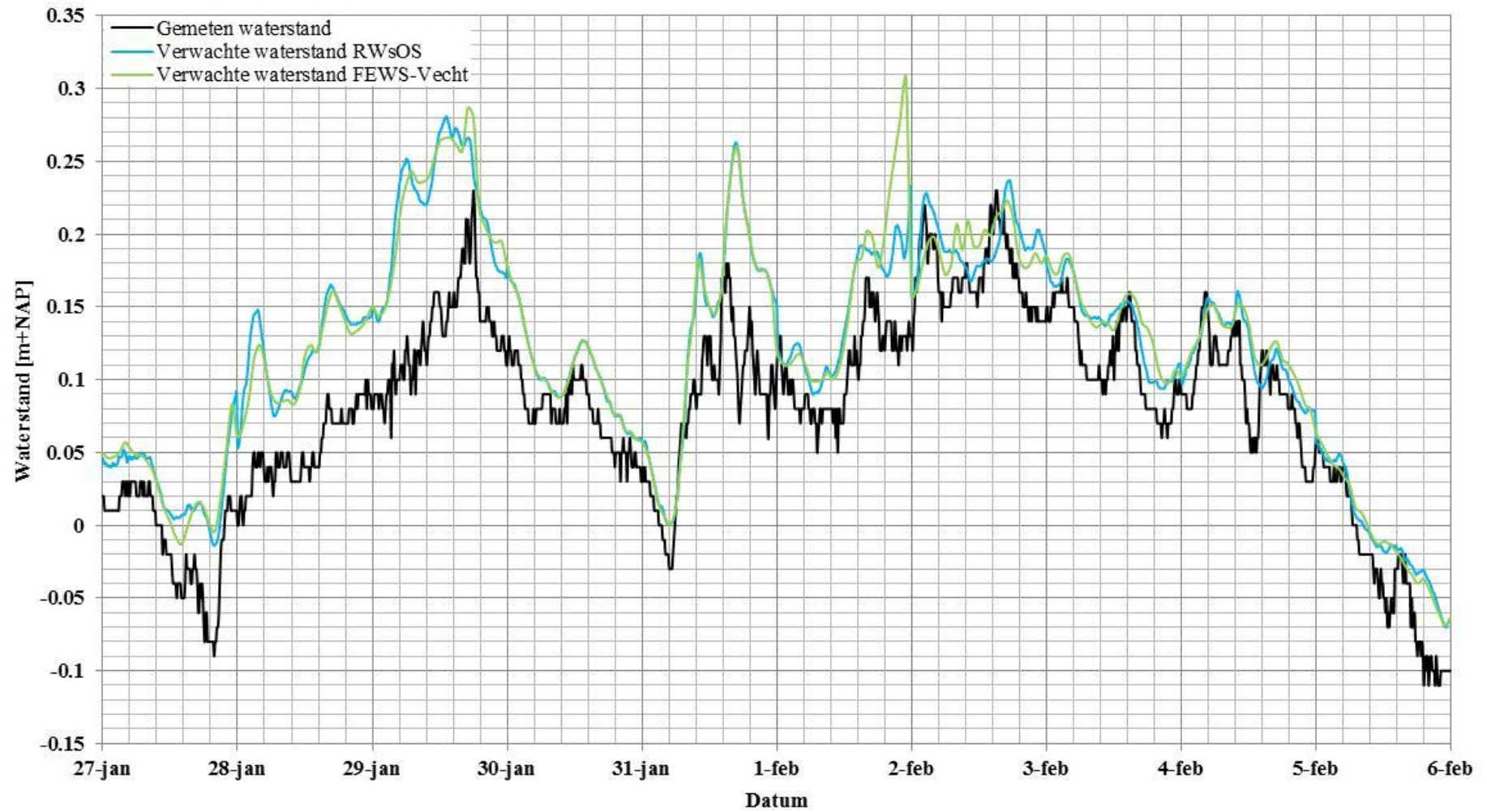
Figuur 55 Gemeten en verwachte waterstanden bij Mond der Vecht, over de periode 27 januari tot 6 februari 2018

Waterstanden Zwartsluis



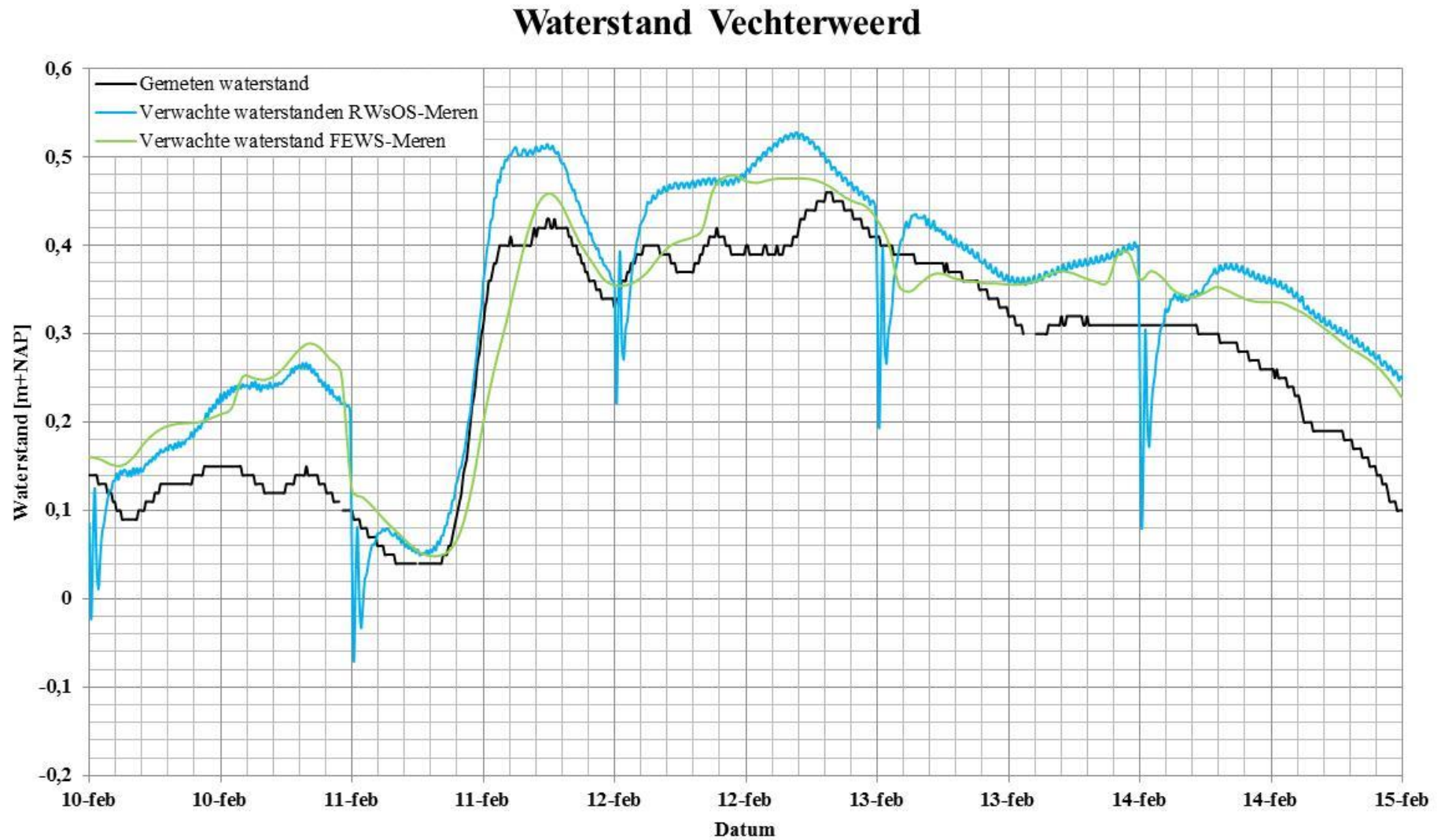
Figuur 56 Gemeten en verwachte waterstanden bij Zwartsluis, over de periode 27 januari tot 6 februari 2018

Waterstand Ramspolbrug



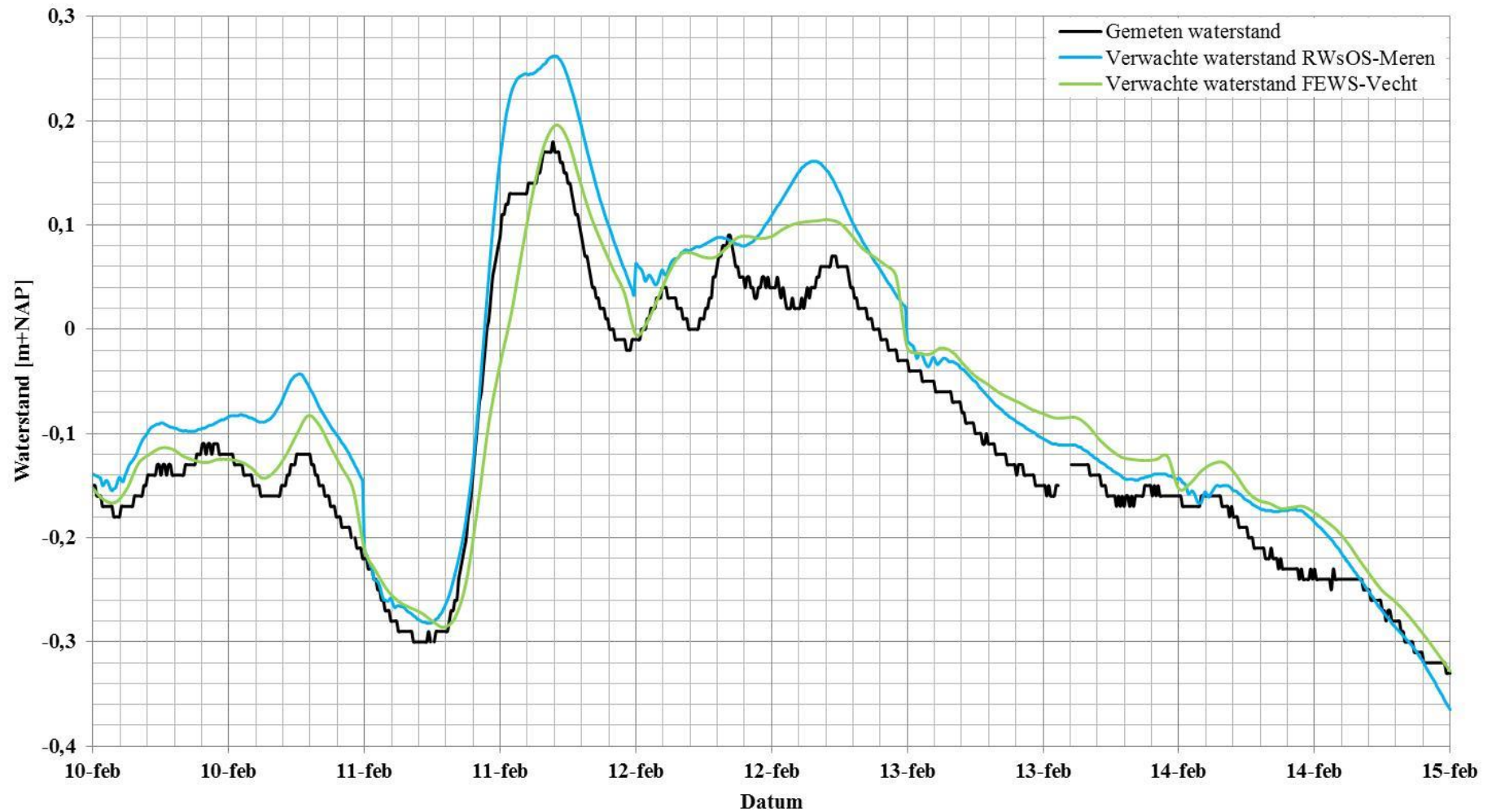
Figuur 57 Gemeten en verwachte waterstanden bij Ramspolbrug, over de periode 27 januari tot 6 februari 2018

Bijlage D.4 Gemeten en verwachte waterstanden: Periode 4



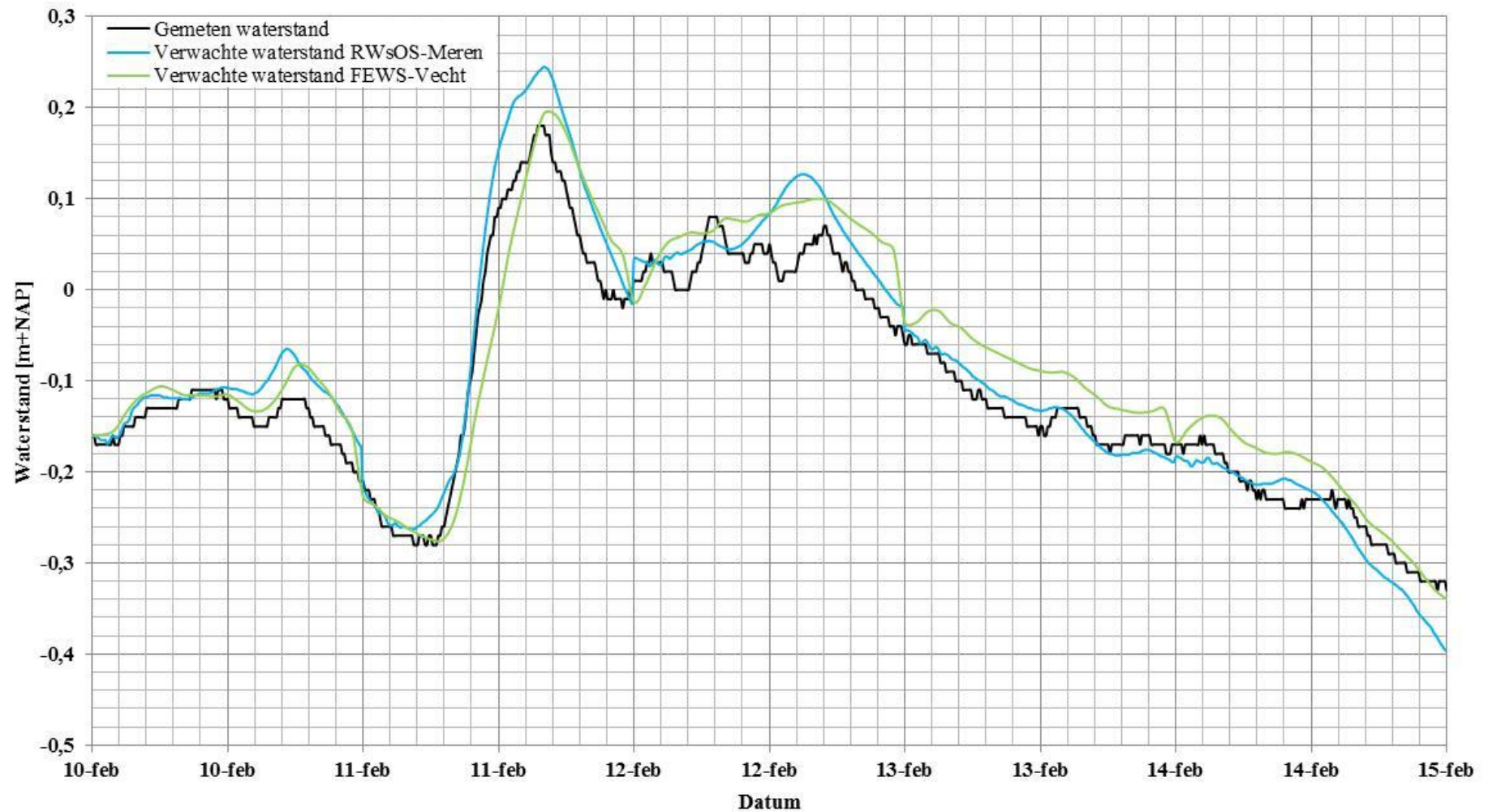
Figuur 58 Gemeten en verwachte waterstanden bij Vechterweerd, over de periode 10 februari tot 15 februari 2018

Waterstand Mond der Vecht



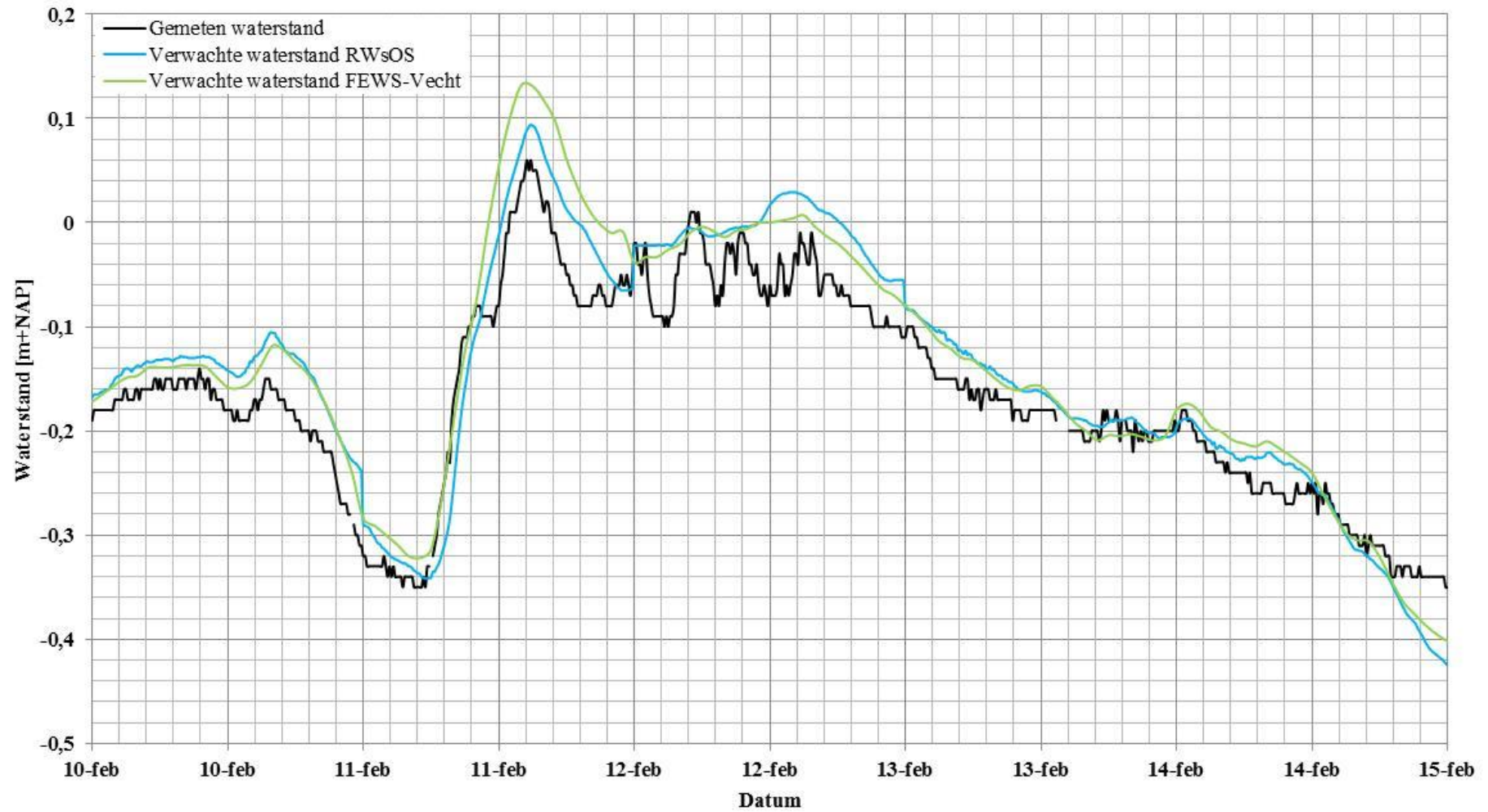
Figuur 59 Gemeten en verwachte waterstanden bij Mond der Vecht, over de periode 10 februari tot 15 februari 2018

Waterstanden Zwartsluis



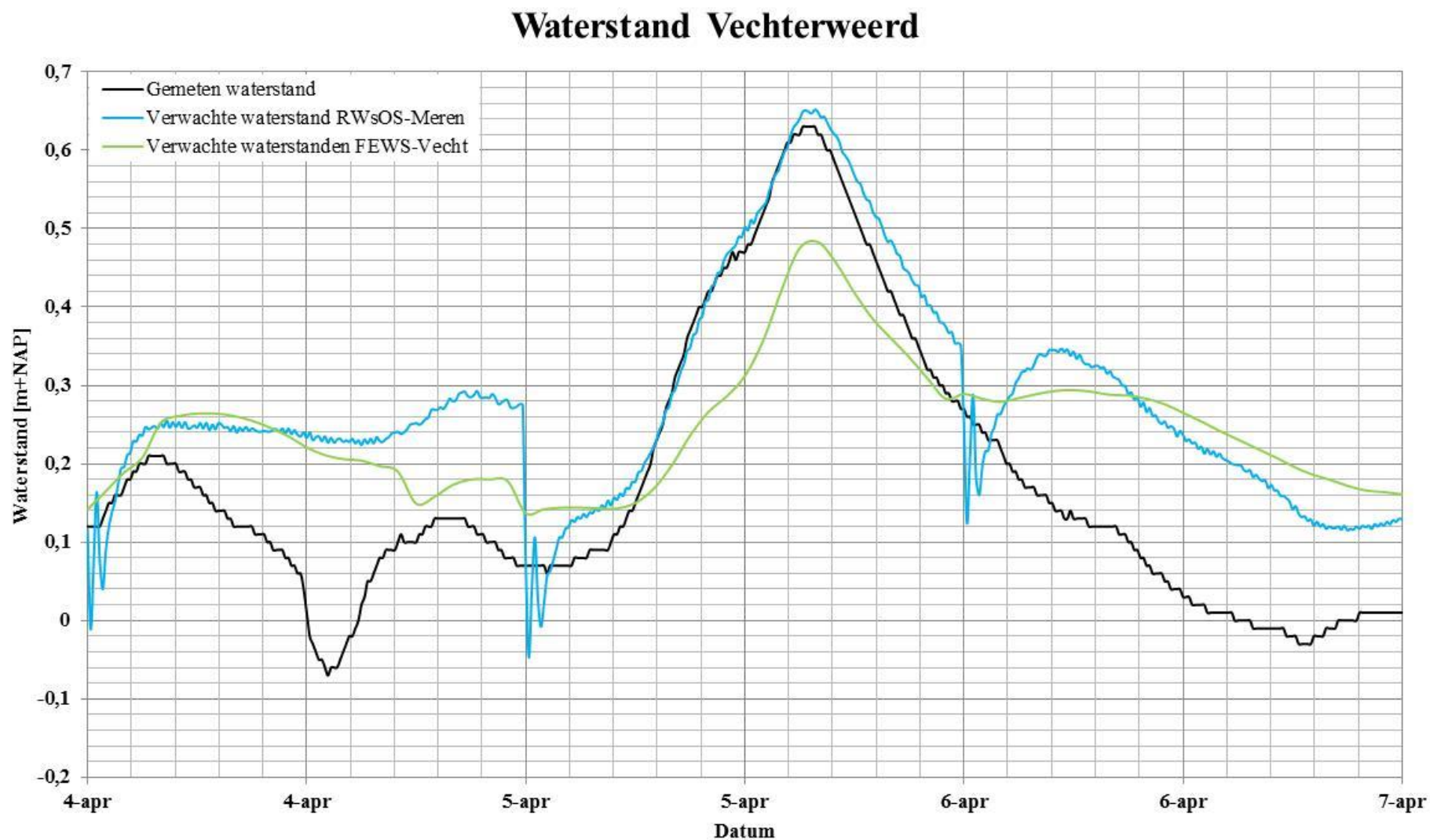
Figuur 60 Gemeten en verwachte waterstanden bij Zwartsluis, over de periode 10 februari tot 15 februari 2018

Waterstand Ramspolbrug



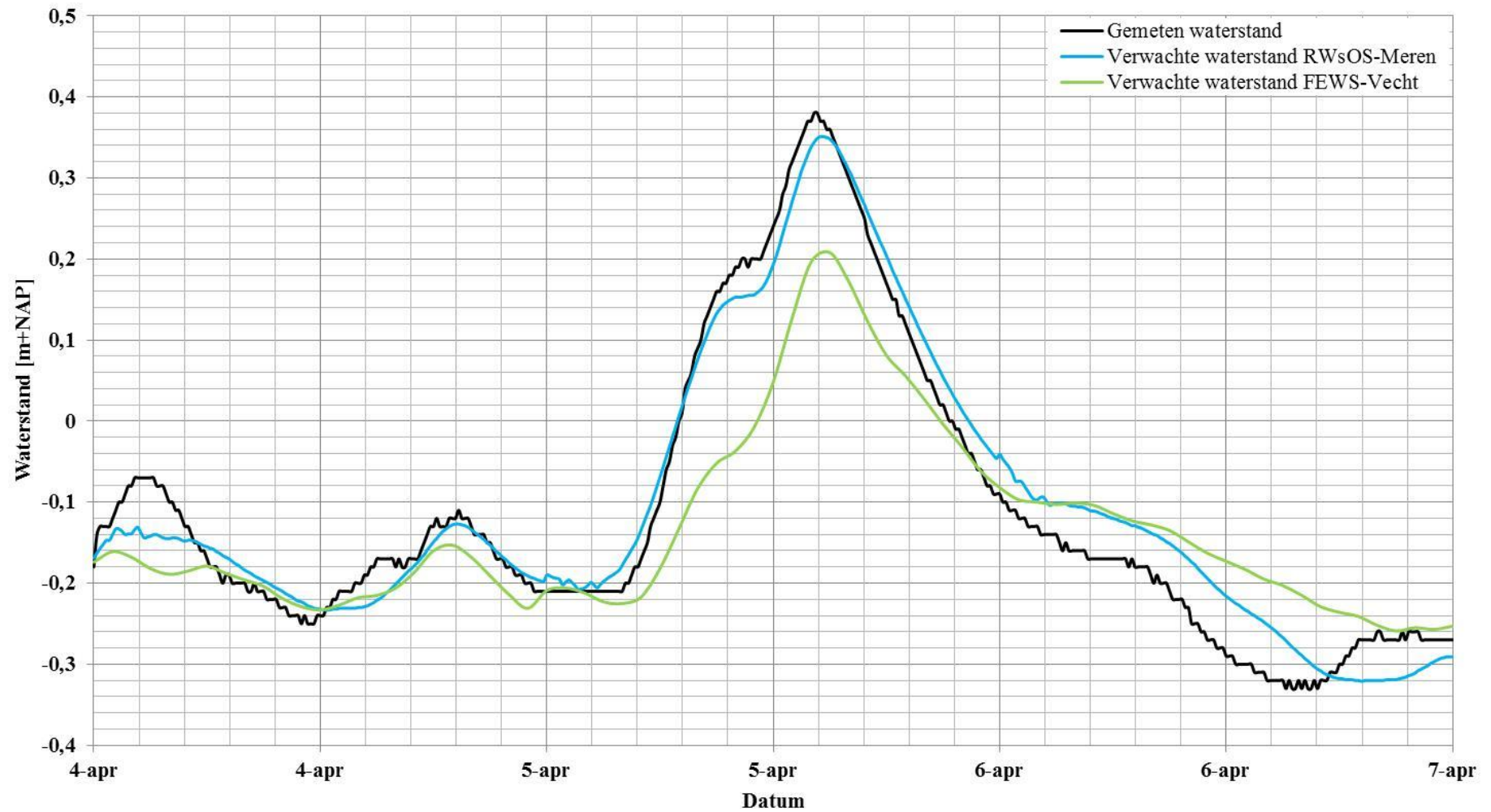
Figuur 61 Gemeten en verwachte waterstanden bij Ramspolbrug, over de periode 10 februari tot 15 februari 2018

Bijlage D.5 Gemeten en verwachte waterstanden: Periode 5



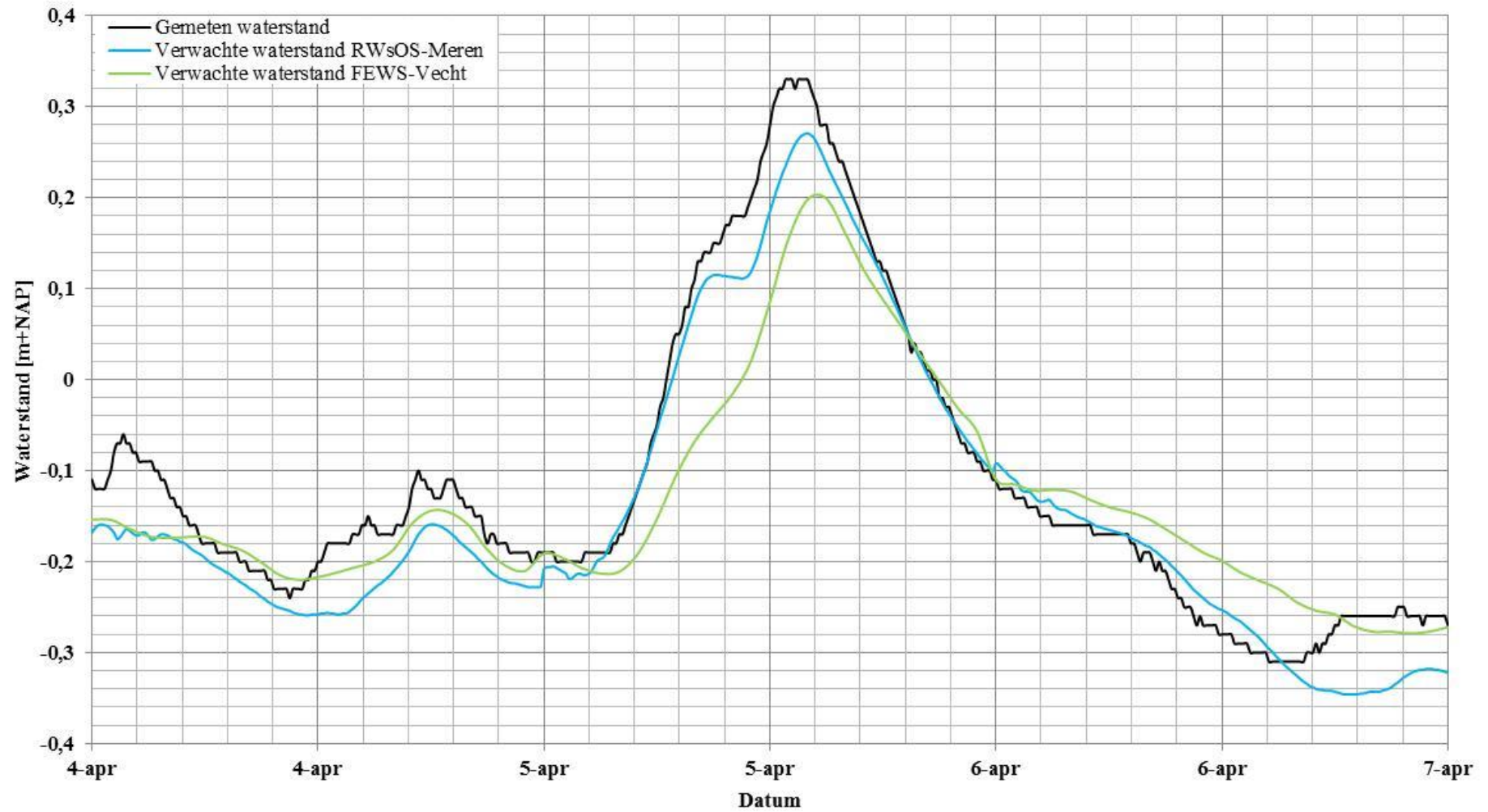
Figuur 62 Gemeten en verwachte waterstanden bij Vechterweerd, over de periode 4 april tot 7 april 2018

Waterstand Mond der Vecht



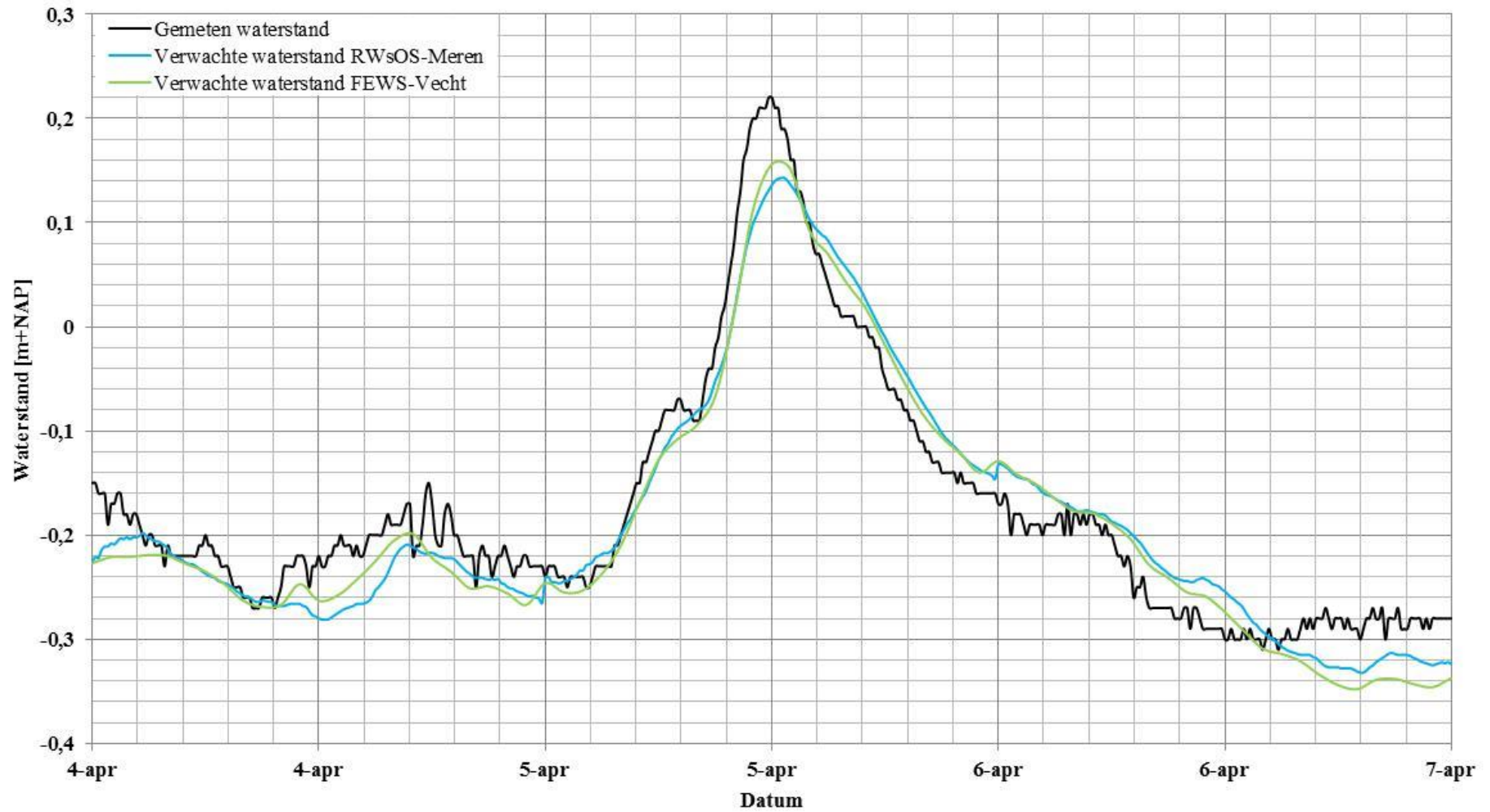
Figuur 63 Gemeten en verwachte waterstanden bij Mond der Vecht, over de periode 4 april tot 7 april 2018

Waterstanden Zwartsluis



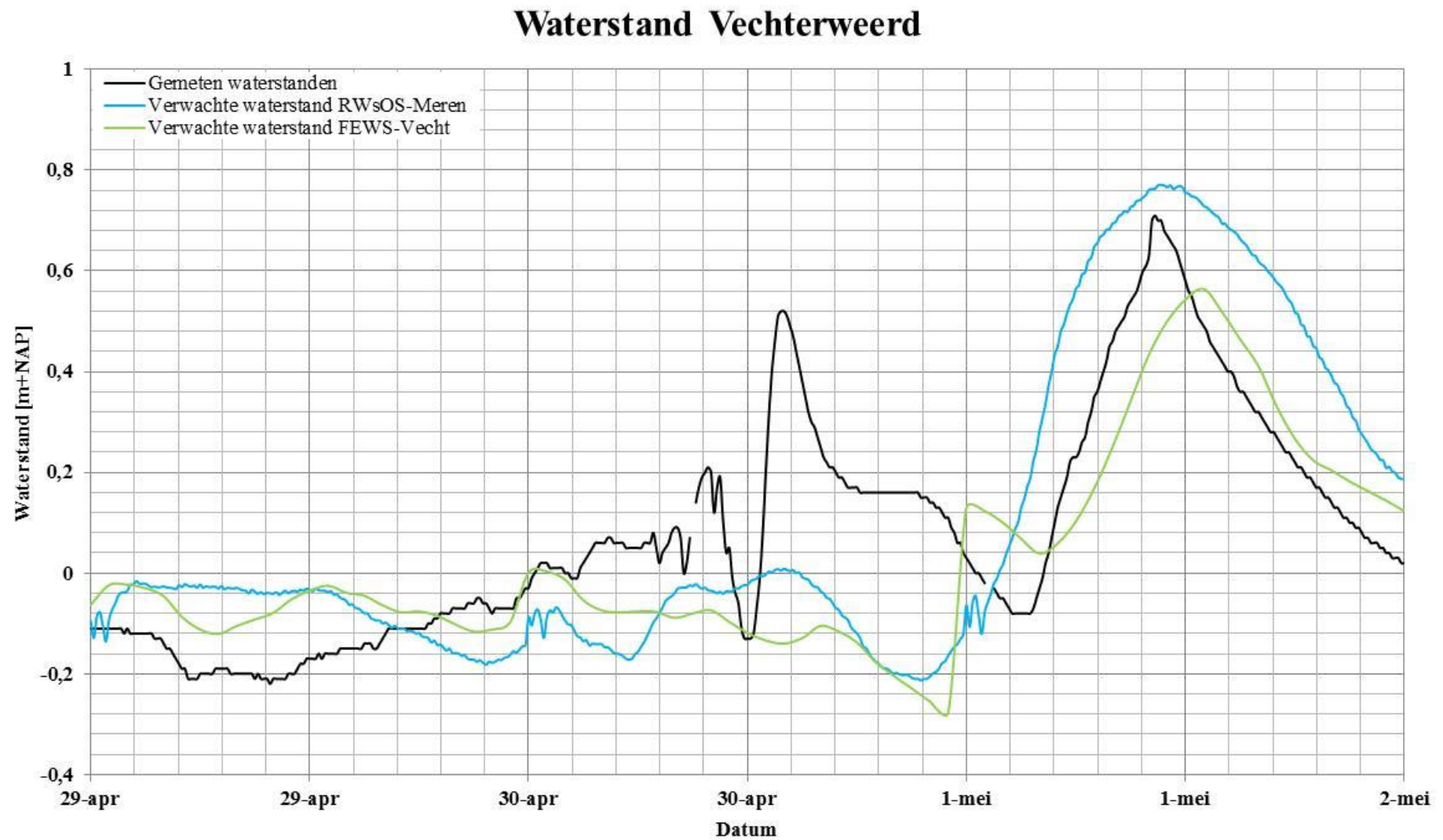
Figuur 64 Gemeten en verwachte waterstanden bij Zwartsluis, over de periode 4 april tot 7 april 2018

Waterstand Ramspolbrug



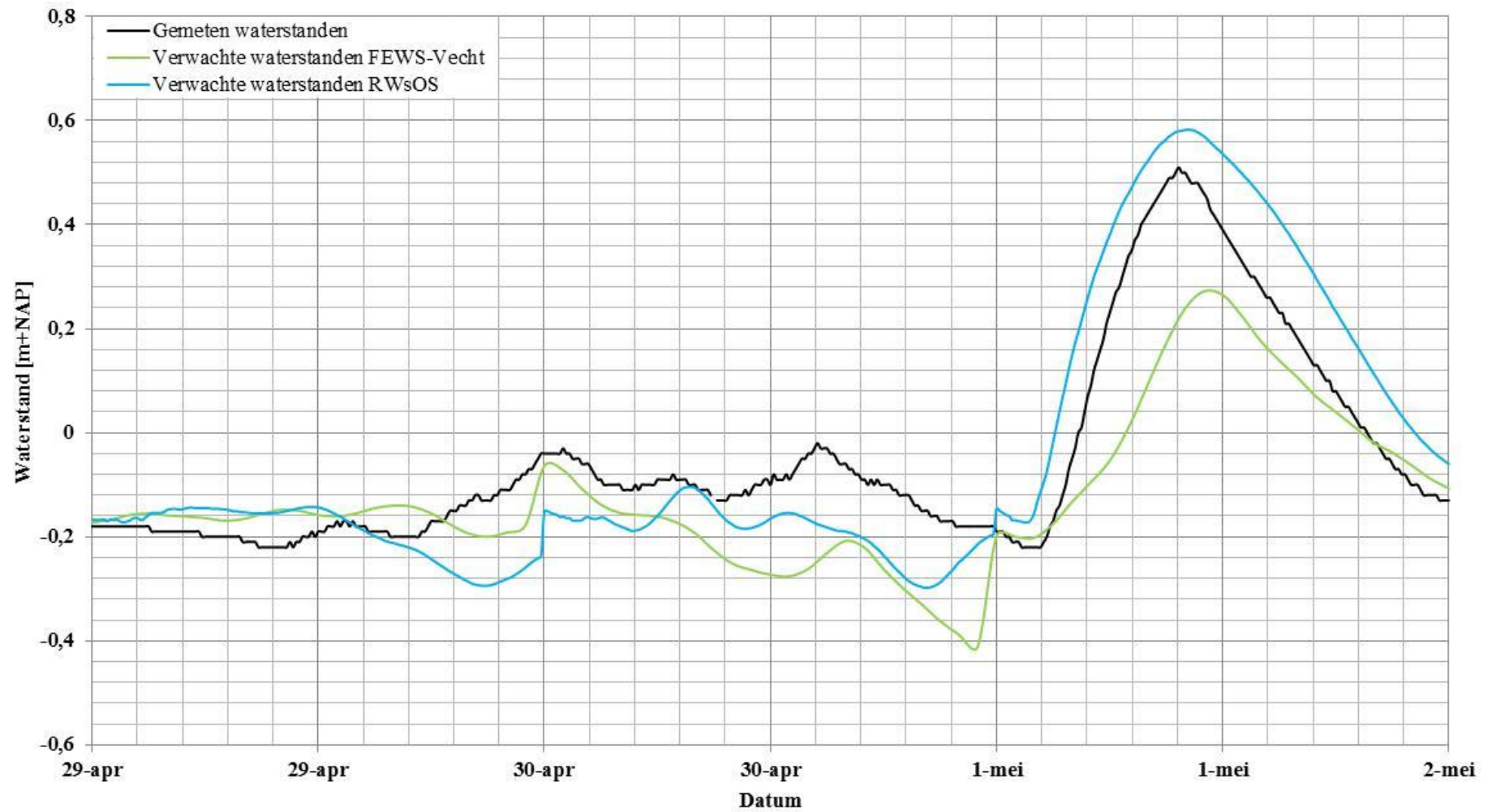
Figuur 65 Gemeten en verwachte waterstanden bij Ramspolbrug, over de periode 4 april tot 7 april 2018

Bijlage D.6 Gemeten en verwachte waterstanden: Periode 6



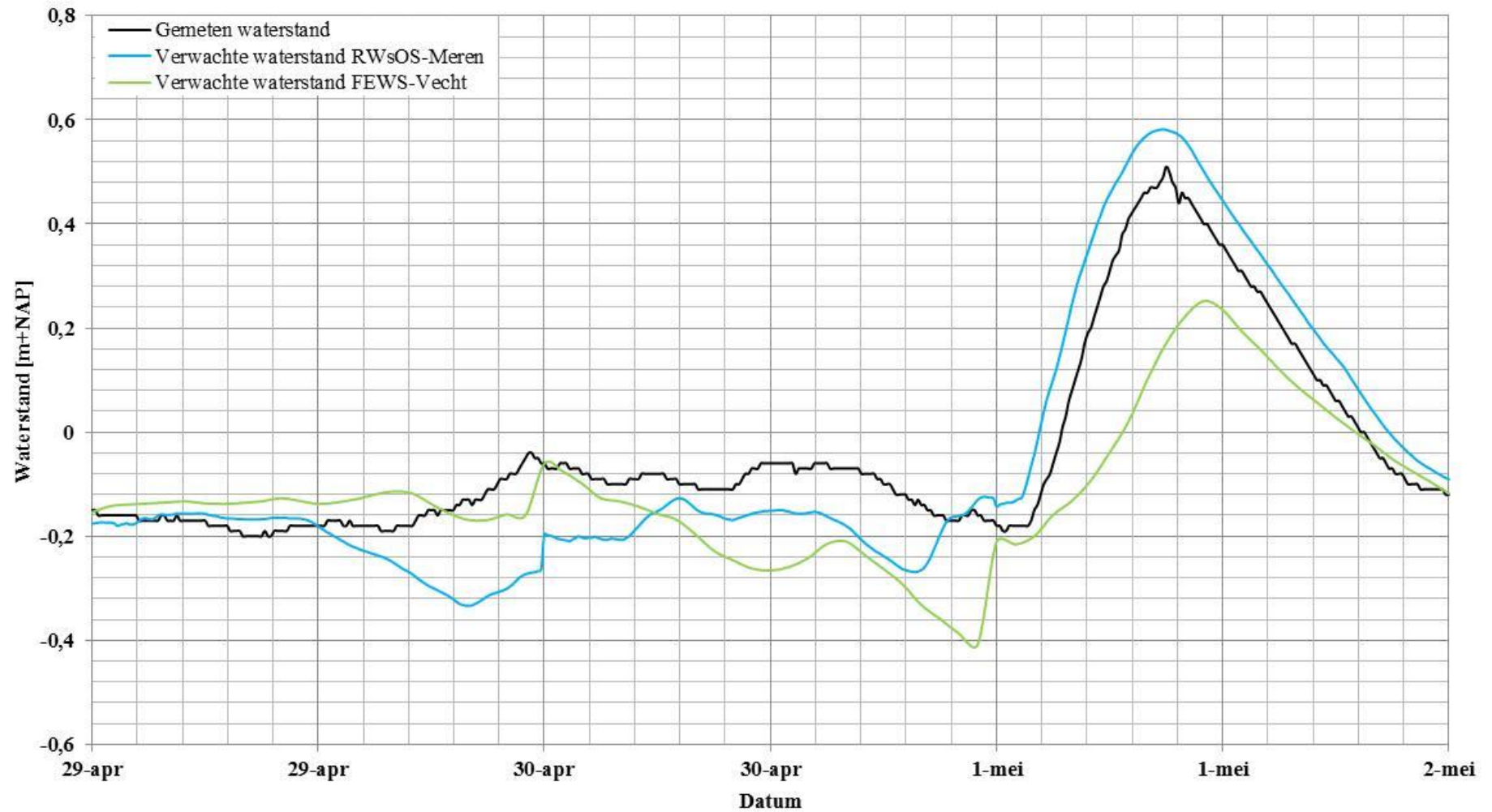
Figuur 66 Gemeten en verwachte waterstanden bij Vechterweerd, over de periode 29 april tot 2 mei 2018

Waterstand Mond der Vecht



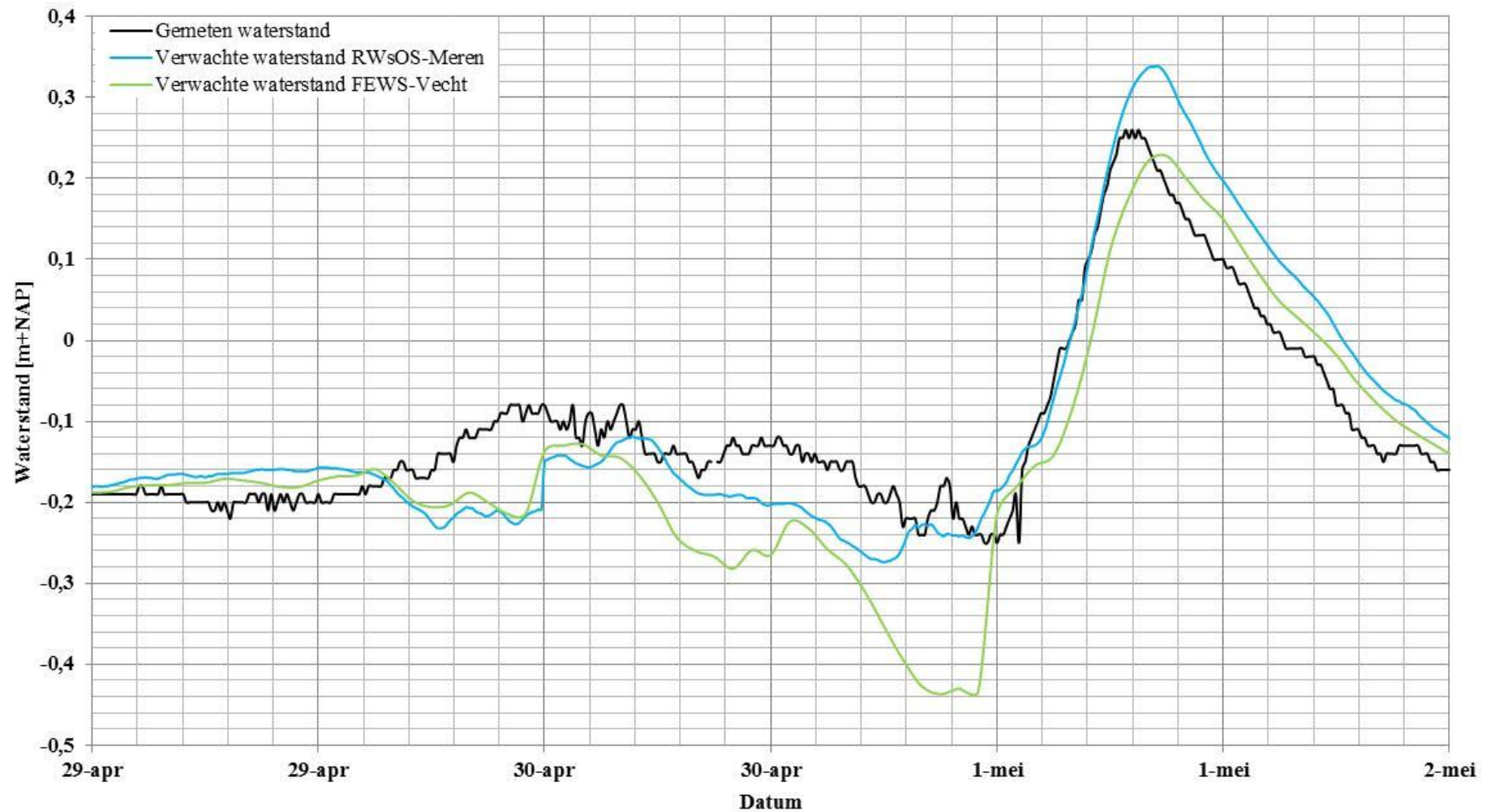
Figuur 67 Gemeten en verwachte waterstanden bij Mond der Vecht, over de periode 29 april tot 2 mei 2018

Waterstanden Zwartsluis



Figuur 68 Gemeten en verwachte waterstanden bij Zwartsluis, over de periode 29 april tot 2 mei 2018

Waterstand Ramspolbrug



Figuur 69 Gemeten en verwachte waterstanden bij Ramspolbrug, over de periode 29 april tot 2 mei 2018

Bijlage D.7 Uitgesloten periodes

Aan de hand van de figuren in Bijlage D.1 tot en met Bijlage D.6 zijn per locatie een aantal periodes uitgesloten. Het gaat hierbij om de volgende periodes per locatie.

7.1. Vechterweerd

1 januari tot 9 januari

Zoals in Figuur 46, Bijlage D.1, te zien is, maken beide verwachtingen sprongen gedurende deze periode. Deze sprongen vinden elke dag plaats om 00.00 uur. De sprongen worden veroorzaakt door het gebruik van meerdere verwachtingen in één figuur, waardoor een variërende voorspelhorizon ontstaat. Om de modelsystemen eerlijk te kunnen vergelijken, is voor elke dag in een periode de verwachting van die dag 00.00 uur gebruikt. Aangezien de verwachting van FEWS-Vecht door middel van data-assimilatie met de werkelijke waarde start, zal elke dag om 00.00 uur de verwachting gelijk zijn aan de gemeten waterstand. Bij RWsOS-Meren wordt de verwachting gestart vanuit een hindcast. Deze hindcast hoeft niet gelijk te zijn aan de gemeten waterstand, maar zal wel dicht bij de gemeten waterstand liggen dan de verwachting. Hierdoor maakt ook de verwachting van RWsOS-Meren elke dag om 00.00 uur een sprong. Aangezien de sprongen van beide modelsystemen gedurende deze periode relatief groot zijn, is het lastig de modellen te vergelijken. Daarom is deze periode bij Vechterweerd uitgesloten.

17 januari tot 21 januari

Gedurende deze periode zijn in Figuur 50, Bijlage D.2, een aantal sprongen te zien. Hierdoor is het beeld van de verwachtingen niet duidelijk en is het lastig deze te vergelijken. Daarom is deze periode uitgesloten.

27 januari tot 6 februari

Zoals in Figuur 54, Bijlage D.3, te zien is, zijn in deze periode sprongen te zien. Deze sprongen zijn echter een stuk kleiner dan de voorgaande periodes, waardoor deze periode wel gebruikt kan worden in het onderzoek.

10 februari tot 15 februari

Gedurende deze periode zijn in Figuur 58, Bijlage D.4 een aantal sprongen te zien in de verwachting van RWsOS-Meren. Deze sprongen beïnvloeden echter alleen de verwachtingen rond 00.00 uur. De verwachtingen tussen deze punten worden niet beïnvloed door de sprongen, en lijken hierdoor betrouwbaar. Deze periode wordt wel gebruikt voor het onderzoek, maar de betrouwbaarheid wordt in acht genomen.

4 april tot 7 april

Hetzelfde wat voor de periode 10 februari tot 15 februari geldt, geldt hier ook. In Figuur 62, Bijlage D.5 zijn weer sprongen bij RWsOS-Meren te zien, maar deze lijken de betrouwbaarheid van de overige verwachtingen niet te beïnvloeden. Om deze reden wordt deze periode gebruikt bij het onderzoek.

29 april tot 2 mei

Hoewel de verwachtingen gedurende deze periode, zoals te zien in Figuur 66, Bijlage D.6, wel afwijken van de gemeten waterstanden, zijn in deze periode weinig duidelijke sprongen te zien. Deze periode wordt hierom gebruikt bij het onderzoek.

7.2. Mond der Vecht

1 januari tot 9 januari

In Figuur 47, Bijlage D.1, zijn de verwachtingen en gemeten waterstanden van deze periode weergegeven. Zoals in deze figuur te zien is, zijn vanaf 6 januari weer een aantal sprongen te zien. Deze sprongen zijn echter niet groot en enigszins te negeren. Deze periode zal hierdoor wel gebruikt worden bij het onderzoek.

17 januari tot 21 januari

Hoewel in deze periode, zoals te zien in Figuur 51, Bijlage D.2, een aantal sprongen te zien zijn, kan deze periode wel gebruikt worden bij het onderzoek. De sprongen zijn namelijk niet dermate groot dat zij veel invloed hebben op de betrouwbaarheid van de rest van de verwachtingen.

27 januari tot 6 februari

Zoals in Figuur 55, Bijlage D.3, te zien is, zijn in deze periode weinig sprongen te zien. Deze periode is daarom geschikt voor het onderzoek.

10 februari tot 15 februari

In deze periode zijn weinig tot geen sprongen te zien in de verwachtingen. Dit is weergegeven in Figuur 59, Bijlage D.4. Deze periode wordt dus gebruikt voor het onderzoek.

4 april tot 7 april

In deze periode zijn vrijwel geen sprongen te zien, zoals weergegeven in Figuur 63, Bijlage D.5. Deze periode wordt gebruikt voor het onderzoek.

29 april tot 2 mei

In deze periode zijn bij RWsOS-Meren twee sprongen te zien, bij FEWS-Vecht één. Deze sprongen beïnvloeden echter de overige verwachtingen niet, de periode wordt dus wel gebruikt voor het onderzoek. De grafiek van deze periode is weergegeven in Figuur 67, Bijlage D.6.

7.3. Zwartsluis

1 januari tot 9 januari

In deze periode zijn bij Zwartsluis, in Figuur 48, Bijlage D.1, vanaf 6 januari een aantal sprongen te zien. Dit is vooral te zien bij de verwachtingen van FEWS-Vecht. Voor de overige verwachtingen vormen de sprongen geen beperking, de periode wordt hierdoor wel gebruikt voor het onderzoek.

17 januari tot 21 januari

In deze periode zijn slechts twee sprongen te zien. Deze sprongen hebben echter geen invloed op de overige verwachtingen. De periode wordt dus wel gebruikt voor het onderzoek. De grafiek van deze periode is weergegeven in Figuur 52, Bijlage D.2.

27 januari tot 6 februari

Zoals in Figuur 56, Bijlage D.3, te zien is, zijn in deze periode weinig sprongen te zien. Deze periode is daarom geschikt voor het onderzoek.

10 februari tot 15 februari

In deze periode zijn weinig sprongen te zien. In de verwachtingen van FEWS-Vecht zijn, zoals te zien in Figuur 60, Bijlage D.4, op 13 en 14 februari een paar kleine sprongen te zien. Deze hebben echter geen invloed op de rest van de verwachtingen. Deze periode wordt daarom gebruikt bij het onderzoek.

4 april tot 7 april

In deze periode zijn, zoals weergegeven in Figuur 64, Bijlage D.5, weinig sprongen te zien in de verwachtingen. Deze periode wordt dus gebruikt bij het onderzoek.

29 april tot 2 mei

Zoals in Figuur 68, Bijlage D.6, te zien is, zijn er een aantal sprongen in deze periode. Deze sprongen beïnvloeden echter de rest van de verwachtingen niet. De periode wordt daarom wel gebruikt voor het onderzoek.

7.4. Ramspolbrug

1 januari tot 9 januari

Zoals in Figuur 49, Bijlage D.1, is weergegeven, zijn er van FEWS-Vecht geen verwachtingen beschikbaar tot 8 januari. Deze periode wordt hierom niet gebruikt in dit onderzoek.

17 januari tot 21 januari

Deze periode heeft, zoals te zien is in Figuur 53, Bijlage D.2, weinig duidelijke sprongen van verwachtingen. Daarom wordt deze periode gebruikt voor het onderzoek.

27 januari tot 6 februari

Er zijn gedurende deze periode weinig sprongen te zien in Figuur 57, Bijlage D.3. Deze periode is daarom geschikt voor het onderzoek.

10 februari tot 15 februari

In deze periode zijn weinig sprongen te zien in de verwachtingen. Dit is weergegeven in Figuur 61, Bijlage D.4. De periode wordt daarom gebruikt voor het onderzoek.

4 april tot 7 april

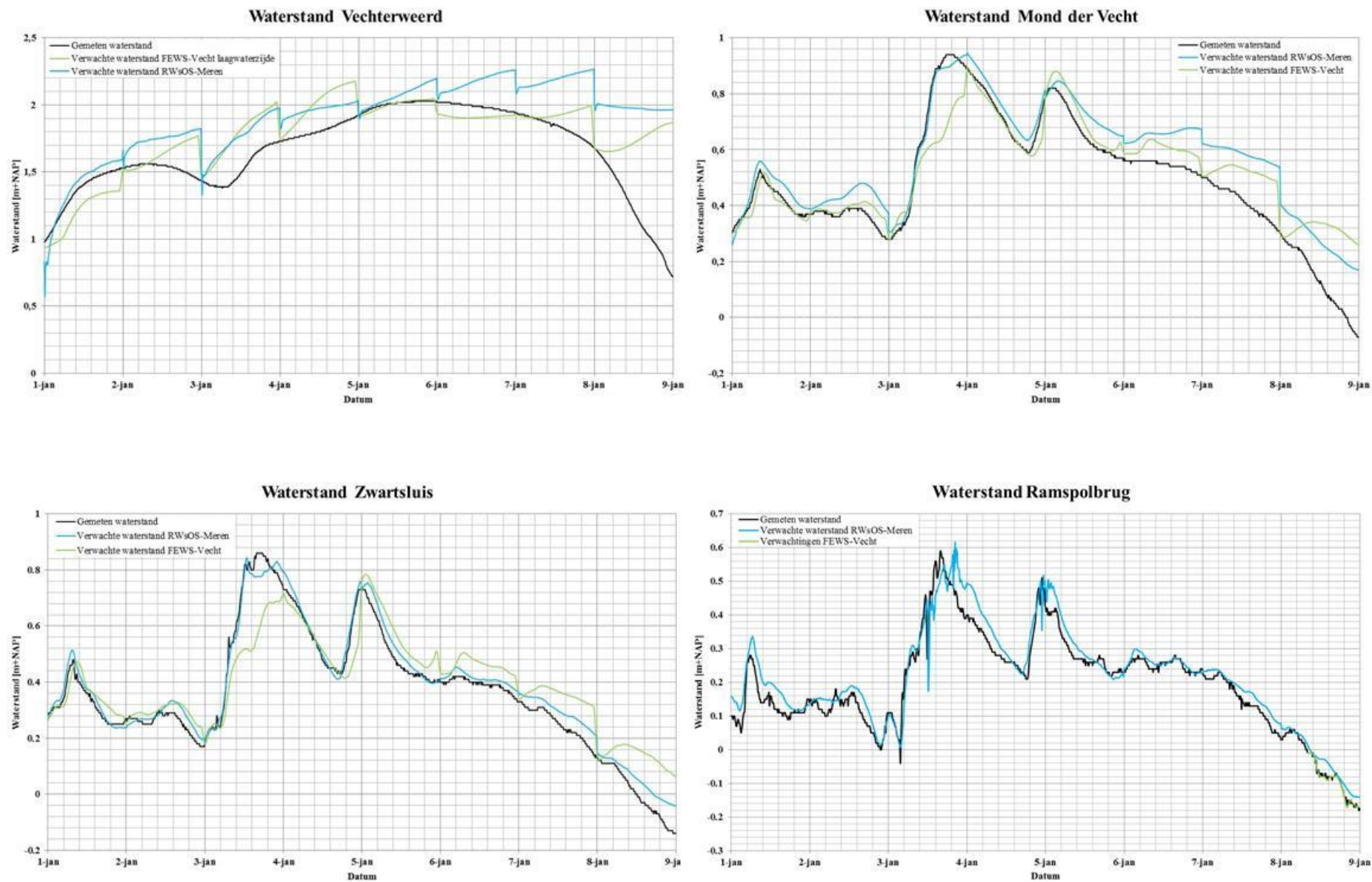
In deze periode zijn weer weinig tot geen sprongen te zien, zoals te zien is in Figuur D.5, Figuur 65. Om deze reden wordt deze periode gebruikt in het onderzoek.

29 april tot 2 mei

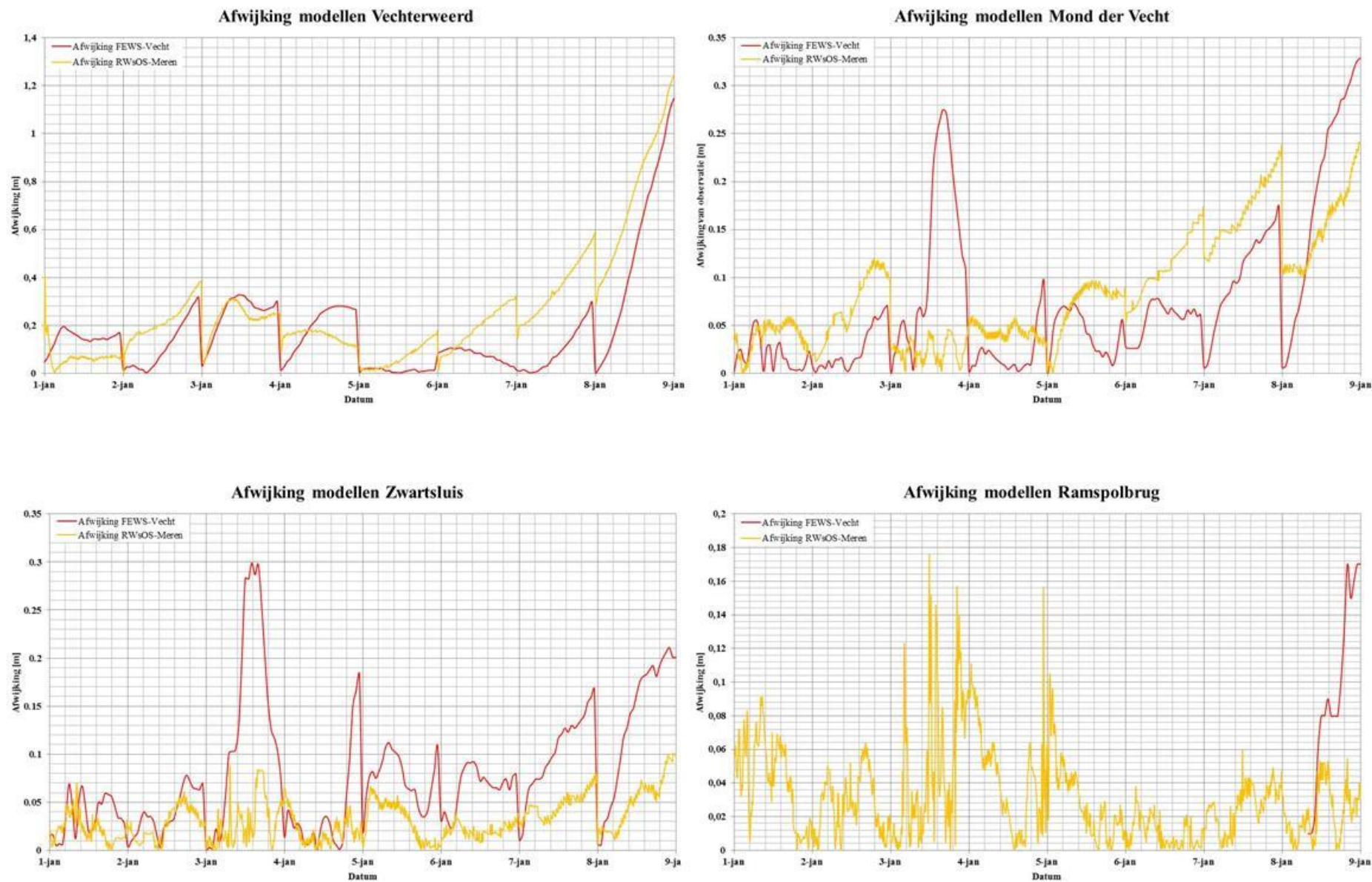
Gedurende deze periode zijn bij de verwachtingen in Figuur 69, Bijlage D.6, twee sprongen te zien, deze beïnvloeden echter de overige verwachtingen niet. Om deze reden wordt deze periode gebruikt in het onderzoek.

Bijlage E Analyse afwijkingen

Op de momenten dat de afwijking tussen de modellen, of de afwijking van één model ten opzichte van de gemeten waterstand, meer dan 10 centimeter is, wordt dit moment een focusgebied genoemd. Vervolgens wordt per focusgebied het verschil aangeduid, en wordt een oorzaak voor dit verschil gezocht. Per periode worden eerst de grafieken weergegeven met de verwachte en gemeten waterstanden, en de afwijkingen.



Figuur 70 Verwachtingen bij de locaties Vechterweerd, Mond der Vecht, Zwartsluis en Ramspolbrug, over de periode 1 januari tot 9 januari 2018



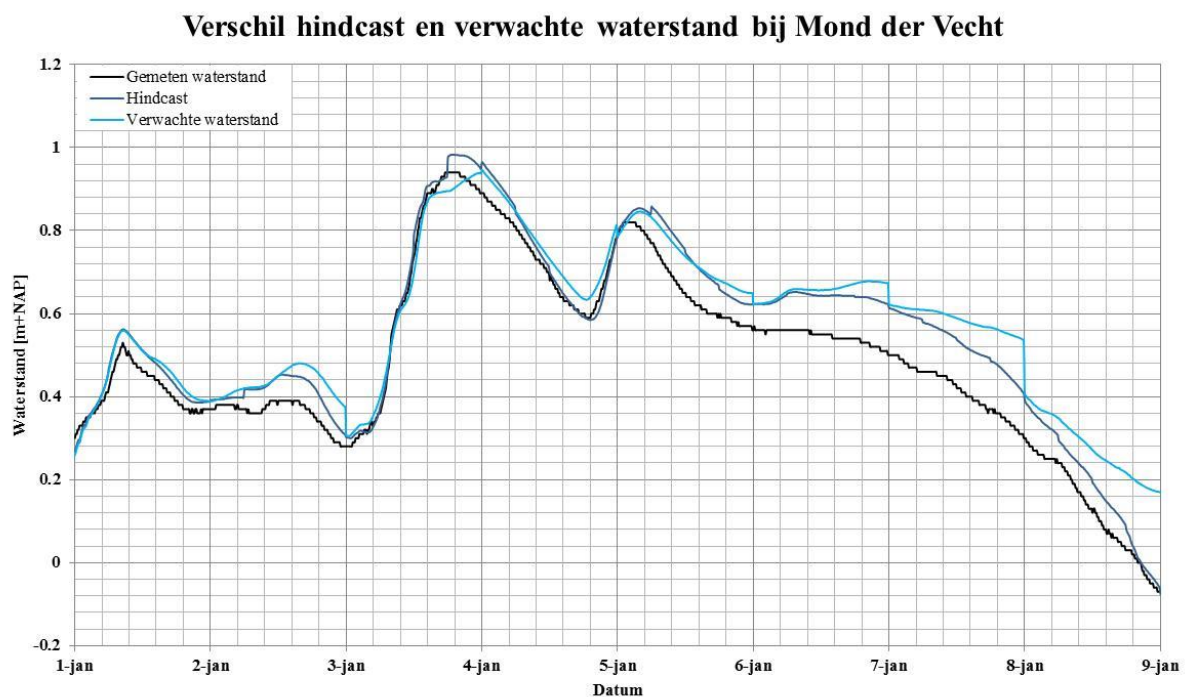
Figuur 71 Afwijkingen bij de locaties Vechterweerd, Mond der Vecht, Zwartsluis en Ramspolbrug, over de periode 1 januari tot 9 januari 2018

1.1. Periode 1 – 1 januari tot 9 januari 2018

Vechterweerd wordt grotendeels beïnvloed door de afvoer. De overige locaties ondervinden een invloed van de windopzet. Voor deze periode wordt alleen naar de locaties Mond der Vecht en Zwartsluis gekeken. Bij deze twee locaties worden de belangrijkste afwijkingen genoemd. De grafieken met hierin de verwachtingen per locatie zijn te zien in Figuur 70. De grafieken met hierin de afwijkingen per locatie zijn te zien in Figuur 71.

1.1.1. 2 januari 16.00 uur – 3 januari 00.00 uur

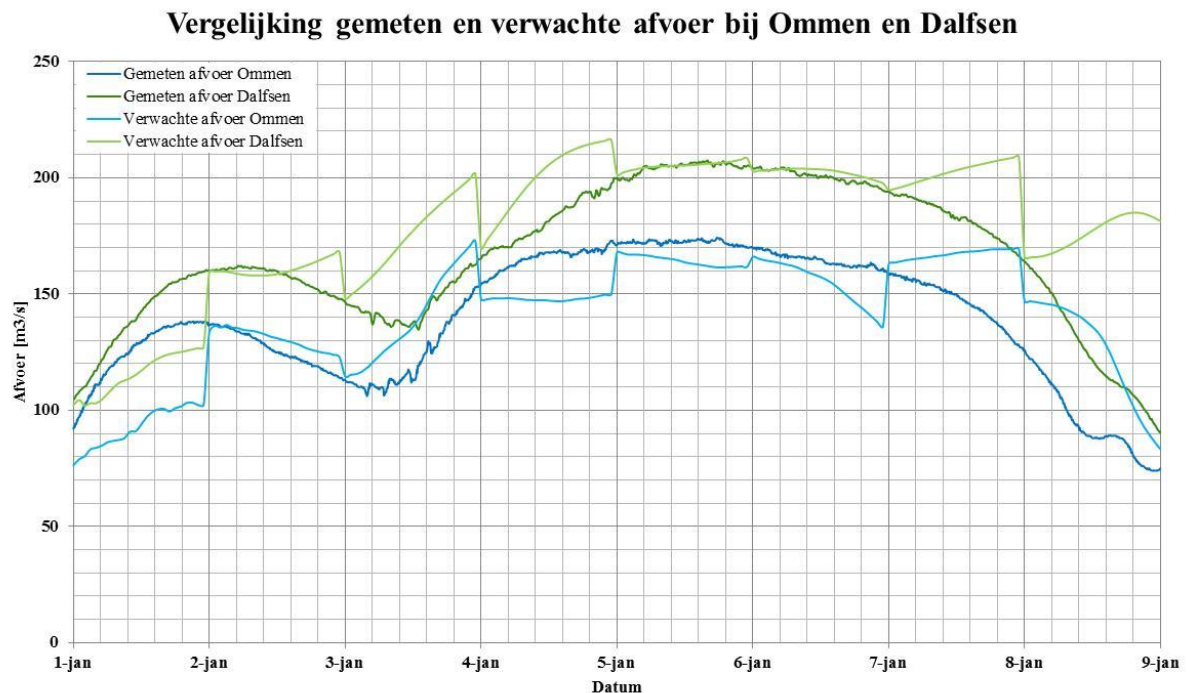
Gedurende deze korte periode is bij Zwartsluis geen afwijking groter dan tien centimeter te zien. Bij Mond der Vecht is de afwijking van RWsOS-Meren 12 centimeter. De afwijking van FEWS-Vecht wordt hier maximaal 7 centimeter. Het verschil tussen de verwachtingen zelf is dus klein. Echter, aangezien de afwijking van RWsOS-Meren ten opzichte van de gemeten waterstanden wel meer dan tien centimeter is, wordt toch naar de oorzaak hiervan gekeken. Zoals uit Figuur 47, Bijlage D.1, op te maken is, is gedurende deze periode de verwachting van RWsOS-Meren te hoog. Zoals in Figuur 18, Bijlage C.1, te zien is, en eerder al genoemd is, nam de wind op 2 januari toe tot 12,5 m/s. Echter, op hetzelfde moment nam de afvoer af. Om te kijken of de verwachtingen, die als input voor het model gebruikt worden, juist waren, wordt de verwachte afvoer vergeleken met de gemeten afvoer, en worden de hindcastresultaten vergeleken met de verwachtingen van RWsOS-Meren.



Figuur 72 Verschil tussen de hindcast en de verwachting van RWsOS-Meren bij Mond der Vecht, over de periode 1 januari tot 9 januari 2018

Om het verschil van RWsOS-Meren te verklaren, wordt eerst gekeken naar de hindcast van deze periode bij Mond der Vecht. In Figuur 72 is te zien dat de hindcast iets lager is dan de verwachting, dit scheelt enkele centimeters. De afwijking van de hindcast ten opzichte van de gemeten waterstanden is minder dan tien centimeter.

Ook is gekeken naar het verschil tussen de verwachte en gemeten afvoer bij Ommen. De verwachte afvoer bij Ommen vormt een randvoorwaarde voor RWsOS-Meren. In Figuur 73 is te zien dat de afvoerverwachting hoger is dan de gemeten afvoer.

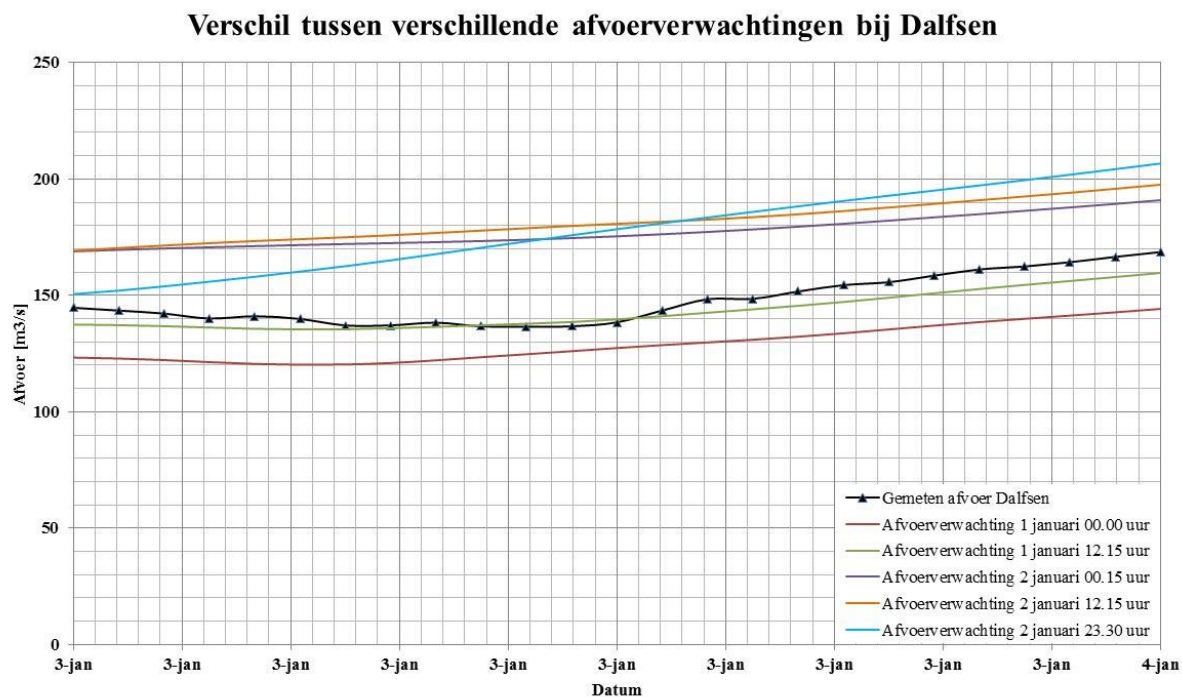


Figuur 73 Vergelijking van de gemeten en verwachte afvoer bij Ommen en Dalfsen, over de periode 1 januari tot 9 januari 2018

Het verschil van RWsOS-Meren wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de te hoge wind- en/of afvoerverwachtingen.

1.1.2. 3 januari 07.00 uur – 4 januari 00.00 uur

Bij beide locaties heeft FEWS-Vecht op 3 januari een grote afwijking. Deze afwijking bedraagt 27 tot 30 centimeter, waar de afwijking van RWsOS-Meren slechts 4 tot 9 centimeter is. In Figuur 70 is te zien dat de verwachting van FEWS-Vecht op 3 januari te laag is. Eerst stijgt de verwachting op dezelfde wijze als de gemeten waterstand, echter, de stijging vlakt even af voor deze verdergaat. Dit kan veroorzaakt worden door de afnemende afvoer. Op 3 januari is, zoals weergegeven in Figuur 16, Bijlage C.1, een dal in de afvoer te zien. Om te kijken of dit dal verwacht is, wordt de gemeten afvoer bij Dalfsen vergeleken met de verwachte afvoer bij Dalfsen. Deze twee afvoeren zijn weergegeven in Figuur 73. Zoals te zien is in deze figuur, is de verwachte afvoer bij Dalfsen te hoog ingeschat op 3 januari. Het dal wordt niet verwacht. Echter, een te hoge afvoerverwachting zou juist een verklaring zijn voor een te hoge waterstandsverwachting, niet voor een te lage. Voor de vergelijking is gebruik gemaakt van de afvoerverwachting op 2 januari om 23.30 uur. Echter, het is onbekend of dit de afvoerverwachting is die gebruikt is voor de waterstandsverwachting. Om de invloed hiervan te onderzoeken, zijn de afvoerverwachtingen van 1 januari 00.00 uur, 1 januari 12.15 uur, 2 januari 00.15 uur, en 2 januari 12.15 uur vergeleken. Deze zijn weergegeven in Figuur 74. Hieruit blijkt dat dit een grote invloed kan hebben. De verwachting van 1 januari 00.00 uur is lager dan de gemeten afvoer, terwijl de afvoerverwachtingen van 2 januari tot 40 m³/s hoger zijn dan de gemeten afvoer.



Figuur 74 Verschil tussen verschillende afvoerverwachtingen bij Dalfsen, op 3 januari 2018

Een andere verklaring voor de te lage waterstandsverwachtingen kan zijn dat de windopzet niet voldoende meegerekend wordt. De wind bereikt een pieksnelheid van 21 m/s. Deze westelijke wind zorgt voor een windopzet op het IJsselmeer, het Zwarte Meer, en het Zwarte Water. Dit is de meest waarschijnlijke verklaring, aangezien de te hoge of te lage afvoerverwachting eveneens een grote invloed op de verwachting van RWsOS-Meren zou hebben.

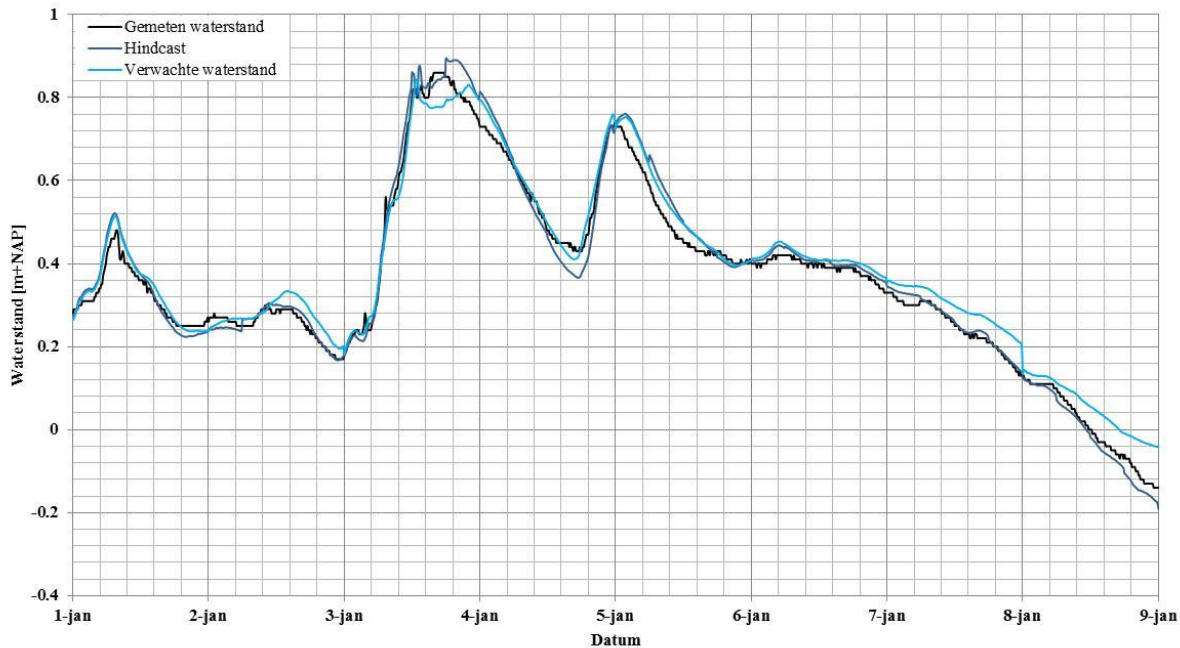
1.1.3. 6 januari 09.00 uur – 9 januari 00.00 uur

Aan het einde van de gehele periode, vanaf 6 januari, zijn meer sprongen te zien dan in het begin. Verder valt op dat beide verwachtingen steeds meer afwijken van de gemeten waterstanden. Vanwege de sprongen is een conclusie op dit vlak slecht te trekken bij Mond der Vecht. Bij Zwartsluis is een conclusie gemakkelijker te trekken. FEWS-Vecht geeft hier een hogere verwachting dan RWsOS-Meren, en heeft een afwijking van de gemeten waterstanden die meer bedraagt dan 10 centimeter. Het verschil tussen de beide verwachtingen is meer dan 10 centimeter.

Gedurende deze periode neemt de afvoer steeds verder af. De windsnelheid blijft redelijk constant, echter de windrichting verandert. Aangezien de wind eerst uit het zuidwesten, en vervolgens uit het noorden kwam, was er sprake van een windopzet. Echter, op 6 januari draaide de wind naar het oosten, waardoor deze windopzet afnam. Deze afnemende windopzet zorgde voor dalende waterstanden.

Zoals in Figuur 73 te zien is, is de afvoerverwachting vanaf 7 januari bij zowel Ommen als Dalfsen te hoog. De afvoerverwachting bij Genemuiden is pas vanaf 8 januari te hoog. In Figuur 75 is te zien dat ook de hindcast van RWsOS-Meren te hoog is, maar lager is dan de verwachting. De afwijkingen worden waarschijnlijk dus veroorzaakt door een combinatie van een te hoge windverwachting en een te hoge afvoerverwachting. Een duidelijke conclusie is echter lastig te trekken, aangezien er veel sprongen in deze periode voorkomen.

Vershil hindcast en verwachte waterstand bij Zwartsluis

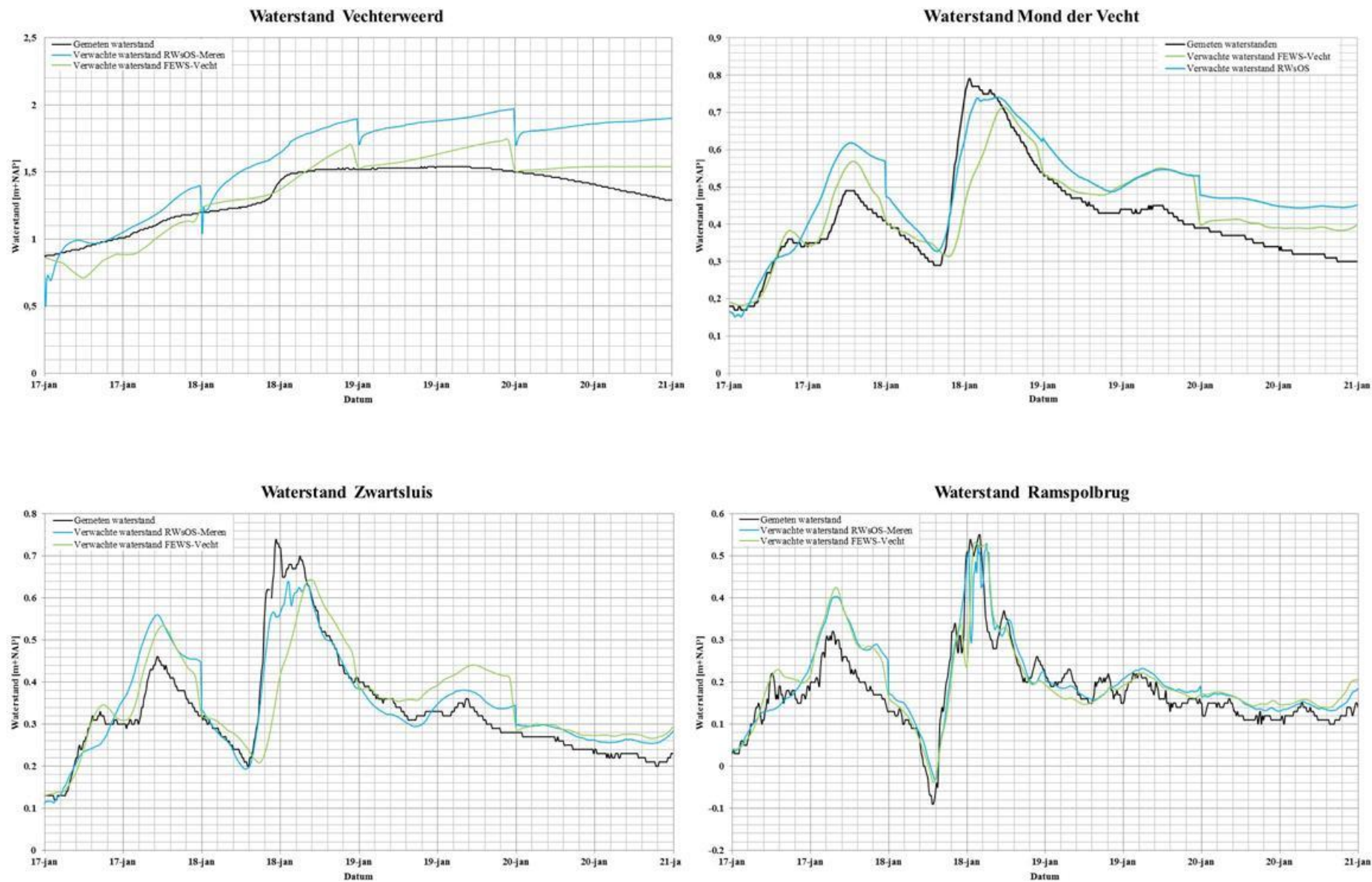


Figuur 75 Verschil tussen de hindcast en de verwachting van RWsOS-Meren bij Zwartsluis, over de periode 1 januari tot 9 januari 2018

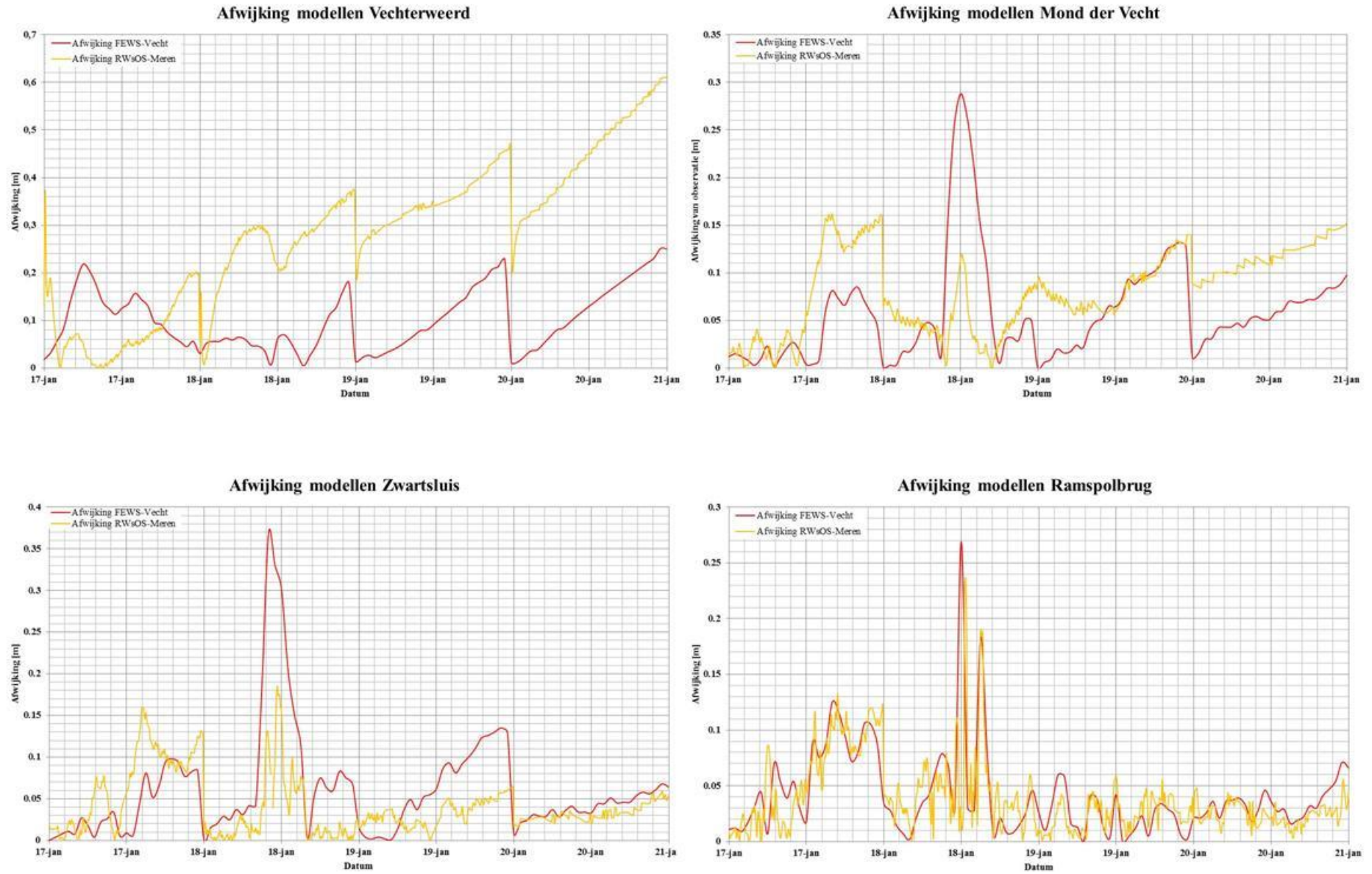
1.1.4. Conclusie

In deze periode worden de waterstanden bij Vechterweerd voornamelijk bepaald door de afvoer. De waterstanden op de overige locaties worden beïnvloed door de windopzet. Er is in deze periode alleen gekeken naar de locaties Mond der Vecht en Zwartsluis. De verwachtingen bij Vechterweerd maken veel sprongen, waardoor deze lastig te vergelijken zijn. Bij de Ramspolbrug is pas vanaf 8 januari data van FEWS-Vecht beschikbaar.

Gedurende deze periode treden de grootste afwijkingen op bij FEWS-Vecht. RWsOS-Meren geeft over het algemeen een kleinere afwijking bij de twee locaties. Er kan dus gesteld worden dat in deze periode RWsOS-Meren bruikbaar is dan FEWS-Vecht. Hierbij moet rekening gehouden worden met het feit dat alleen naar de locaties Mond der Vecht en Zwartsluis gekeken is. Deze beide locaties liggen binnen het bereik van de windopzet. Hoe de situatie bij Vechterweerd is, is niet duidelijk.



Figuur 76 Verwachtingen bij de locaties Vechterweerd, Mond der Vecht, Zwartsluis en Ramspolbrug, over de periode 17 januari tot 21 januari 2018



Figuur 77 Afwijkingen bij de locaties Vechterweerd, Mond der Vecht, Zwartsluis en Ramspolbrug, over de periode 17 januari tot 21 januari 2018

1.2. Periode 2: 17 januari – 21 januari 2018

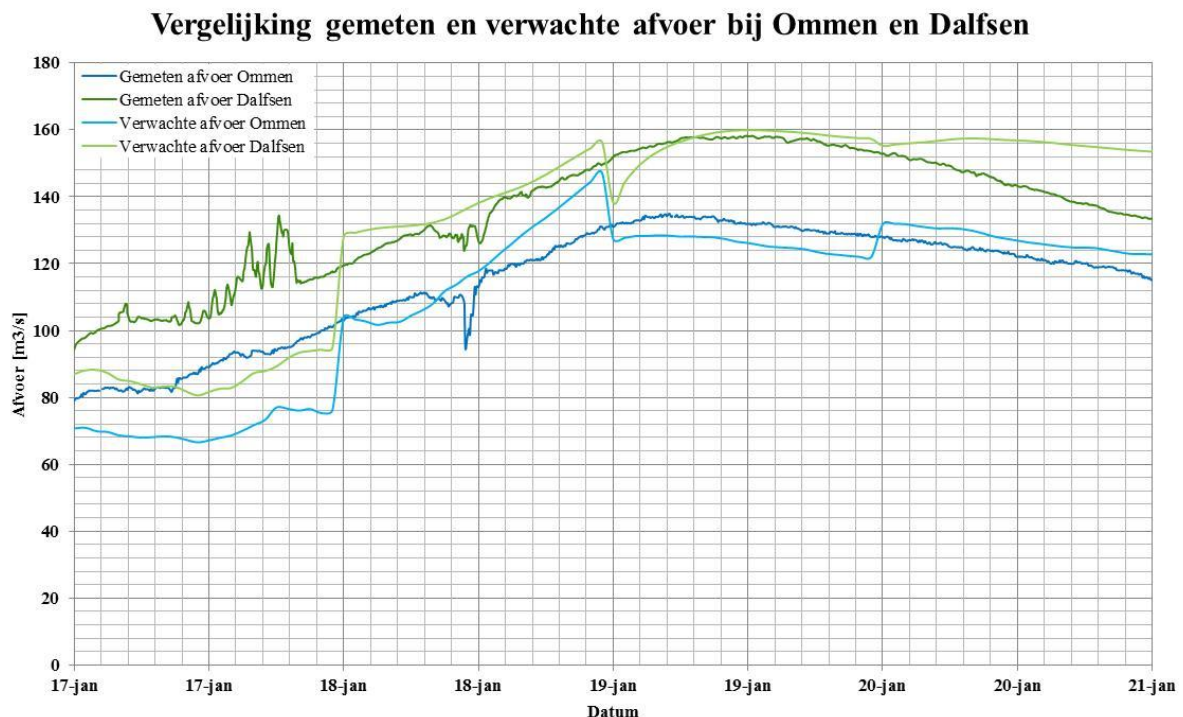
Gedurende deze periode ondervindt Vechterweerd voornamelijk invloed van de afvoer. Echter, op 18 januari is in Figuur 22, Bijlage C.1, een piek te zien, veroorzaakt door de windopzet. De overige locaties worden beïnvloed door de windopzet. De grafieken met hierin de verwachtingen per locatie zijn te vinden in Figuur 76. De grafieken met hierin de afwijkingen per locatie zijn te vinden in Figuur 77.

1.2.1. 17 januari 13.00 uur – 18 januari 00.00 uur

Gedurende deze periode heeft RWsOS-Meren de grootste afwijking. Dit is te zien in Figuur 77. Slechts bij de Ramspolbrug is de afwijking van FEWS-Vecht meer dan 10 centimeter, namelijk 13 centimeter. Vooral bij Mond der Vecht is een groot verschil tussen de twee verwachtingen te zien. Hier is de afwijking van RWsOS-Meren 16 centimeter, terwijl de afwijking van FEWS-Vecht nog geen 9 centimeter is. Bij Zwartsluis is de afwijking van RWsOS-Meren 16 centimeter, de afwijking van FEWS-Vecht is hier 10 centimeter.

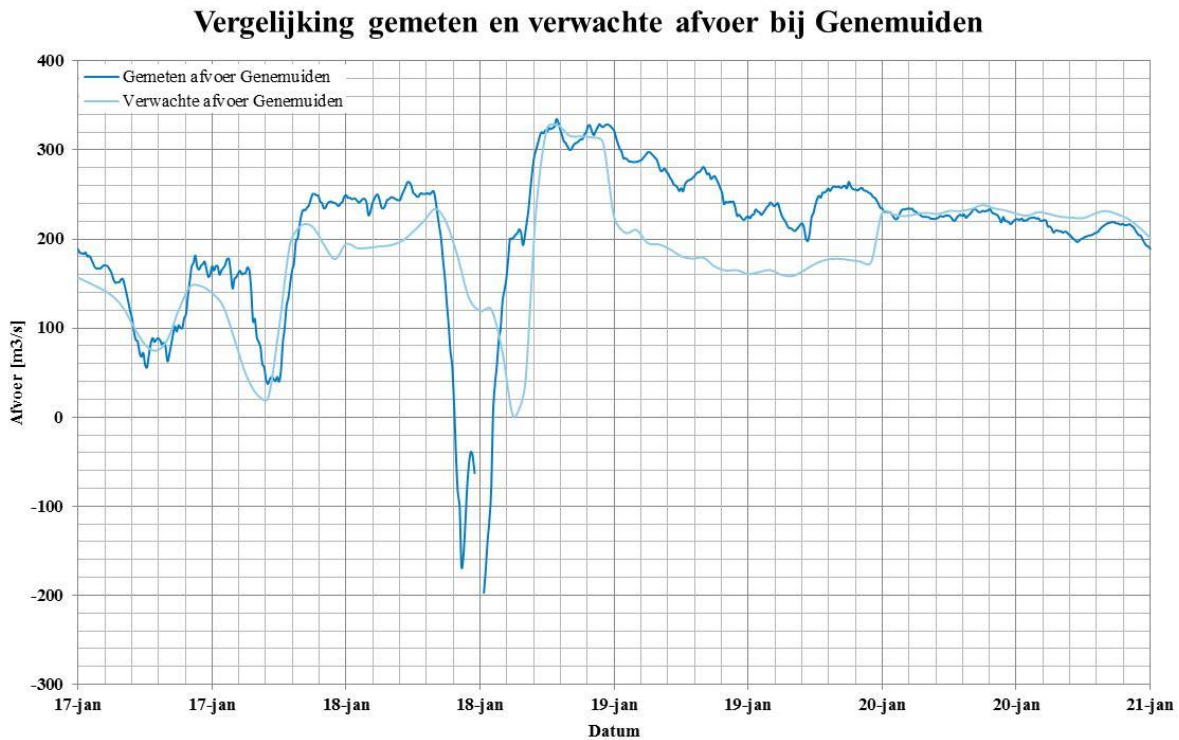
De verwachting van RWsOS-Meren is bij Mond der Vecht te hoog. De wind nam op dat moment af, zoals te zien is in Figuur 22, Bijlage C.1, en draaide naar het zuidwesten, zoals te zien is in Figuur 23, Bijlage C.1, terwijl de afvoer sterke fluctuaties ondervond (zie Figuur 20, Bijlage C.1). De verwachting van FEWS-Vecht is eveneens aan de hoge kant.

Wanneer gekeken wordt naar de windsnelheid, windrichting en afvoer, is een verklaring voor de te hoge verwachtingen lastig te vinden. Het meest waarschijnlijk is dat de oorzaak te vinden is in de onderliggende modellen. Om dit te controleren, wordt de verwachte afvoer bij Dalfsen en Genemuiden vergeleken met de gemeten afvoeren. Ook wordt de hindcast van RWsOS-Meren vergeleken met de verwachting, omdat hierbij de windverwachting gecontroleerd kan worden.



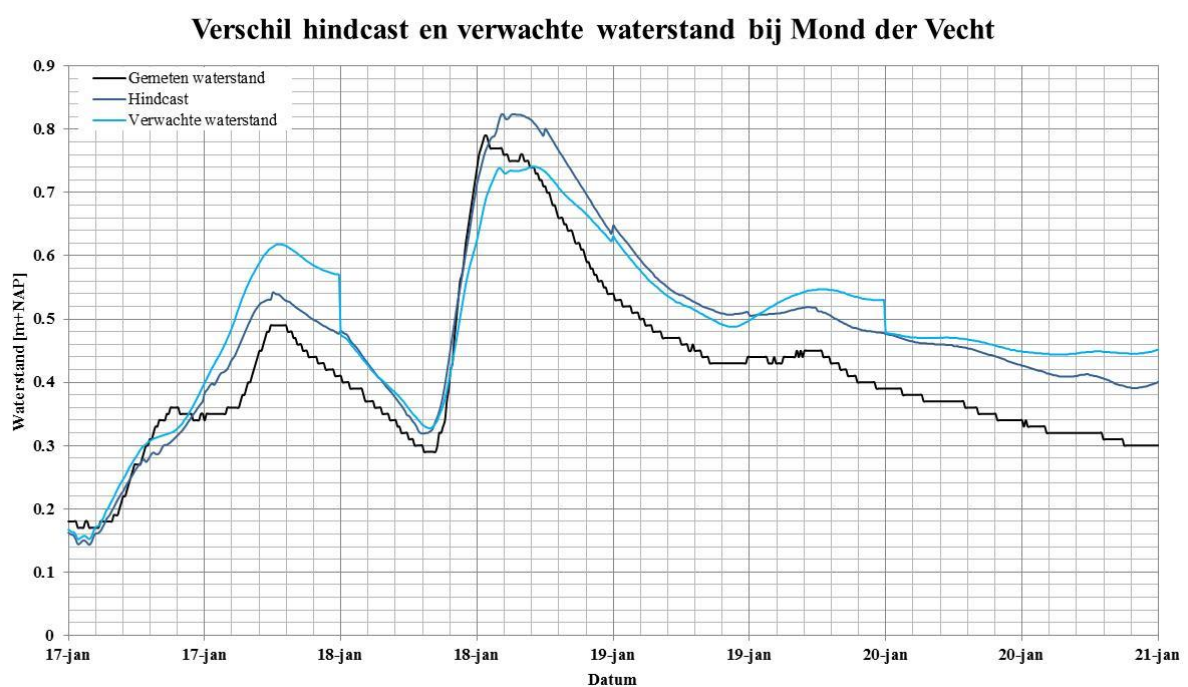
Figuur 78 Vergelijking van de gemeten en verwachte afvoer bij Ommen en Dalfsen, over de periode 17 januari tot 21 januari 2018

In Figuur 78 en Figuur 79 zijn de gemeten en verwachte afvoeren bij Ommen, Dalfsen en Genemuiden, te vinden. Hieruit blijkt dat op beide locaties de verwachte afvoer niet veel van de gemeten afvoer afwijkt, en vaak lager is. Hierbij zou de verwachting juist zijn dat de verwachte waterstanden lager zijn dan de gemeten waterstanden. De afwijking van de afvoerwachting is waarschijnlijk niet de oorzaak van de afwijking van de waterstandsverwachting.



Figuur 79 Vergelijking van de gemeten en verwachte afvoer bij Genemuiden, over de periode 17 januari tot 21 januari 2018

Aangezien het verschil tussen de twee modellen het grootste is bij Mond der Vecht, wordt op deze locatie de hindcast met de verwachting vergeleken. Wanneer gekeken wordt naar de verschillen tussen de hindcast en de verwachting van RWsOS-Meren, weergegeven Figuur 80, is te zien dat de hindcast op 17 januari hoger is dan de gemeten waterstand.



Figuur 80 Verschil tussen de hindcast en de verwachting van RWsOS-Meren bij Mond der Vecht, over de periode 17 januari tot 21 januari 2018

Echter, de hindcast is aanzienlijk lager dan de verwachting, en verschilt slechts maximaal tien centimeter met de gemeten waterstand. Dit is een aanwijzing dat één van de onderliggende modellen van RWsOS-Meren misschien een fout bevat, of dat de windverwachting onjuist was. Dit heeft invloed op de verwachting van FEWS-Vecht, omdat deze als randvoorwaarde de verwachte windopzet bij de Ramspolbrug heeft.

1.2.2. 18 januari 10.00 uur – 18 januari 17.00 uur

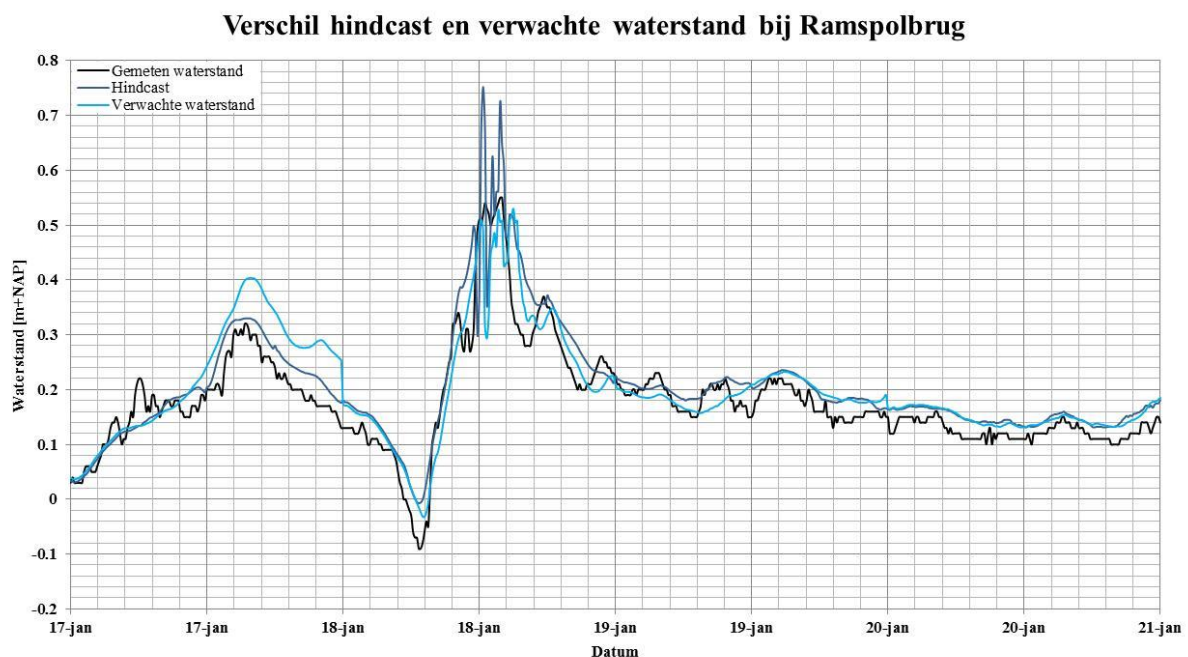
Gedurende deze periode heeft op elke locatie FEWS-Vecht de grootste afwijking. RWsOS-Meren heeft ook een afwijking van meer dan 10 centimeter, maar deze is vrijwel altijd meer dan tien centimeter minder dan de afwijking van FEWS-Vecht. Bij Mond der Vecht is de afwijking van FEWS-Vecht 29 centimeter, de afwijking van RWsOS-Meren is hier 12 centimeter. Bij Zwartsluis is dit respectievelijk 37 en 18 centimeter. Bij de Ramspolbrug zijn twee pieken in afwijking te zien in Figuur 76, deze bedragen voor FEWS-Vecht 27 en 18 centimeter, en voor RWsOS-Meren 24 en 19 centimeter.

De afwijkingen van FEWS-Vecht bij Mond der Vecht en Zwartsluis worden waarschijnlijk veroorzaakt door de sterk toenemende wind. Op 18 januari tussen 10.00 uur en 11.30 uur vond een zware noordwesterstorm plaats (Watermanagementcentrum Nederland, 2018). Hierbij is de Ramspolkering gesloten geweest.

Aangezien FEWS-Vecht de windopzet slechts als randvoorwaarde meeneemt, reageert deze minder op de noordwesterstorm. Zeker verder bovenstrooms, zoals bij Mond der Vecht en Zwartsluis, kan het verschil tussen de modellen groot worden. De waterstandsverwachting van FEWS-Vecht is wel gestegen, maar niet snel genoeg om de piek te halen die is opgetreden.

Voor de verwachting van RWsOS-Meren geldt dat deze niet de piek behaalt, maar het verschil met de gemeten waterstanden is een stuk kleiner. Het verschil zou veroorzaakt kunnen worden door de grote hoeveelheid neerslag die op 18 januari is gevallen. Hierdoor bereikt de afvoer van de lateralen een piek op 18 januari, vrijwel gelijk met de piek van de windsnelheid. Zie hiervoor Figuur 22, Bijlage C.1 en Figuur 41, Bijlage C.2.

Bij de Ramspolbrug speelt de sluiting van de balgstuw een rol. Op het moment dat de kering sluit, zakt de verwachte waterstand van RWsOS-Meren. Dit zou te maken kunnen hebben met de ingestelde waarden in het model. Het sluiten van de kering zorgt ervoor dat de waterstand inderdaad iets daalt, omdat de windopzet vanuit het IJsselmeer tegengehouden wordt. Echter, het Zwarte Meer vult snel



Figuur 81 Vershil tussen de hindcast en verwachte waterstand bij Ramspolbrug van RWsOS-Meren, over de periode 17 januari tot 21 januari 2018

weer op met de afvoer vanuit het Zwarte Water. Hierdoor zakt de waterstand niet meer dan een paar centimeter, waarna deze vervolgens weer stijgt. Er is een kans dat dit in het model anders ingeregeld is, hierdoor zou de eerste piek van de afwijking van RWsOS-Meren kunnen ontstaan. De tweede piek in de afwijking zou ontstaan kunnen zijn door het openen van de Ramspolkering. Bij de hindcast, weergegeven in Figuur 81, zijn afwijkingen te zien tijdens de sluiting van de Ramspolkering. Hierbij is te zien dat de verwachting en de hindcast niet veel van elkaar verschillen.

De afwijking van FEWS-Vecht bij de Ramspolbrug wordt veroorzaakt door een late stijging van de verwachte waterstand, en vervolgens door een late daling van de waterstand. Hieruit is op te maken dat het model van FEWS-Vecht waarschijnlijk later reageert op de windopzet. De piek wordt wel bijna volledig gehaald.

In deze periode is gebleken dat RWsOS-Meren een nauwkeurigere verwachting geeft dan FEWS-Vecht, hoewel het verschil bij de Ramspolbrug niet groot is. Dit kan verklaard worden doordat FEWS-Vecht de verwachte waterstand hier van RWsOS-Meren als input gebruikt.

1.2.3. 19 januari 18.00 uur – 21 januari 00.00 uur

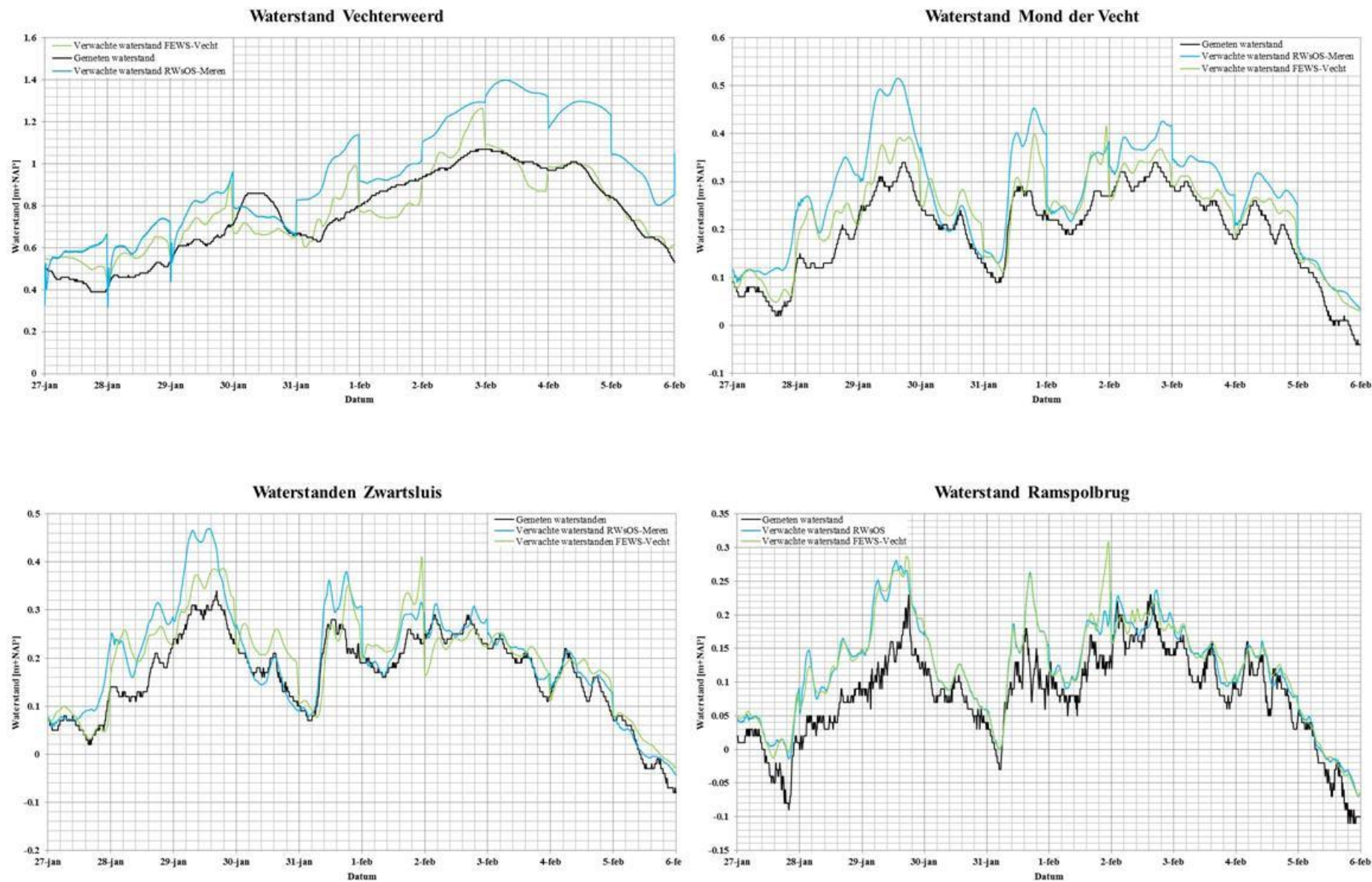
Gedurende deze periode zijn er weer een aantal sprongen te zien in de verwachtingen. Wanneer deze sprongen genegeerd worden, is te zien dat de verwachting van RWsOS-Meren hoger is dan de verwachting van FEWS-Vecht, en verder afwijkt van de gemeten waterstanden. Dit geldt voor Mond der Vecht. Bij Zwartsluis is de verwachting van FEWS-Vecht op 19 januari nog te hoog, de verwachting van RWsOS-Meren is hier nauwkeuriger. Vanaf 19 januari is het verschil met de gemeten waterstanden kleiner. Bij de Ramspolbrug ontlopen de twee verwachtingen elkaar niet veel.

1.2.4. Conclusie

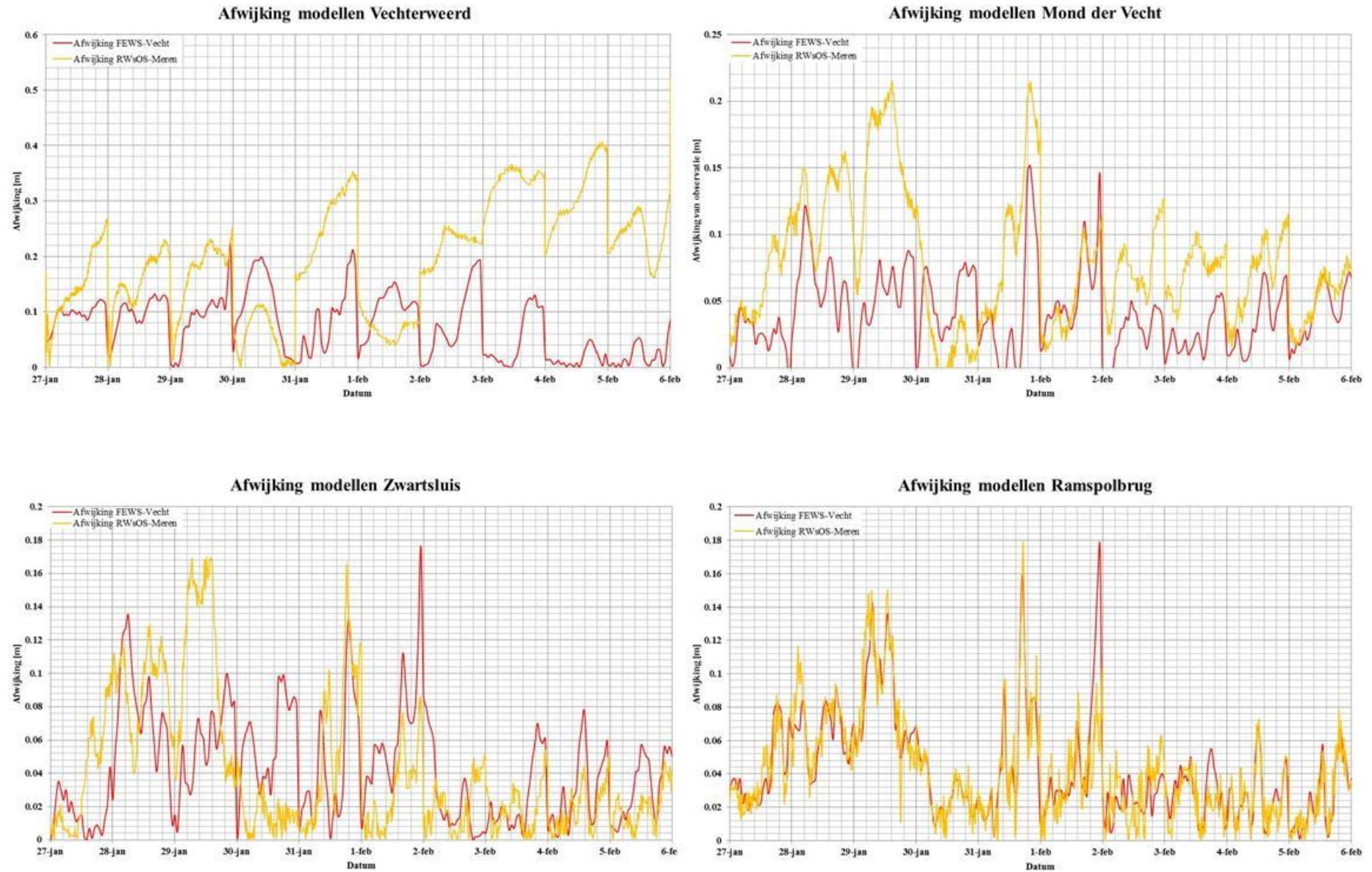
De waterstanden in deze periode worden voornamelijk door de wind bepaald. Vanwege onbruikbare data worden de waterstanden bij Vechterweerd niet onderzocht.

De grootste afwijkingen zijn te zien bij de verwachtingen van FEWS-Vecht. RWsOS-Meren wijkt over het algemeen weinig af, echter de sluiting van de Ramspolkering op 18 januari veroorzaakt een afwijking in de verwachting van RWsOS-Meren.

In het eerste deel van de periode worden de afwijkingen hoogstwaarschijnlijk veroorzaakt door afwijkingen in de meteorologische modellen. Hierdoor is de invloed van de onderlinge verschillen tussen FEWS-Vecht en RWsOS-Meren lastig te onderzoeken. Echter, over het algemeen kan gesteld worden dat de verwachtingen van RWsOS-Meren bruikbaar zijn.



Figuur 82 Verwachtingen bij de locaties Vechterweerd, Mond der Vecht, Zwartsluis en Ramspolbrug, over de periode 27 januari tot 6 februari 2018



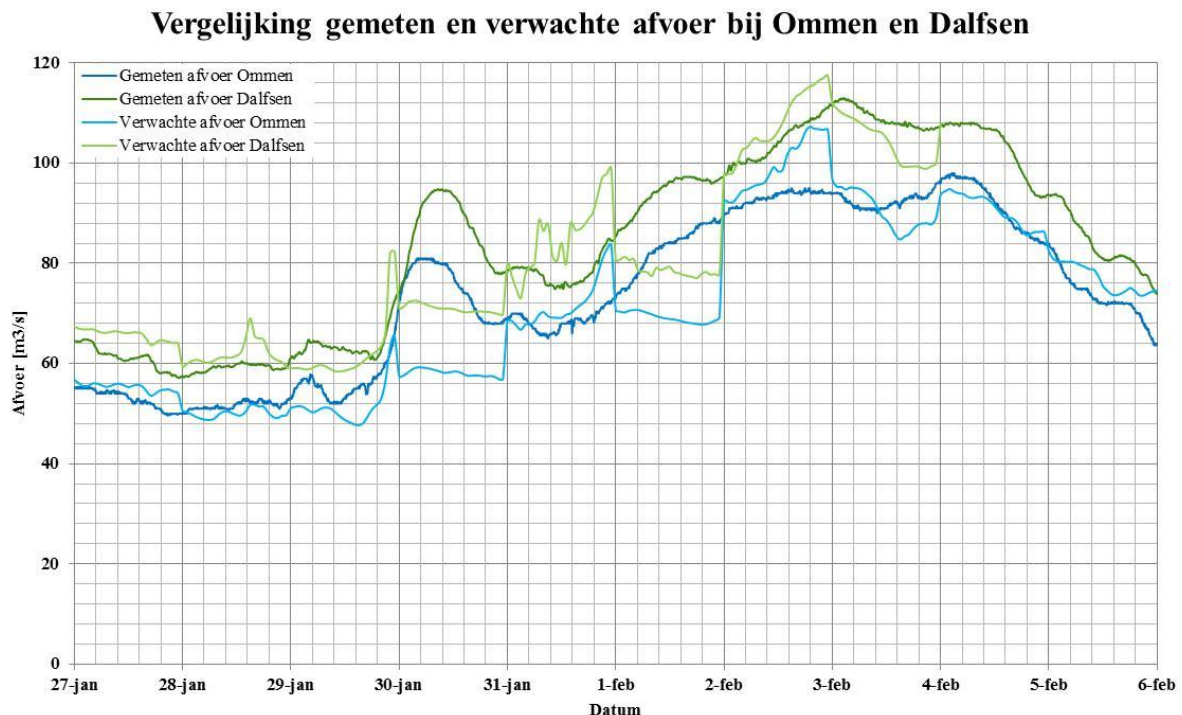
Figuur 83 Afwijkingen bij de locaties Vechterweerd, Mond der Vecht, Zwartsluis en Ramspolbrug, over de periode 27 januari tot 6 februari 2018

1.3. Periode 3: 27 januari – 6 februari 2018

Gedurende deze periode wordt de waterstand bij Vechterweerd volledig bepaald door de afvoer. De overige locaties worden voornamelijk beïnvloed door de afvoer, maar ondervinden ook een invloed van de wind. Voor alle locaties worden de belangrijkste afwijkingen besproken. De grafieken met hierin de afwijkingen per locatie zijn te vinden in Figuur 82. De grafieken met hierin de afwijkingen per locatie zijn te vinden in Figuur 83.

1.3.1. 27 januari 22.00 – 30 januari 01.00

Wat opvalt in deze periode, is dat de verwachtingen van zowel FEWS-Vecht als RWsOS-Meren op de locatie Vechterweerd afwijken. Hierbij moet vermeld worden dat de verwachting van FEWS-Vecht aanzienlijk nauwkeuriger is, en slechts enkele uitschieters heeft die een verschil van meer dan tien centimeter opleveren. De verwachting van RWsOS-Meren verschilt vrijwel altijd meer dan tien centimeter met de gemeten waterstand. Op 30 januari is dan wel de verwachting van FEWS-Vecht iets minder nauwkeurig, dit zou te maken kunnen hebben met het onderliggende meteorologische model. Hier vindt namelijk een afvoerpiek plaats. Wanneer gekeken wordt naar de afvoerverwachting bij Dalfsen, zoals weergegeven in Figuur 84, blijkt dat deze afvoerpiek niet verwacht wordt. Hierdoor verwacht FEWS-Vecht de piek in de waterstand niet, en wijkt de verwachting af van de gemeten waterstand. Dit heeft vooral invloed op de verwachting bij Vechterweerd.

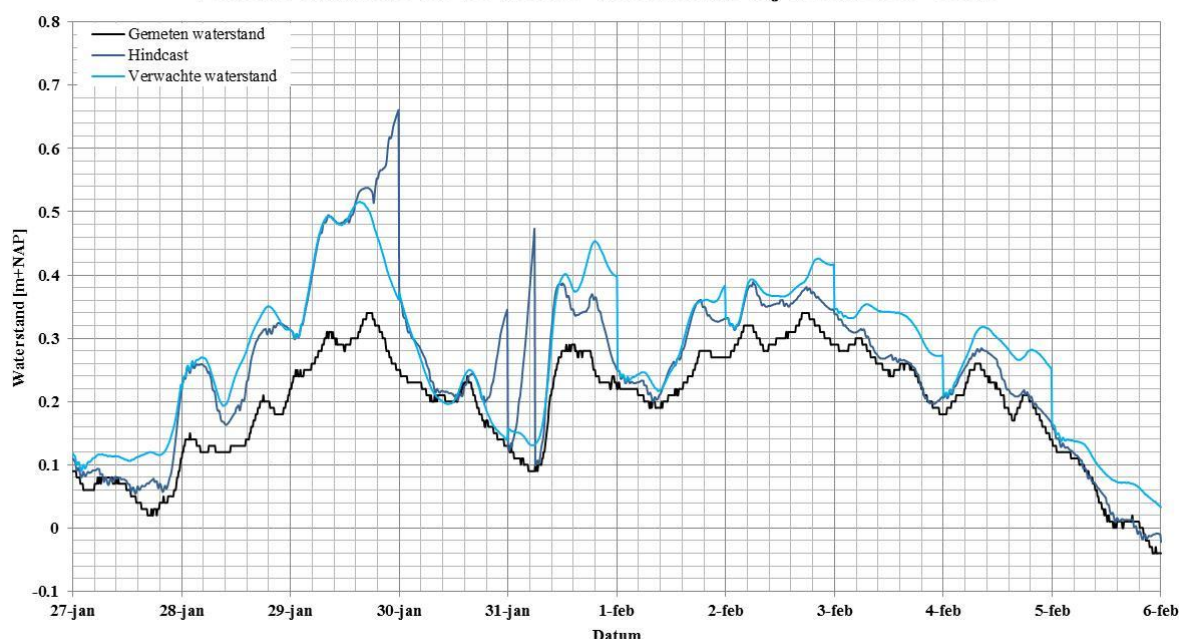


Figuur 84 Vergelijking van de gemeten en verwachte afvoer bij Ommen en Dalfsen, over de periode 27 januari tot 6 februari 2018

Op 29 januari zijn er belangrijke afwijkingen op de overige locaties. Bij Mond der Vecht wijkt op deze dag de verwachting van RWsOS-Meren af. Deze behaalt een afwijking van 21,5 centimeter, waar FEWS-Vecht slechts 9 centimeter afwijkt. Zoals in Figuur 24, Bijlage C.1, te zien is, daalt de afvoer op 29 januari enigszins. Op hetzelfde moment haalt de wind aan. Omdat er in eerste instantie geen duidelijke reden te vinden is waarom de verwachting zo veel van de gemeten waterstand afwijkt, is ook gekeken naar de hindcast. De hindcast en de verwachting bij Mond der Vecht zijn weergegeven in Figuur 85.

Uit deze figuur kan geconcludeerd worden dat op 29 januari het onderliggende meteorologische (wind)model niet onjuist was. De hindcast is vrijwel hetzelfde als de verwachting. Wanneer de verwachting vergeleken wordt met eerdere verwachtingen, blijkt dat ook deze een te hoge verwachting geven. Een eventuele verklaring kan dan zijn dat de laterale afvoeren te hoog zijn geschat, dit is echter lastig te onderzoeken met de beschikbare data.

Vershil hindcast en verwachte waterstand bij Mond der Vecht



Figuur 85 Verschil tussen de hindcast en verwachte waterstand van RWsOS-Meren bij Mond der Vecht, over de periode 27 januari tot 6 februari 2018

Bij de Ramspolbrug zijn beide verwachtingen iets te hoog. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het feit dat FEWS-Vecht de waterstandsverwachting van RWsOS-Meren hier als randvoorwaarde gebruikt.

1.3.2. 31 januari 10.00 uur – 1 februari 00.00 uur

In deze periode is de afwijking van RWsOS-Meren groter dan de afwijking van FEWS-Vecht. De afwijking van RWsOS-Meren is bij Mond der Vecht 21,5 centimeter, de afwijking van FEWS-Vecht is hier 15 centimeter. Bij Zwartsluis is dit respectievelijk 16,5 centimeter en 13 centimeter. Bij de Ramspolbrug heeft RWsOS-Meren een afwijking van 18 centimeter, en FEWS-Vecht een afwijking van 16 centimeter. Wat hierbij opvalt is dat de verschillen tussen de modellen niet groot zijn. Wel wijken de verwachtingen af van de metingen.

Gedurende de periode neemt de westelijke wind iets toe, tot een piek van 12 m/s. De afvoer neemt op datzelfde moment iets af, zo'n 5 m³/s, en neemt 10 m³/s toe. Deze informatie wijst erop dat de waterstanden inderdaad toe zouden moeten nemen, wat zij, zoals te zien is in Figuur 24, doen. De waterstandsverwachtingen stijgen ver boven de gemeten waterstanden uit. De oorzaak hiervan wordt gezocht door de hindcast van RWsOS-Meren met de verwachting hiervan te vergelijken, en door de verwachte afvoer van FEWS-Vecht bij Dalfsen te vergelijken met de gemeten afvoer. Op deze manier worden de onderliggende modellen gecontroleerd.

Eerst is de hindcast van RWsOS-Meren met de verwachting hiervan vergeleken. Deze vergelijking is weergegeven in Figuur 85. Hieruit blijkt dat de hindcast dichtbij de gemeten waterstand ligt dan de verwachting, wat erop kan wijzen dat de onderliggende modellen een fout bevatten in deze periode. Echter, het verschil tussen de hindcast en de verwachting is niet dermate groot dat deze het verschil tussen de verwachte en gemeten waterstand volledig verklaart.

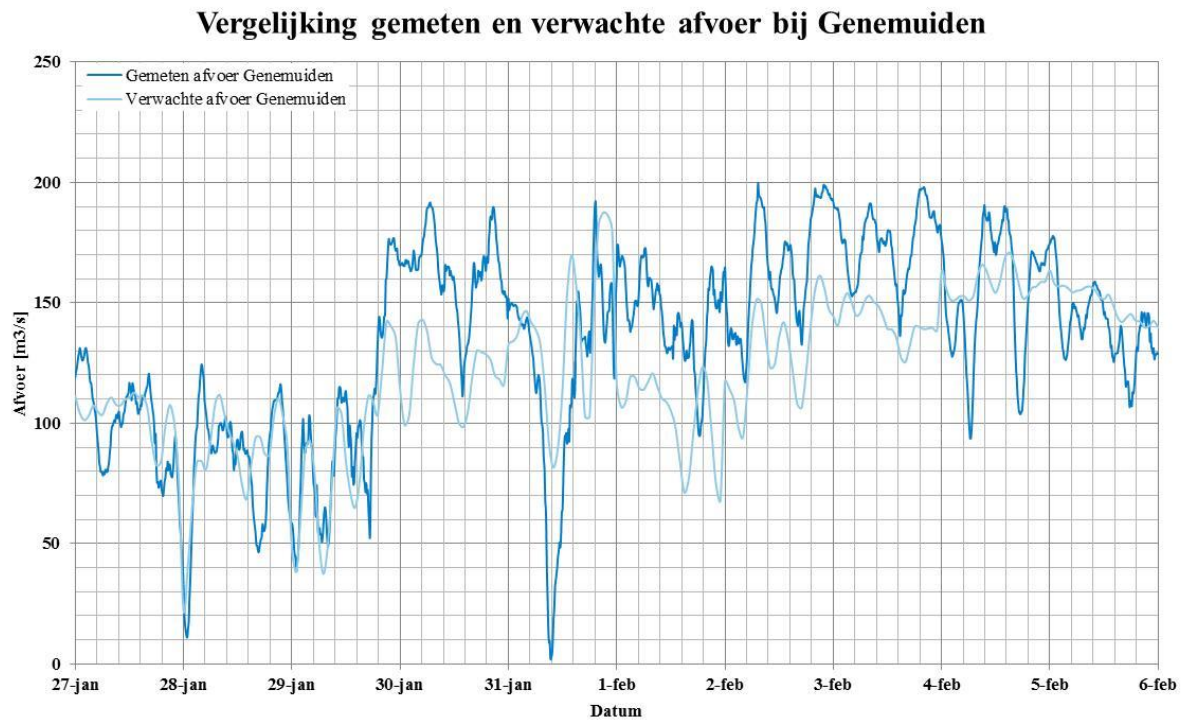
Vervolgens is de verwachte afvoer vergeleken met de gemeten afvoer. Dit is weergegeven in Figuur 84. Hieruit blijkt dat de verwachte afvoer tot wel 20 m³/s hoger ligt dan de gemeten afvoer. De verwachte afvoer bij Ommen bleek hoger te zijn dan de gemeten afvoer. Dit kan niet alleen de afwijking van FEWS-Vecht verklaren, maar ook de afwijking van RWsOS-Meren, aangezien deze de verwachte afvoer bij Ommen als randvoorwaarde heeft.

Concluderend kan gesteld worden dat de afwijkingen van de modellen waarschijnlijk veroorzaakt wordt door een combinatie van een onjuiste windverwachting, en een onjuiste afvoerwachting.

Aangezien de afvoerverwachting op beide modellen een grote invloed heeft, en de windverwachting voornamelijk op RWsOS-Meren, is de afwijking van RWsOS-Meren groter dan de afwijking van FEWS-Vecht. Dit verschil wordt kleiner bij locaties dichtbij de Ramspolbrug.

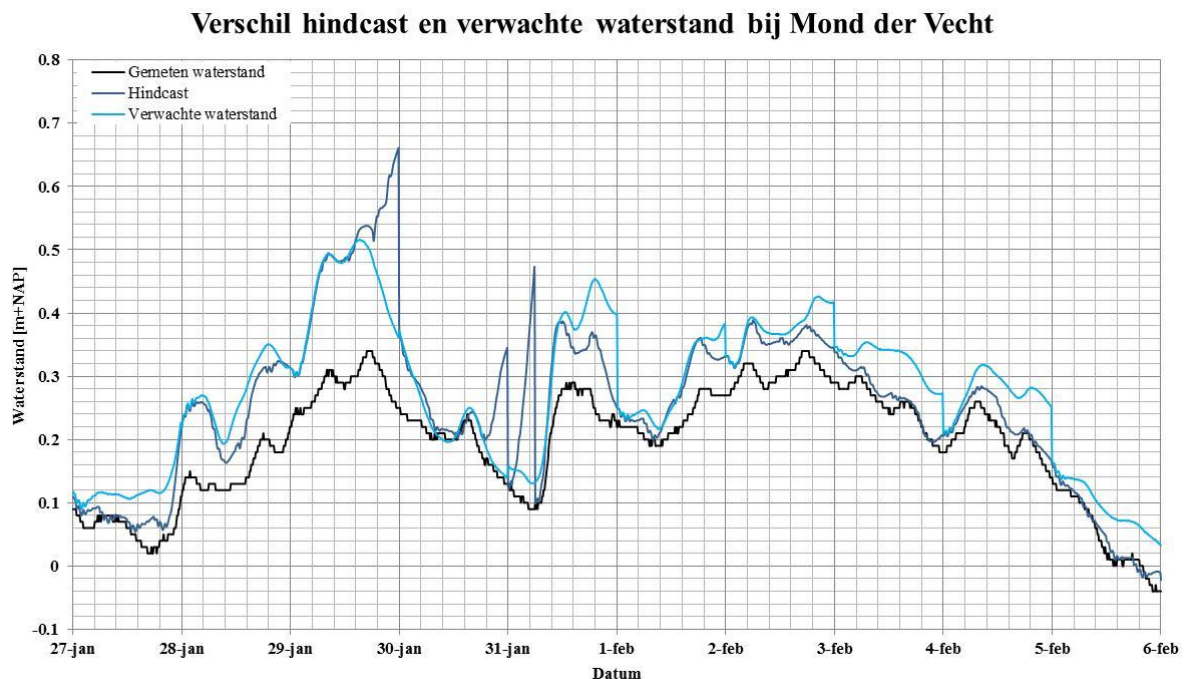
1.3.3. 1 februari 00.00 uur – 2 februari 00.00 uur

Wat opvalt in deze periode is dat de waterstandsverwachting van FEWS-Vecht minder nauwkeurig is dan de verwachting van RWsOS-Meren. Bij Vechterweerd is de verwachting van FEWS-Vecht te laag, terwijl de verwachting van RWsOS-Meren hier iets te hoog is. Bij de overige locaties zijn beide verwachtingen aan de hoge kant, en is het onderlinge verschil kleiner. Aangezien de waterstand bij Vechterweerd grotendeels bepaald wordt door de afvoer, wordt eerst de verwachte afvoer vergeleken met de gemeten afvoer.



Figuur 86 Vergelijking van de gemeten en verwachte afvoer bij Genemuiden, over de periode 27 januari tot 6 februari 2018

Uit Figuur 84 blijkt dat de verwachte afvoer bij zowel Ommen als Dalfsen te laag is. Dit verschilt tot wel $20 \text{ m}^3/\text{s}$. Dit verklaart de te lage waterstandsverwachting van FEWS-Vecht. Bij Genemuiden is, zoals te zien is in Figuur 86, de verwachte afvoer te laag. Op basis van deze te lage afvoerverwachtingen op de drie meetlocaties kan geconcludeerd worden dat dit de afwijkingen van FEWS-Vecht op alle locaties veroorzaakt.



Figuur 87 Verschillen tussen de hindcast en verwachte waterstand van RWsOS-Meren bij Mond der Vecht, over de periode 27 januari tot 6 februari 2018

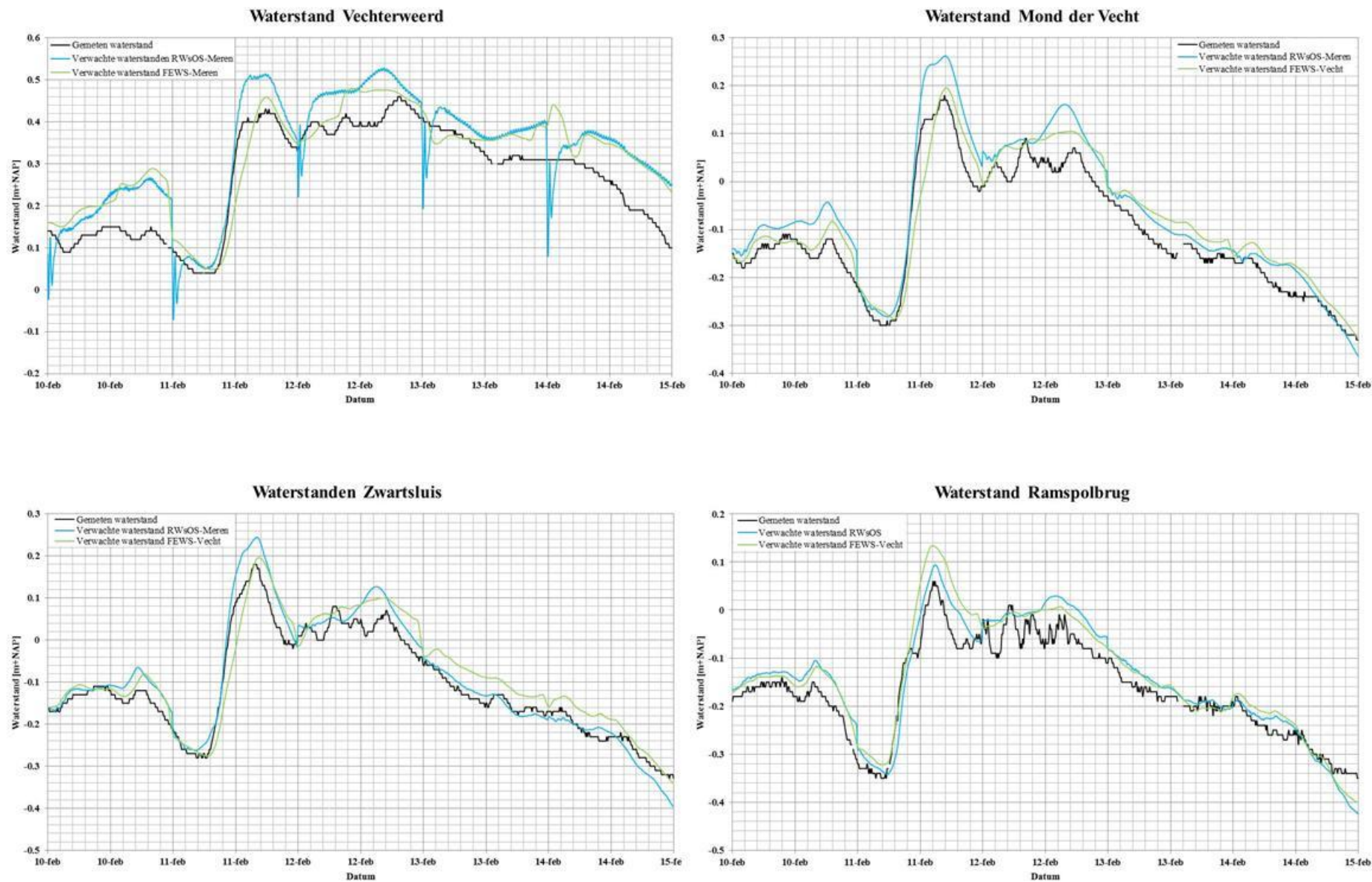
De verwachting van RWsOS-Meren is vergeleken met de hindcast hiervan. Dit is weergegeven in Figuur 87. De hindcast is slechts iets lager dan de verwachting van RWsOS-Meren. Na 2 februari is het verschil echter groter, dus op dat moment zal het onderliggende meteorologische model een onnauwkeurige verwachting hebben gegeven.

1.3.4. Conclusie

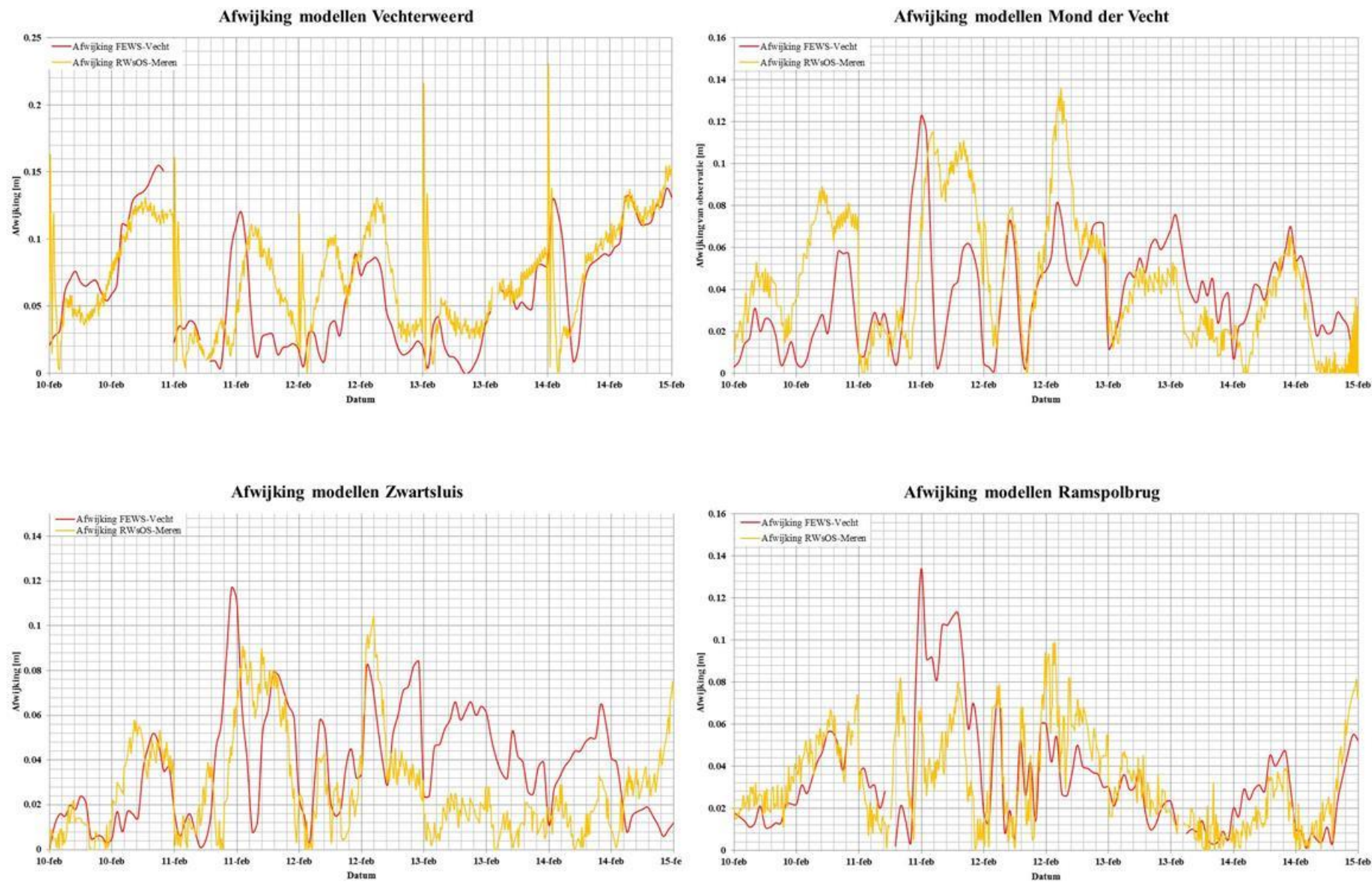
Deze periode is, in tegenstelling tot de vorige twee periodes, afvoergedreven. Dit betekent dat de waterstanden bij alle locaties voornamelijk bepaald worden door de afvoer. Deze periode is bij alle locaties geanalyseerd.

Bij Vechterweerd is op 30 januari een afwijking te zien. Beide verwachtingen zijn hier te laag, waarbij vooral de afwijking van FEWS-Vecht groot is. Deze afwijking wordt verklaard door een te lage afvoerverwachting, wat veroorzaakt kan worden door een onjuiste neerslagverwachting. Een aantal afwijkingen zijn lastig te verklaren.

Met uitzondering van 30 januari is de verwachting van FEWS-Vecht in deze periode bruikbaar dan de verwachting van RWsOS-Meren.



Figuur 88 Verwachtingen bij de locaties Vechterweerd, Mond der Vecht, Zwartsluis en Ramspolbrug, over de periode 10 februari tot 15 februari 2018



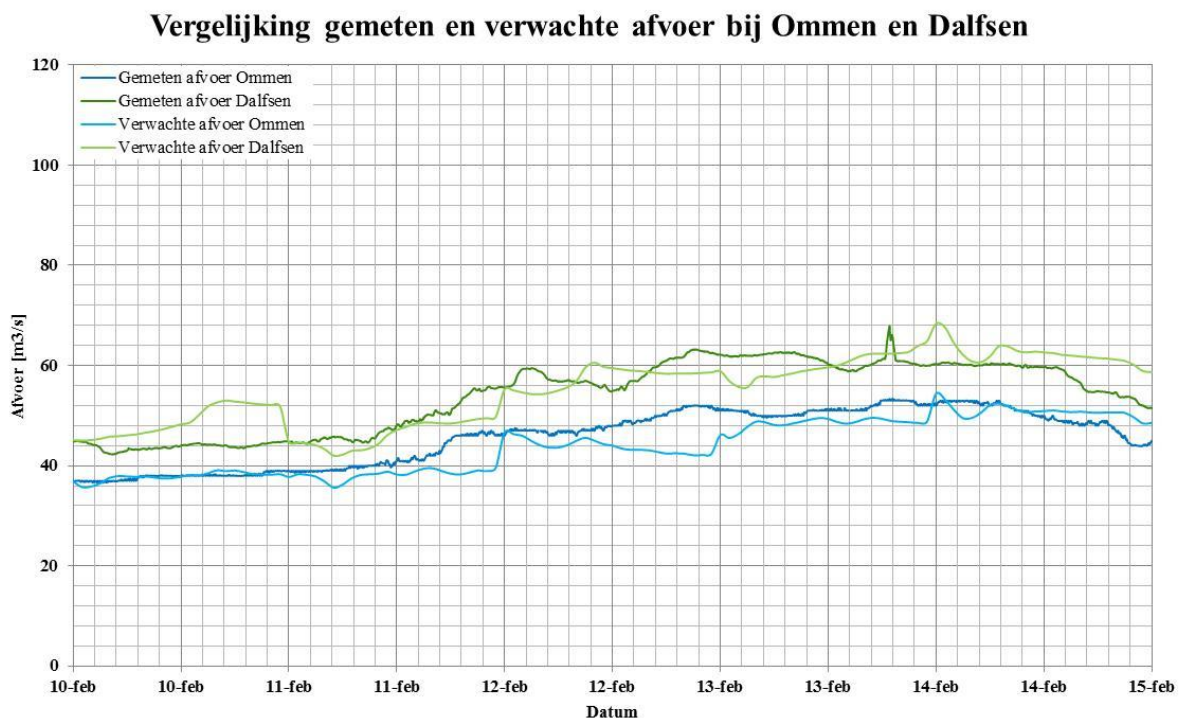
Figuur 89 Afwijkingen bij de locaties Vechterweerd, Mond der Vecht, Zwartsluis en Ramspolbrug, over de periode 10 februari tot 15 februari 2018

1.4. Periode 4: 10 februari tot 15 februari 2018

Gedurende deze periode is de grootste invloed op de waterstanden de wind. Voor alle locaties worden de belangrijkste afwijkingen besproken. De grafieken met hierin de afwijkingen per locatie zijn te vinden in Figuur 88. De grafieken met hierin de afwijkingen per locatie zijn te vinden in Figuur 89.

1.4.1. 10 februari 14.00 uur – 11 februari 00.00 uur

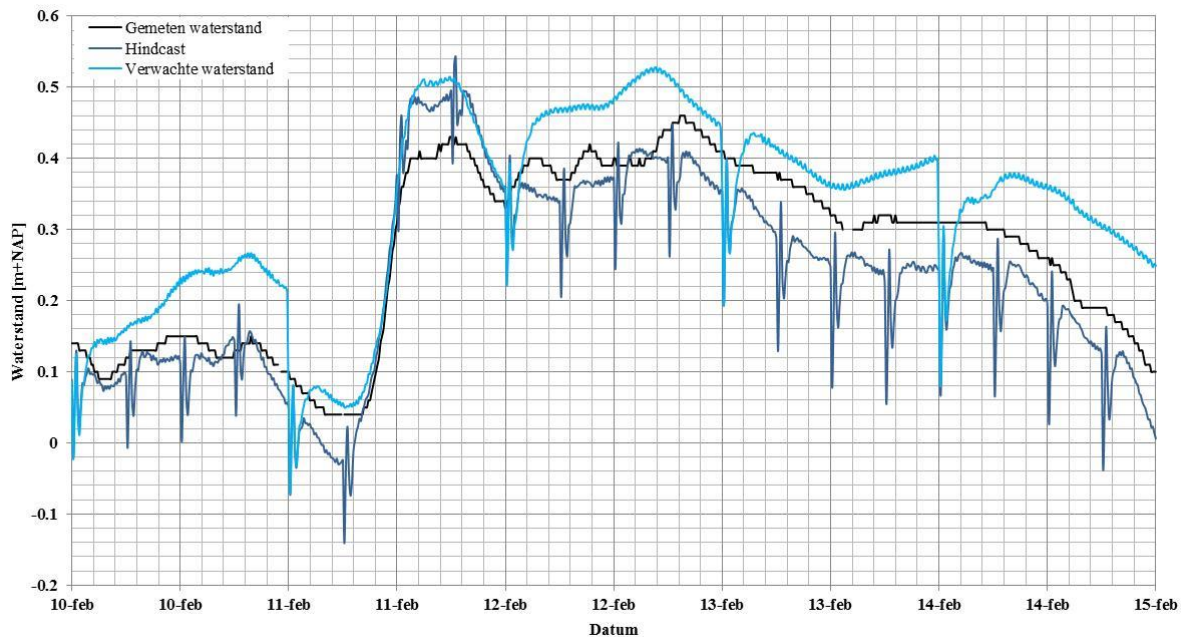
Gedurende deze periode is alleen bij Vechterweerd een afwijking te zien. Deze afwijking betreft zowel FEWS-Vecht (15,5 centimeter) als RWsOS-Meren (13 centimeter). Het onderlinge verschil is niet groot. Beide verwachtingen zijn hoger dan de gemeten waterstand. Zoals in Figuur 28, Bijlage C.1, te zien is, is de afvoer gedurende deze periode constant. De windsnelheid (1 tot 5 m/s) en windrichting (zuidelijk) vormen eveneens geen reden voor de afwijking. Er wordt dus weer gekeken naar de onderliggende (meteorologische) modellen van elk systeem.



Figuur 90 Vergelijking van de gemeten en verwachte afvoer bij Ommen en Dalfsen, over de periode 10 februari tot 15 februari 2018

Allereerst wordt naar de afvoer gekeken, aangezien Vechterweerd veelal het meest reageert op de afvoer. De gemeten en verwachte afvoer van FEWS-Vecht zijn weergegeven in Figuur 90. Hieruit blijkt dat de verwachte afvoer hooguit $10 \text{ m}^3/\text{s}$ afwijkt van de gemeten afvoer.

Vershil hindcast en verwachte waterstand bij Vechterweerd



Figuur 91 Verschillen tussen de hindcast en verwachte waterstand van RWsOS-Meren bij Vechterweerd, over de periode 10 februari tot 15 februari 2018

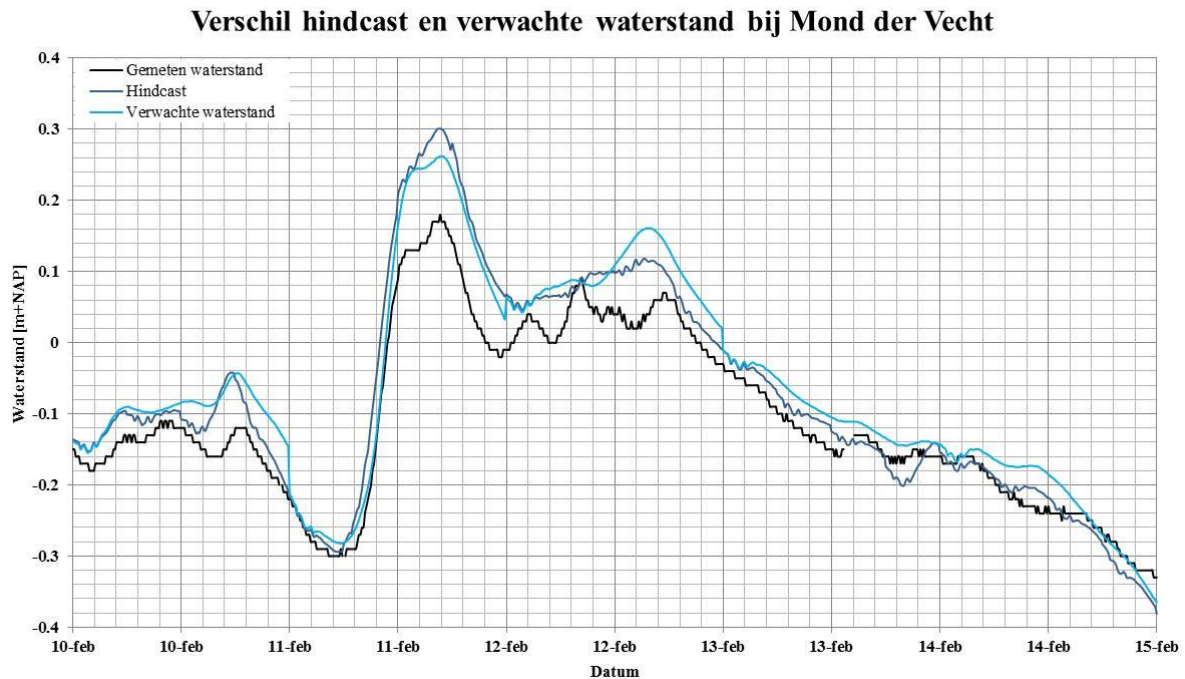
Vervolgens is gekeken naar het verschil tussen de hindcast en de verwachting van RWsOS-Meren. Deze zijn beide weergegeven in Figuur 91. Uit deze figuur blijkt dat de verwachte waterstand hoger is dan de hindcast. De hindcast verschilt slechts enkele centimeters van de gemeten waterstand. Hieruit valt te concluderen dat de meteorologische verwachting waarschijnlijk niet juist was. Dit, gecombineerd met de iets te hoge afvoer, zorgt er waarschijnlijk voor dat beide verwachtingen te hoog zijn.

1.4.2. 11 februari 11.00 uur – 11 februari 22.30 uur

Op iedere locatie is gedurende deze periode een afwijking van de verwachtingen te zien. Bij Vechterweerd en Mond der Vecht wijken beide verwachtingen meer dan tien centimeter af. Hierbij wijkt RWsOS-Meren op beide locaties 11 centimeter af, en FEWS-Vecht 12 centimeter. Bij Zwartsluis en de Ramspolbrug wijkt alleen FEWS-Vecht meer dan tien centimeter af. Bij Zwartsluis wijkt FEWS-Vecht 11,5 centimeter af, waar RWsOS-Meren 9 centimeter afwijkt. Bij de Ramspolbrug is dit respectievelijk 13,5 en 7 tot 8 centimeter. Onderling zijn de verschillen tussen de verwachtingen niet groot.

FEWS-Vecht stijgt in alle gevallen iets later dan de werkelijke waterstand. Wel stijgt deze verwachting iets verder door dan de werkelijke verwachting. RWsOS-Meren stijgt op het juiste moment, maar heeft een te hoge piek. Hiervoor geldt dat het verschil met de werkelijke waterstand kleiner wordt verder benedenstrooms.

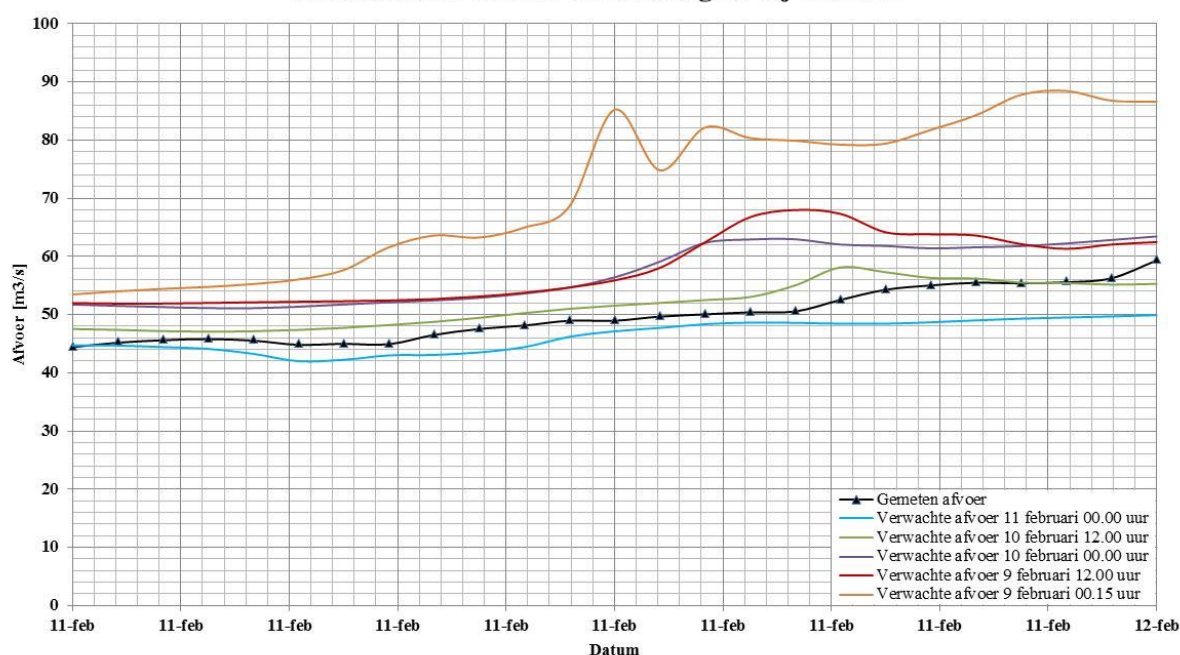
Gedurende deze periode is er sprake van een westelijke wind, waarbij twee pieken voorkomen in de windsnelheid. De tweede piek hiervan behaalt een windsnelheid van 14 m/s, en valt samen met de toename van de waterstand. FEWS-Vecht reageert hier later pas op, waardoor de stijging van de waterstand later verwacht wordt. RWsOS-Meren verwacht de stijging wel op het goede moment, maar verwacht dat de waterstand hoger wordt dan verwacht. Om uit te sluiten dat dit door het meteorologische model komt, is de hindcast bij Mond der Vecht vergeleken met de verwachting. Dit is te zien in Figuur 92.



Figuur 92 Verschillen tussen de hindcast en de verwachte waterstand van RWsOS-Meren bij Mond der Vecht, over de periode 10 februari tot 15 februari 2018

Hieruit blijkt dat de hindcast niet veel afwijkt van de verwachting, dit verschil is slechts enkele centimeters. Dit ondersteunt de conclusie dat de afwijking niet veroorzaakt wordt door een te hoge windsnelheidsverwachting. De oorzaak zou binnen WAQUA kunnen liggen, en kan erop duiden dat het model te sterk reageert op de wind. De impact hiervan is groter bij Mond der Vecht en Zwartsluis, dan bij de Ramspolbrug.

Verschillende afvoerverwachtingen bij Dalfsen



Figuur 93 Verschil tussen verschillende afvoerverwachtingen bij Dalfsen, op 11 februari 2018

Om te controleren of er sprake is geweest van een onjuiste afvoerverwachting, is de verwachte afvoer bij Ommen en Dalfsen vergeleken met de gemeten afvoer op deze locaties. Dit is weergegeven in Figuur 90. Hieruit blijkt dat de afvoerverwachting juist iets lager is dan de gemeten verwachting. Echter, net als in periode 1, is hier niet exact bekend welke verwachting gebruikt is. Zoals in Figuur 93 te zien is, is er een groot verschil tussen de verwachillende verwachtingen. De eerdere verwachtingen zijn hoger dan de gemeten afvoer, wat de hogere verwachting zou kunnen veroorzaken.

Bij de Ramspolbrug is de verwachting van FEWS-Vecht hoog, vergeleken met de gemeten waterstanden. RWsOS-Meren is hier slechts een paar centimeter te hoog. Het feit dat FEWS-Vecht een te hoge verwachting heeft wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een combinatie van de te hoge verwachting van RWsOS-Meren, en een stijgende afvoer.

Concluderend kan gesteld worden dat RWsOS-Meren waarschijnlijk iets te sterk reageert op de wind, en dat FEWS-Vecht te laat reageert op de windopzet. Verder is het mogelijk dat er sprake was van een te hoge afvoerverwachting. Verder kan gesteld worden dat in deze situatie RWsOS-Meren een nauwkeurigere verwachting geeft.

1.4.3. 12 februari 13.00 – 12 februari 17.00

Gedurende deze korte periode is vooral een afwijking bij Vechterweerd en Mond der Vecht te zien. Bij Zwartsluis en de Ramspolbrug is slechts sprake van een afwijking van maximaal 10 centimeter. Bij Vechterweerd en Mond der Vecht is de afwijking van RWsOS-Meren 13 centimeter. De afwijking van FEWS-Vecht is 8 centimeter. Het onderlinge verschil is niet groot.

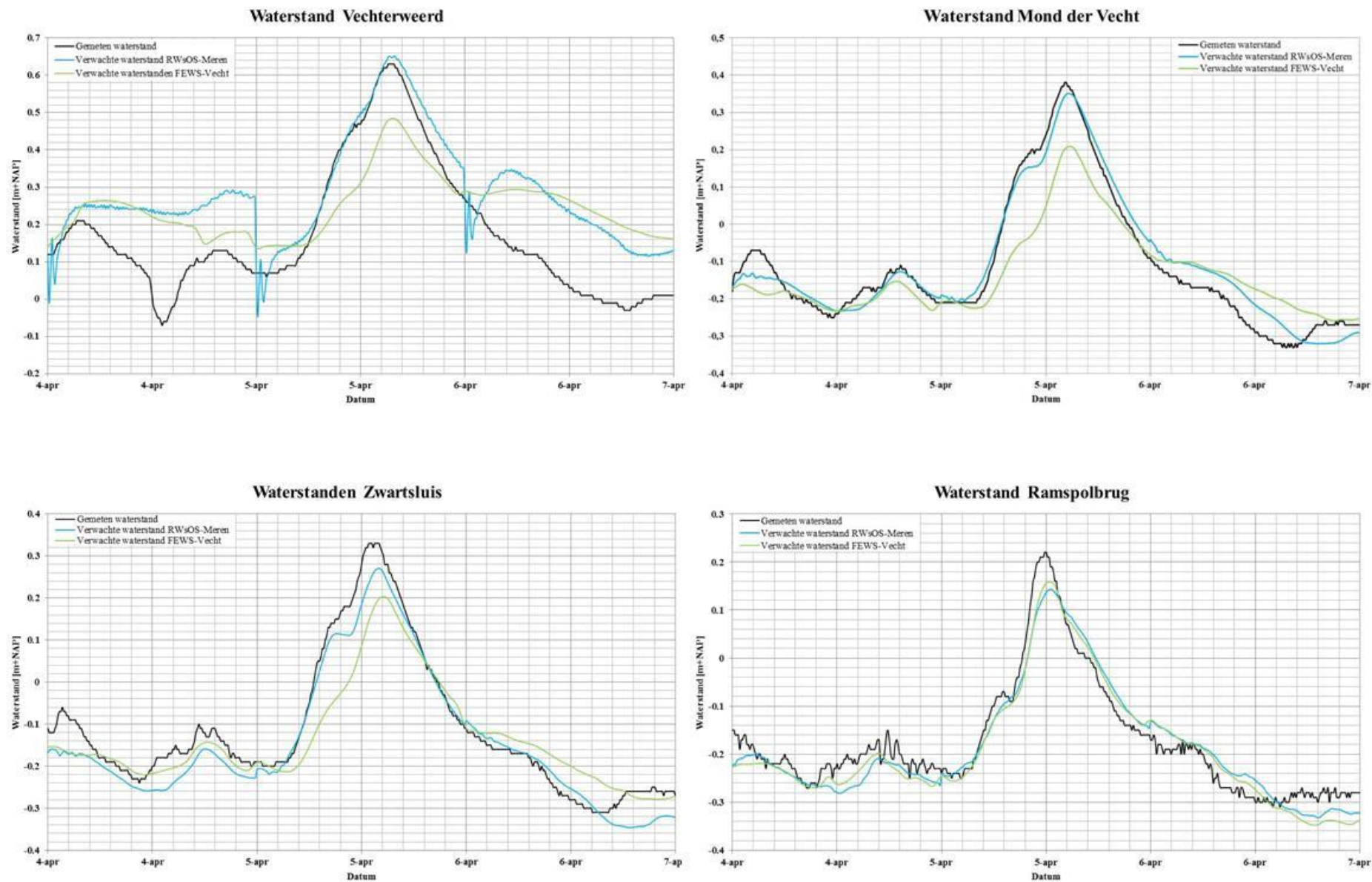
In Figuur 28, Bijlage C.1, is te zien dat er op 12 februari rond het middaguur sprake is van een dal in de afvoer bij Dalfsen. Bij Ommen is dit dal minder goed te zien. Het dal veroorzaakt een lichte daling in de waterstand. Voor FEWS-Vecht veroorzaakt dit een afwijking, het dal wordt namelijk niet verwacht. Dit is weergegeven in Figuur 90.

Bij RWsOS-Meren is de afwijking groter. Aangezien hier de afvoerverwachting bij Ommen als randvoorwaarde gebruikt wordt, is deze eerst gecontroleerd. In Figuur 90 zijn zowel de afvoerverwachting als de gemeten afvoer bij Ommen weergegeven. Hieruit blijkt dat de verwachte afvoer lager was dan de gemeten afvoer. Echter, ook hier geldt dat een andere afvoerverwachting gebruikt kan zijn voor de waterstandsverwachting.

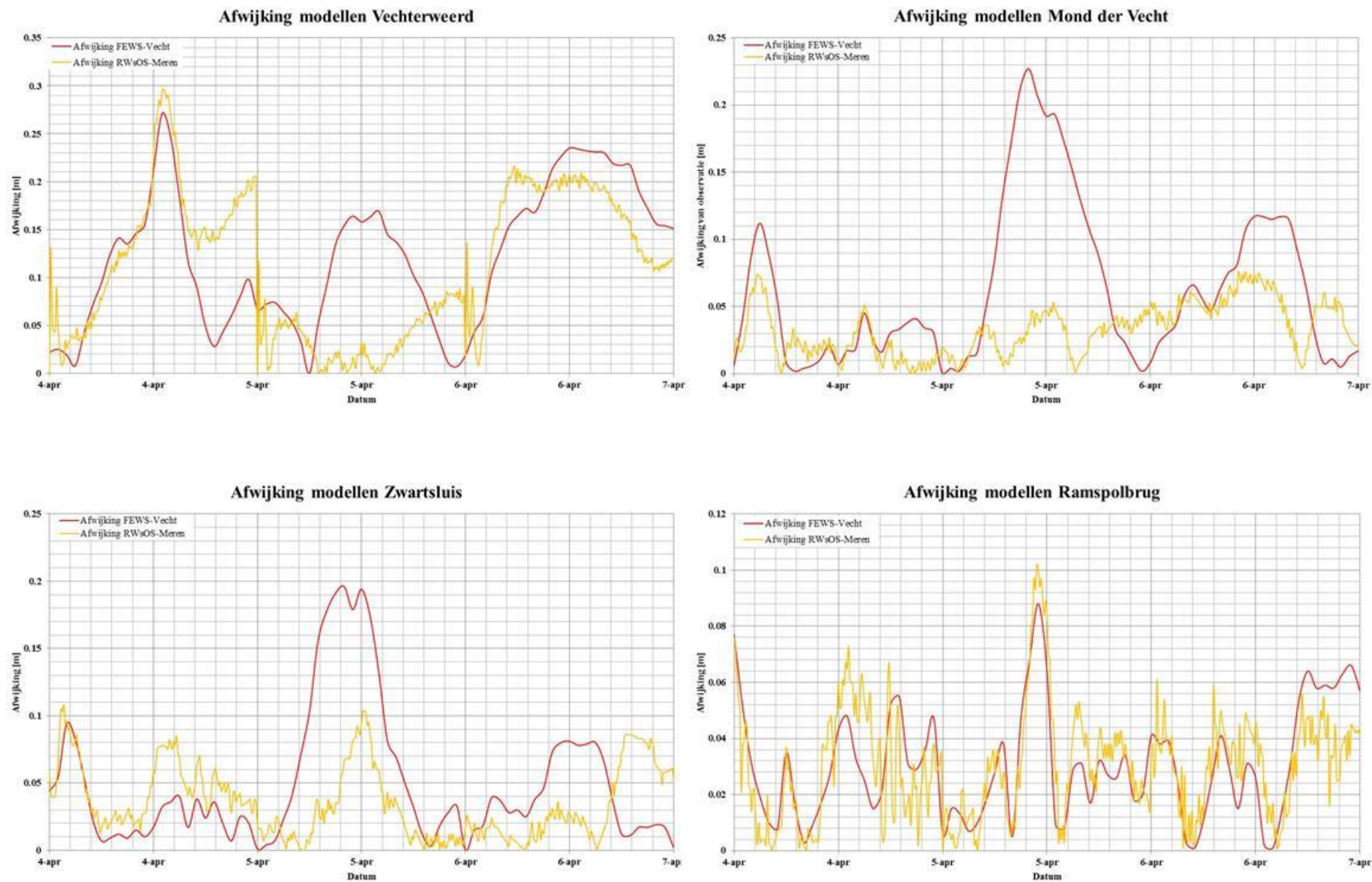
Vervolgens is de verwachting van RWSOS-Meren gecontroleerd aan de hand van de hindcast. In Figuur 92 is te zien dat de verwachting op het moment van de afwijking groter is dan de hindcast. Dit scheelt zo'n 5 centimeter. Dit kan erop wijzen dat de meteorologische verwachting niet nauwkeurig genoeg was, waardoor de afwijking veroorzaakt is.

1.4.4. Conclusie

De vierde periode is, net als periode 1 en 2, windgedreven. In het begin van de periode wijkt RWSOS-Meren minder af dan FEWS-Vecht. Vanaf 12 februari neemt de wind echter af, en wijkt FEWS-Vecht minder af. Dit geldt voornamelijk voor de locaties Vechterweerd en Mond der Vecht. Bij de locaties Zwartsluis en Ramspolbrug is het onderlinge verschil klein.



Figuur 94 Verwachtingen bij de locaties Vechterweerd, Mond der Vecht, Zwartsluis en Ramspolbrug, over de periode 4 april tot 7 april 2018



Figuur 95 Afwijkingen bij de locaties Vechterweerd, Mond der Vecht, Zwartsluis en Ramspolbrug, over de periode 4 april tot 7 april 2018

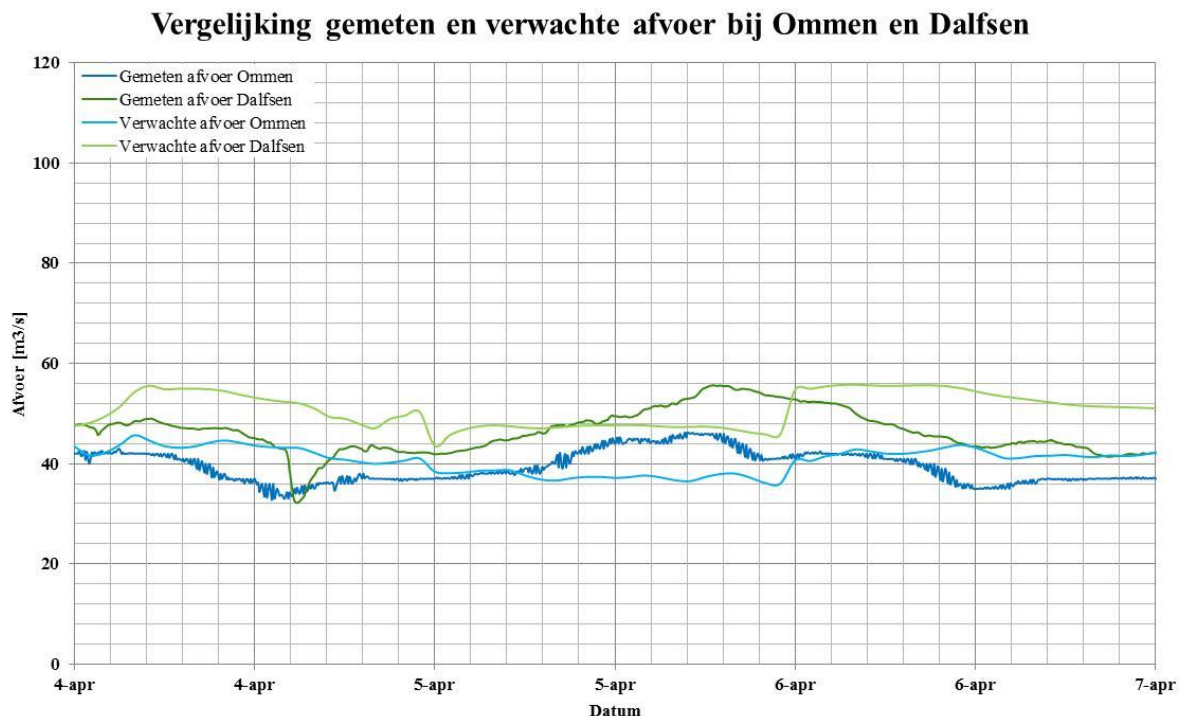
1.5. Periode 5: 4 april – 7 april 2018

De waterstanden worden in deze periode voornamelijk door een combinatie van wind en afvoer gestuurd. Voor elke locatie worden de belangrijkste afwijkingen geanalyseerd. De grafieken met hierin de afwijkingen per locatie zijn te vinden in Figuur 94. De grafieken met hierin de afwijkingen per locatie zijn te vinden in Figuur 95.

1.5.1. 4 april 07.00 uur – 5 april 00.00 uur

Gedurende deze periode wijkt de verwachting van FEWS-Vecht meer dan tien centimeter af bij Vechterweerd en Mond der Vecht, respectievelijk 27 en 11 centimeter. De verwachting van RWsOS-Meren wijkt op deze locaties respectievelijk 30 en 7,5 centimeter af. Op de locaties Zwartsluis en Ramspolbrug wijken de verwachtingen minder dan tien centimeter af.

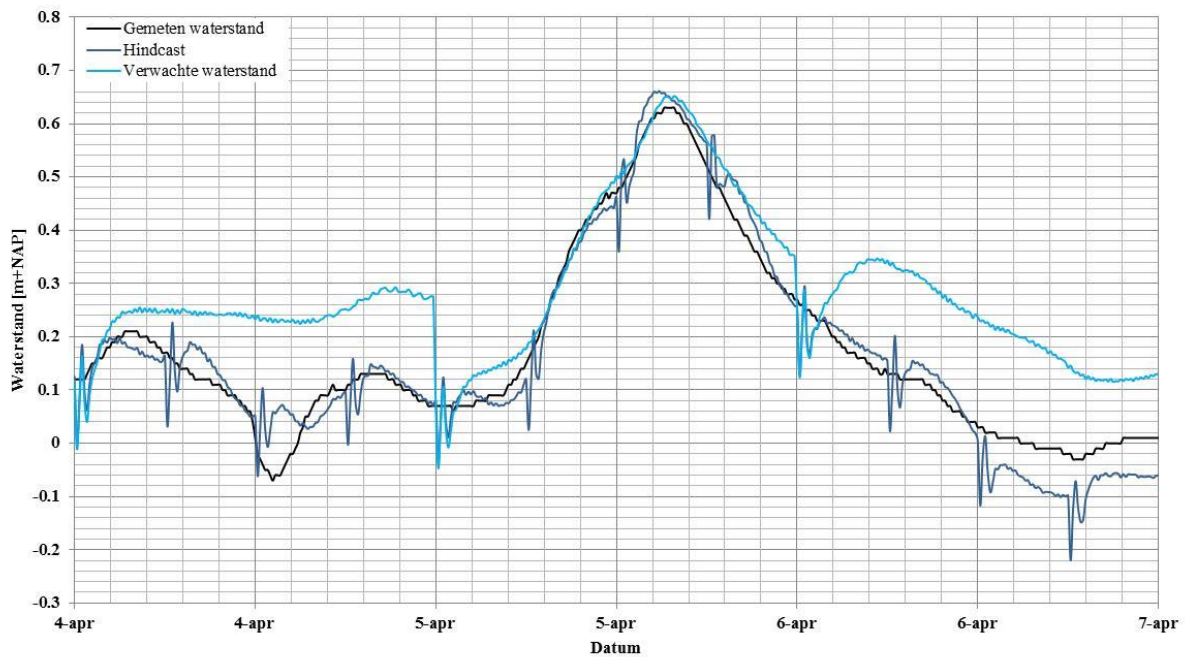
Bij Vechterweerd geldt dat de waterstandsdeling vlak na het middaguur niet in de verwachtingen opgenomen is. Verder zijn beide verwachtingen aan de hoge kant. In de afvoermeting is een vrij plotselinge daling te zien. Wanneer de afvoermeting vergeleken wordt met de verwachte afvoer bij Ommen en Dalfsen, is de zien dat FEWS-Vecht deze daling niet verwacht. Dit is te zien in Figuur 96.



Figuur 96 Vergelijking van de gemeten en verwachte afvoer bij Ommen en Dalfsen, over de periode 4 april tot 7 april 2018

Verder is te zien dat een hogere afvoer dan gemeten wordt verwacht. Na de plotselinge daling wordt het verschil tussen de verwachte en gemeten afvoer kleiner, waarbij de verwachting van FEWS-Vecht minder afwijkt van de gemeten waterstand. De verwachting van RWsOS-Meren blijft te hoog. De oorzaak hiervan wordt gezocht door de hindcast van RWsOS-Meren te vergelijken met de verwachting. Dit is weergegeven in Figuur 98. In deze figuur is te zien dat de hindcast weinig verschilt van de gemeten waterstand. Dit wijst erop dat de meteorologische verwachting waarschijnlijk onjuist was, waardoor de waterstandsverwachting afwijkt. Beide afwijkingen worden waarschijnlijk veroorzaakt door een combinatie van een te hoge verwachte afvoer en een onjuiste windverwachting.

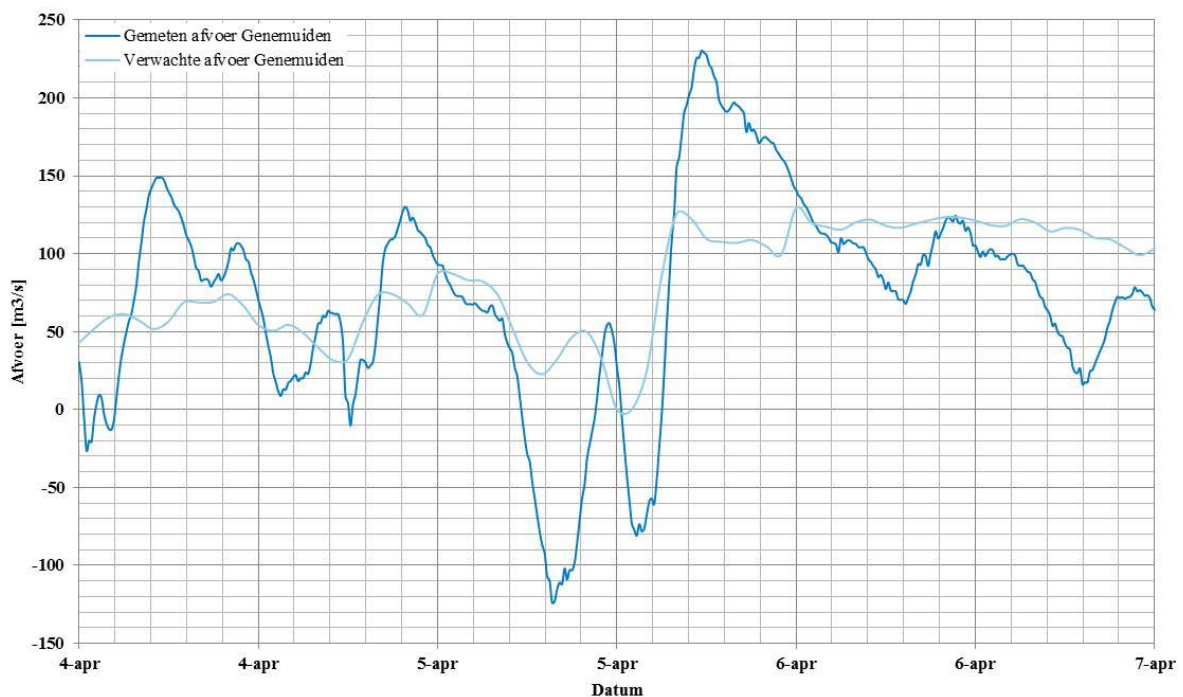
Vershil hindcast en verwachte waterstand bij Vechterweerd



Figuur 98 Verschil tussen de hindcast en verwachte waterstand van RWsOS-Meren bij Vechterweerd, over de periode 4 april tot 7 april 2018

Bij Mond der Vecht is de waterstandsverwachting juist te laag. Verder benedenstrooms wordt deze afwijking steeds kleiner. Zoals te zien in Figuur 44, bijlage C.2, vond er een piek plaats in de laterale afvoeren. Om te controleren of de laterale afvoeren juist verwacht waren, is de verwachte afvoer bij Genemuiden vergeleken met de gemeten afvoer. Dit is weergegeven in Figuur 97. Hieruit bleek dat de verwachte afvoer veel lager is dan de gemeten afvoer. Aangezien dit bij Ommen en Dalfsen nog niet het geval was, kan dit erop wijzen dat de laterale afvoeren onjuist verwacht zijn. Dit heeft voornamelijk betrekking op de lateralen voor Mond der Vecht, zoals de Sallandse Weteringen.

Vergelijking gemeten en verwachte afvoer bij Genemuiden



Figuur 97 Vergelijking van de gemeten en verwachte afvoer bij Genemuiden, over de periode 4 april tot 7 april 2018

1.5.2. 5 april 07.00 uur – 5 april 18.00 uur

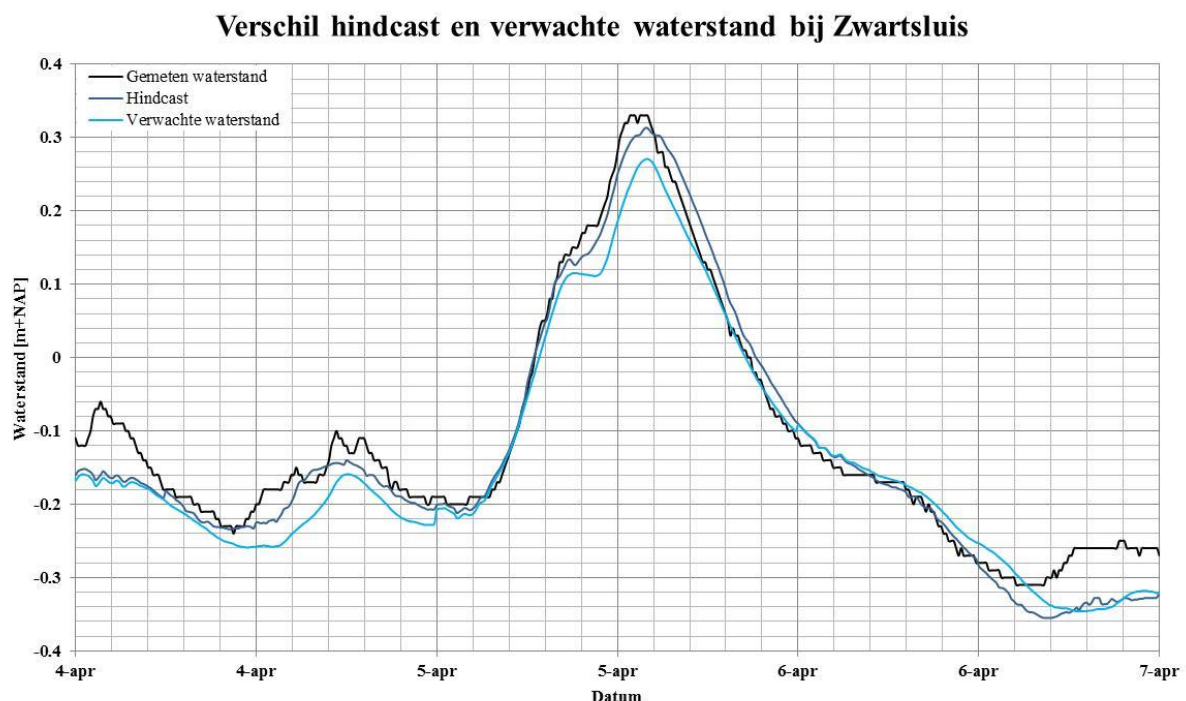
Gedurende deze periode wijkt vrijwel alleen FEWS-Vecht meer dan tien centimeter af. Alleen bij de locaties Zwartsluis en de Ramspolbrug wijkt de verwachting van RWsOS-Meren meer dan tien centimeter af, namelijk 10,5 centimeter. FEWS-Vecht wijkt 17 centimeter af bij Vechterweerd, 23 centimeter bij Mond der Vecht, 20 centimeter bij Zwartsluis en 9 centimeter bij de Ramspolbrug. De afwijkingen van RWsOS-Meren zijn respectievelijk 3 centimeter, 5 centimeter, 10,5 centimeter en 10,5 centimeter.

FEWS-Vecht geeft op alle locaties een te lage waterstandsverwachting. RWsOS-Meren geeft bij Vechterweerd een iets te hoge waterstandsverwachting, maar bij de andere locaties een te lage verwachting.

De piek in de waterstand vindt plaats tegelijk met een piek in de windsnelheid, waarbij er een noordwestelijke windrichting is. Ook is er sprake van een afvoer piek. Aangezien de verwachting van FEWS-Vecht voornamelijk afhankelijk is van de afvoer, wordt eerst gekeken of deze piek in de afvoerverwachting te zien is. In Figuur 96 is te zien dat de piek niet verwacht wordt. Dit verklaart waarom de verwachte waterstand bij FEWS-Vecht aan de lage kant is. Het feit dat de verwachte waterstand bij RWsOS-Meren wel juist is, kan erop wijzen dat dit model erop rekent dat de windopzet Vechterweerd bereikt. Dit zou de afwijking, die ontstaat door de lage afvoerverwachting, kunnen opheffen. Dit is echter niet te controleren.

Bij de overige locaties is de waterstand hoger dan beide systemen verwachten. Dit kan verschillende oorzaken hebben. Het meest waarschijnlijke is een combinatie van de lage verwachte afvoer, en een lage windverwachting. Dit kan gecontroleerd worden met behulp van de hindcast van RWsOS-Meren en de afvoerverwachting bij Genemuiden.

In Figuur 99 is de hindcast bij Zwartsluis van RWsOS-Meren weergegeven. Deze is hoger dan de verwachting van RWsOS-Meren, maar wijkt nog steeds iets af van de gemeten waterstand.



Figuur 99 Vershil tussen de hindcast en verwachte waterstand van RWsOS-Meren bij Zwartsluis, over de periode 4 april tot 7 april 2018

In Figuur 97 wordt de afvoerverwachting bij Genemuiden vergeleken met de gemeten afvoer. In deze figuur is te zien dat de verwachting duidelijk lager is dan de gemeten afvoer. Waarschijnlijk is de lage afvoerverwachting de reden dat de waterstandsverwachting te laag is. Verder benedenstrooms wordt het onderlinge verschil tussen RWsOS-Meren en FEWS-Vecht steeds kleiner. Zeker bij de

Ramspolbrug is dit verschil klein. Dit komt omdat de verwachte waterstand bij de Ramspolbrug van RWsOS-Meren gebruikt wordt als randvoorwaarde voor FEWS-Vecht.

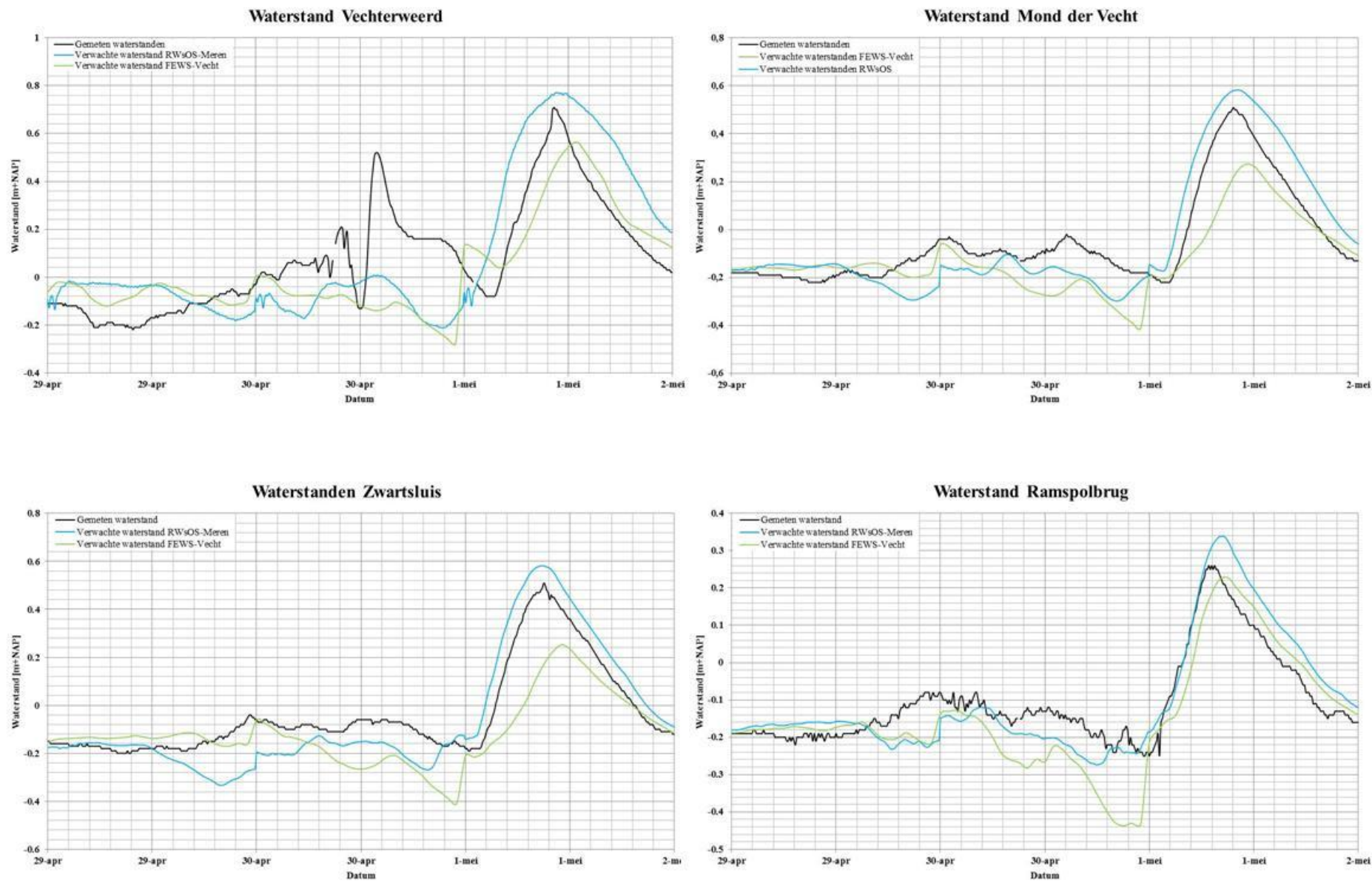
Over het algemeen kan geconcludeerd worden dat de verwachting van RWsOS-Meren gedurende de windpiek nauwkeuriger is. Wat betreft de rest van de periode, is het verschil tussen beide modellen klein.

1.5.3. Conclusie

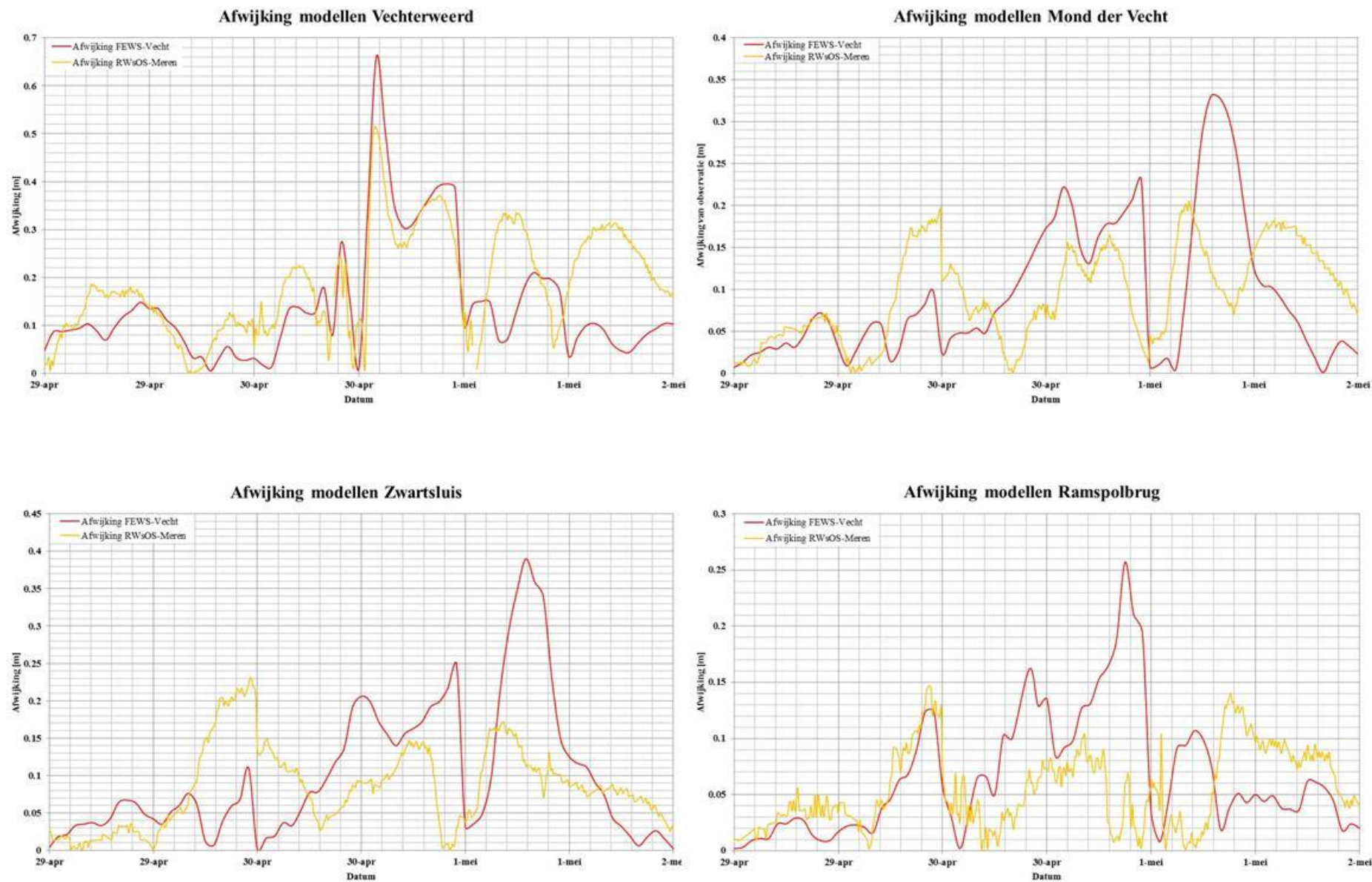
De waterstanden in deze periode worden bepaald door een combinatie van afvoer en wind. Dit houdt in dat gedurende de hele periode de afvoer een belangrijke rol speelt. Op 5 april is een duidelijke windpiek te zien. Op dat moment speelt de windopzet een grote rol.

Gedurende deze periode zijn weinig onderlinge verschillen tussen de modellen te zien. Bij Vechterweerd missen beide systemen de daling in de waterstand, deze wordt veroorzaakt door een onverwachte daling in de afvoer. Verder is bij Vechterweerd in het begin te zien dat de verwachting van RWsOS-Meren meer afwijkt dan de verwachting van FEWS-Vecht. Bij de overige locaties is weinig verschil te zien.

Tijdens de windpiek is bij FEWS-Vecht een afwijking te zien, deze is bij RWsOS-Meren kleiner. Op dat moment is RWsOS-Meren dus bruikbaar.



Figuur 100 Verwachtingen bij de locaties Vechterweerd, Mond der Vecht, Zwartsluis en Ramspolbrug, over de periode 29 april tot 2 mei 2018



Figuur 101 Afwijkingen bij de locaties Vechterweerd, Mond der Vecht, Zwartsluis en Ramspolbrug, over de periode 29 april tot 2 mei 2018

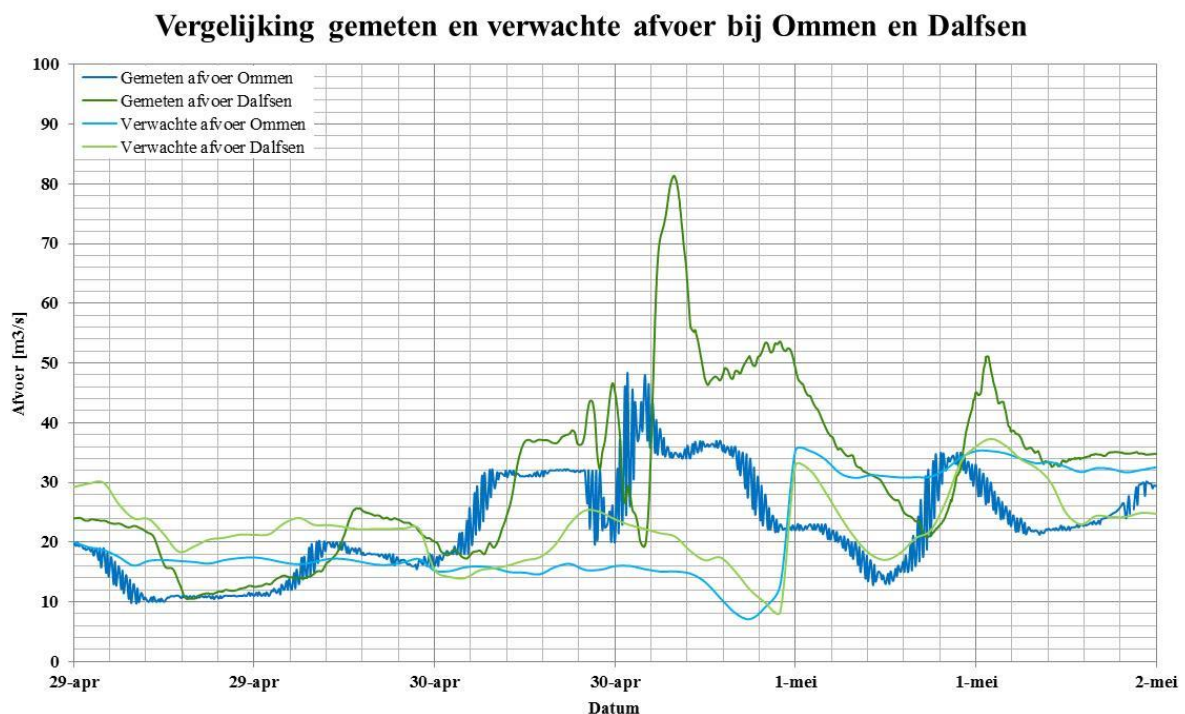
1.6. Periode 6: 29 april – 2 mei 2018

Gedurende deze periode wordt de waterstand bij Vechterweerd vrijwel volledig bepaald door de afvoer. Verder benedenstrooms zijn invloeden van de wind te zien. De grafieken met hierin de afwijkingen per locatie zijn te vinden in Figuur 100. De grafieken met hierin de afwijkingen per locatie zijn te vinden in Figuur 101.

1.6.1. 29 april 02.00 uur – 30 april 00.00 uur

Op 29 april zijn op verschillende momenten afwijkingen te zien. Bij Vechterweerd is de eerste afwijking aan het begin van de dag te zien. Hierbij heeft RWSOS-Meren een afwijking van 18 centimeter, FEWS-Vecht heeft een afwijking van 14 centimeter. Beide verwachtingen zijn hoger dan de gemeten waterstand.

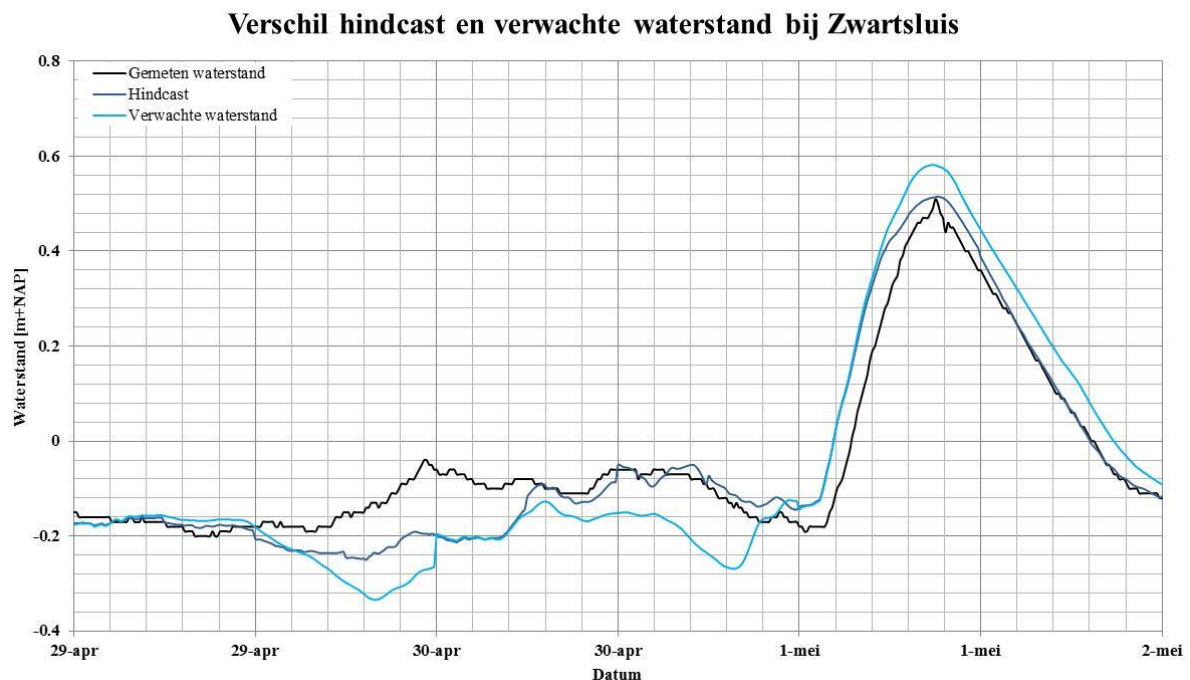
Aangezien het onderlinge verschil klein is, en de waterstand bij Vechterweerd grotendeels bepaald wordt door de afvoer, wordt in de afvoerverwachting naar een verklaring voor de afwijking gezocht. De afvoerverwachting en de gemeten afvoer zijn weergegeven in Figuur 102.



Figuur 102 Vergelijking van de gemeten en verwachte afvoer bij Ommen en Dalfsen, over de periode 29 april tot 2 mei 2018

In de figuur is te zien dat de verwachte afvoer aan de hoge kant is. Deze afvoerverwachting bij Ommen is zo'n 5 m³/s te hoog, en de afvoerverwachting bij Dalfsen is 10 m³/s te hoog. Wanneer naar deze absolute waarden gekeken wordt, is dit een klein verschil. Echter, de gemeten afvoer bedraagt 10 tot 20 m³/s, waardoor dit een afwijking van 25 tot 50 procent is. Dit kan de te hoge afvoerverwachting veroorzaken.

Later op deze dag zijn op de andere locaties afwijkingen te zien. De afwijking van FEWS-Vecht is bij Mond der Vecht 10 centimeter, bij Zwartsluis 11 centimeter, en bij de Ramspolbrug 12,5 centimeter. De afwijkingen van RWsOS-Meren zijn respectievelijk 15 centimeter, 23 centimeter en 15 centimeter. De verwachtingen van beide systemen zijn aan de lage kant. Op deze drie locaties worden de



Figuur 103 Vershil tussen de hindcast en verwachte waterstand van RWsOS-Meren bij Zwartsluis, over de periode 29 april tot 2 mei 2018

waterstanden ook beïnvloed door de windopzet. Zoals in Figuur 102 te zien is, wijkt de verwachte afvoer op dit moment weinig af van de gemeten afvoer. De oorzaak van de afwijkingen moet dus ergens anders gezocht worden. Vanwege de mogelijke invloed van de windopzet, wordt de hindcast van RWsOS-Meren met de verwachting hiervan vergeleken. Dit is weergegeven in Figuur 103.

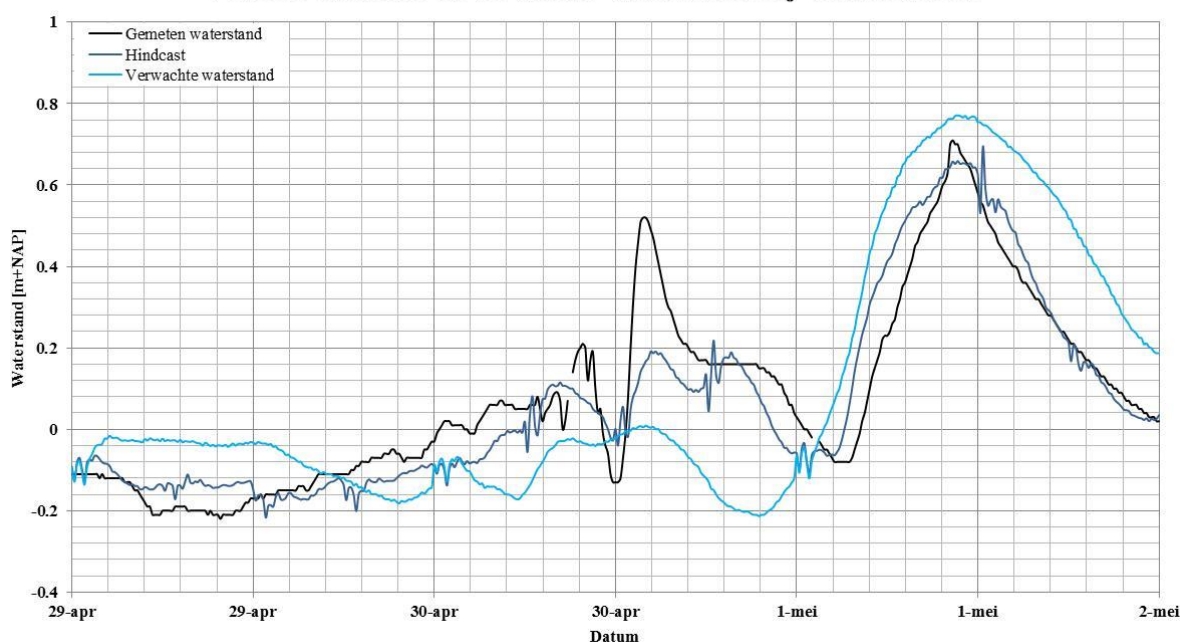
In deze figuur is te zien dat de hindcast hoger is dan de verwachting, en minder afwijkt van de gemeten waterstand. Deze afwijking is nu maximaal tien centimeter. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de windverwachting van het meteorologische model geen nauwkeurige verwachting heeft gegeven.

1.6.2. 30 april 10.00 uur – 1 mei 00.00 uur

Op 30 april is duidelijk het verschil in invloed van de afvoer tussen Vechterweerd en de overige locaties te zien. Zoals in Figuur 36, Bijlage C.1, is weergegeven, was er op deze dag een piek in de afvoer te zien. Deze piek is terug te zien in de waterstand bij Vechterweerd. Echter, beide verwachtingen missen deze piek volledig. De verklaring hiervoor kan gevonden worden in de afvoerverwachting. Zoals in Figuur 102 te zien is, wordt de afvoerpiek niet verwacht. De verwachte afvoer is hierdoor 30 (Ommen) tot 60 (Dalfsen) m³/s te laag. Aangezien de afvoerverwachting input vormt voor beide modellen, kan gesteld worden dat deze foutieve afvoerverwachting (een deel van) de oorzaak vormt voor de onjuiste waterstandsverwachting.

Dit wordt bevestigd door de hindcast. Zoals weergegeven in Figuur 104, bevat de hindcast niet de piek bij Vechterweerd. Het verschil met de gemeten waterstand is echter kleiner. Hieruit blijkt dat de verwachting van het meteorologische model van RWsOS-Meren niet volledig juist was.

Vershil hindcast en verwachte waterstand bij Vechterweerd



Figuur 104 Verschil tussen de hindcast en verwachte waterstand van RWSOS-Meren bij Vechterweerd, over de periode 29 april tot 2 mei 2018

Bij de andere locaties is de afvoerpiek niet duidelijk terug te zien in de verwachting. Echter, de verwachtingen wijken ook hier af van de gemeten waterstand. Hierbij geldt dat de afwijking van RWSOS-Meren benedenstrooms kleiner is dan bovenstrooms. De afwijking van FEWS-Vecht blijft ongeveer gelijk. Dit is te verklaren door het feit dat RWSOS-Meren de afvoer minder invloed laat hebben naarmate verder benedenstrooms een verwachting gemaakt wordt. Om de afwijking van RWSOS-Meren toch te verklaren, wordt het verschil tussen de hindcast en de verwachting van RWSOS-Meren geanalyseerd. Dit is weergegeven in Figuur 103.

Hieruit blijkt dat de hindcast bij Vechterweerd vrijwel gelijk is aan de meting. Hierdoor kan gesteld worden dat het model in principe een goede verwachting heeft gemaakt, maar dat het onderliggende meteorologische model een afwijkende (wind)verwachting heeft geleverd.

Aangezien het verschil tussen de afvoer bij Ommen en Dalfsen zo groot is, is het mogelijk dat de verwachtingen van de laterale afvoeren na Dalfsen lager waren dan de werkelijke laterale afvoeren. Dit zou verklaren waarom de afwijking van FEWS-Vecht ongeveer gelijk blijft, of zelfs iets toeneemt, naarmate verder benedenstrooms gekeken wordt.

1.6.3. 1 mei 02.00 uur – 1 mei 22.00 uur

Op 1 mei is bij alle locaties een duidelijke piek te zien in de waterstand. Beide verwachtingen geven deze piek, hoewel de verwachting van FEWS-Vecht te laag is, en de verwachting van RWSOS-Meren te hoog.

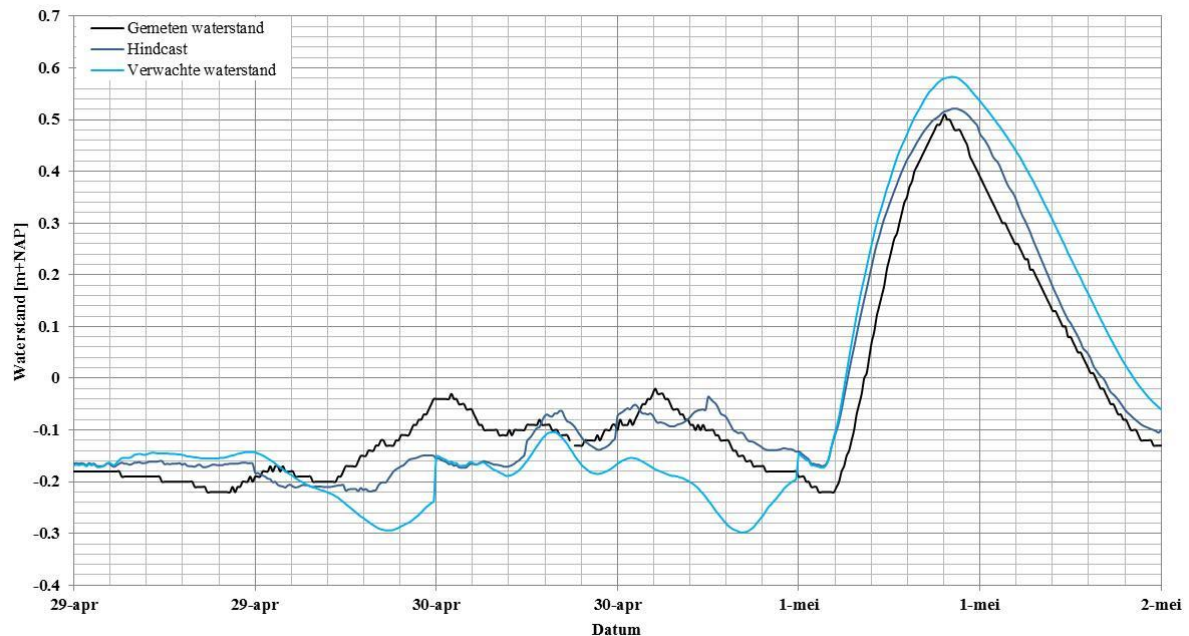
Op deze dag is een piek in de windsnelheid te zien. Gedurende deze piek heeft de wind een zuidelijke tot westelijke richting. Verder is er een piek te zien in de afvoer van de Vecht, en in de afvoeren van de lateralen.

Wat opvalt in de afwijkingen tussen de modellen, is dat bij Vechterweerd FEWS-Vecht de kleinste afwijking heeft, terwijl dit bij Mond der Vecht en Zwartsluis omgekeerd is. Bij de Ramspolbrug is het verschil klein, aangezien de verwachting van RWSOS-Meren hier input is voor FEWS-Vecht.

Bij Vechterweerd speelt, zoals eerder vermeld, de afvoer de grootste rol. Uit Figuur 102 blijkt dat de afvoerverwachting bij Ommen, welke door RWSOS-Meren als input gebruikt wordt, te hoog is. Bij Dalfsen is de afvoerverwachting juist te laag. Dit verklaart het grote verschil tussen FEWS-Vecht, wat een afvoer op een locatie omrekent tot een waterstand op deze locatie, en RWSOS-Meren. Het verschil

tussen de afvoerverwachtingen op de locaties wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de verwachte afvoer van de lateralen de Regge en het Ommerkanaal.

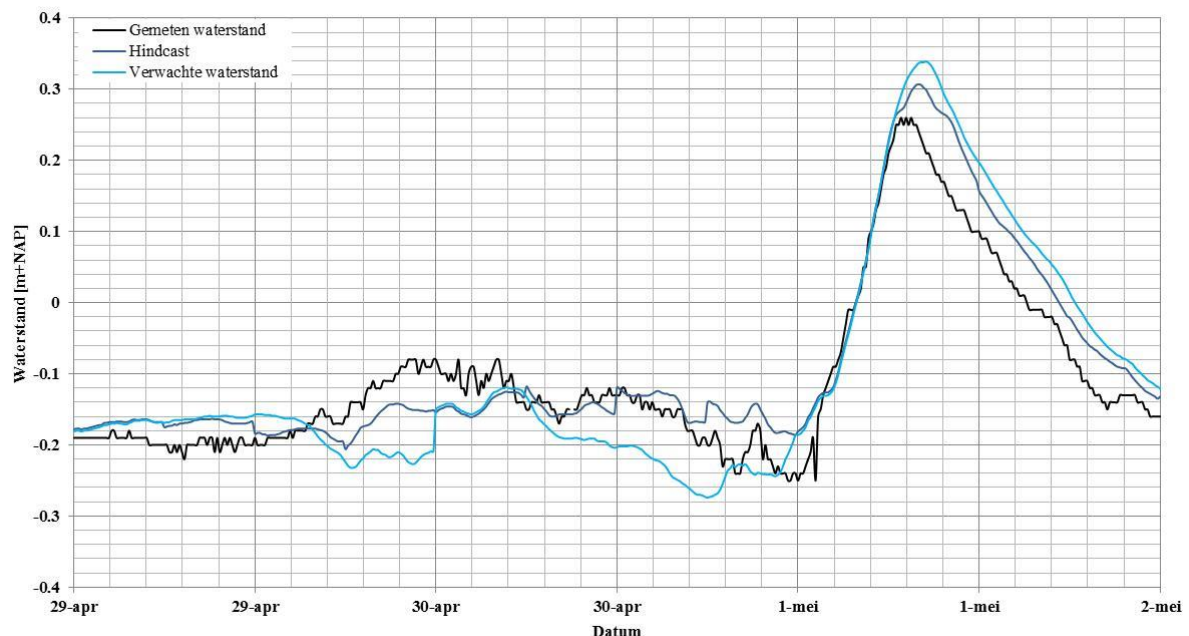
Vershil hindcast en verwachte waterstand bij Mond der Vecht



Figuur 105 Verschil tussen de hindcast en verwachte waterstand van RWsOS-Meren bij Mond der Vecht, over de periode 29 april tot 2 mei 2018

Ook wordt gekeken naar het verschil tussen de hindcast en de verwachting. Bij alle locaties. Deze zijn weergegeven in Figuur 103, Figuur 104, Figuur 105 en Figuur 106.

Vershil hindcast en verwachte waterstand bij Ramspolbrug



Figuur 106 Verschil tussen de hindcast en verwachte waterstand van RWsOS-Meren bij Ramspolbrug, over de periode 29 april tot 2 mei 2018

Uit deze figuur blijkt dat de verwachting van de waterstandsstijging vanaf Zwartsluis gelijk is aan de hindcast. Bij de waterstandsdaling wijken de verwachting en de hindcast van elkaar af, hierbij is de hindcast gelijk aan de gemeten waterstand. Dit kan erop wijzen dat de meteorologische verwachting op dat moment onnauwkeurig was.

1.6.4. Conclusie

Gedurende deze periode geldt dat de waterstanden bovenstrooms grotendeels bepaald worden door de afvoer. Verder benedenstrooms speelt de windopzet een grote rol. Wat opvalt tijdens deze periode is dat beide modellen soms afwijken, zonder dat hier een duidelijke reden voor is. De oorzaak ligt waarschijnlijk in de onderliggende meteorologische modellen, waardoor het lastig is de invloed van de onderlinge verschillen te onderzoeken. Wel geldt dat over het algemeen, zeker tijdens de windpiek op 1 mei, RWsOS-Meren bruikbaar is dan FEWS-Vecht.