

Landelijk Sobek Model LSM3

Update en verificatiesom 2018



Landelijk Sobek Model LSM3
Update en verificatiesom 2018

Auteur(s)
Geert Prinsen

Landelijk Sobek Model LSM3

Update en verificatiesom 2018

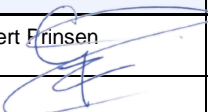
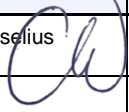

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	de heer M. Scholten
Referenties	G.F.Prinsen, LSM3 performance (maart 2021) Deltares memo11206813-016-ZWS-0002
Trefwoorden	LSM3, verificatie 2018, performance.

Documentgegevens

Versie	1.1
Datum	20-12-2021
Projectnummer	11206813-016
Document ID	11206813-016-ZWS-0009
Pagina's	98
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Geert Prinsen	

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
1.1	Geert Prinsen 	Carine Wesselius 	Bianca Peters 	

Samenvatting

Dit rapport beschrijft de aanpassingen in het LSM3 model die naar aanleiding van eerdere analyses in het voorjaar van 2021 waren geïdentificeerd. De aanpassingen zijn geverifieerd door vergelijking van de resultaten van een berekening met SOBEK 3.7.22 voor het droge jaar 2018 met SOBEK2 LSM sommen voor datzelfde jaar. Als verificatie van chloride resultaten zijn chloride-gehalten in het Rijn-Maasmonding gebied vergeleken met resultaten van het SOBEK3 RMM model. Het aangepaste LSM3 model laat zowel qua waterverdeling in vergelijking met SOBEK2 LSM als qua chloride in vergelijking met het SOBEK3 RMM model vergelijkbare resultaten zien.

Tenslotte is het LSM3 model gedraaid met een update van SOBEK3 (DIMRSet 4495 dd. 23 november 2021) waarin versnellingsopties in de rekenkern zijn geïmplementeerd. Deze versnellingen zullen in de volgend voorjaar uit te brengen SOBEK 3.7.24 zijn opgenomen. Het blijkt dat deze opties een flinke reductie van rekestijd geven, waardoor het SOBEK3 LSM3 model nu sneller rekent dan het LSM in SOBEK 2.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	7
1.1	Achtergrond	7
1.2	Leeswijzer	7
2	Aanpassingen in LSM3	8
2.1	Overzicht activiteiten	8
2.2	Software versies	8
2.3	Aanpassingen in het model	8
2.3.1	Verbetering van de sturing van sluis Born (Julianakanaal)	8
2.3.2	Afvoercoëfficiënten Hartelkering	9
2.3.3	Sturing Volkeraksluizen (doorspoeling)	9
2.3.4	Modellering Krammersluizen (Volkerak-Oosterschelde)	10
2.3.5	Twentekanalen schut- en lekverliezen	10
2.3.6	Lateralen voor neerslag en verdamping	10
2.3.7	Sturing inlaat Rijnland	11
2.3.8	Korte rekensegmenten en bruggen	11
2.3.9	Dubbele of ontbrekende laterale debieten	11
2.3.10	Losliggende takken	12
2.3.11	Chloride parameters RMM	13
2.3.12	Wind shielding parameters	13
2.3.13	Overige geconstateerde en verholpen punten	13
3	Verificatie waterbeweging 2018	16
3.1	Inleiding	16
3.2	Albertkanaal	16
3.3	Waterverdeling bij Maastricht	17
3.4	Bunde (Julianakanaal)	18
3.5	Driel	19
3.6	Nijmegen Haven	20
3.7	Tiel	20
3.8	Hagestein	21
3.9	Irenesluizen	21
3.10	Oranjesluizen	22
3.11	IJmuiden	22
3.12	Haringvliet	23
3.13	Nieuwe Waterweg	23
3.14	Volkerak en Krammer	24

3.15	Bathse spuisluis	25
3.16	IJsselmeer	25
3.17	Lemmer	26
3.18	Gaarkeuken	27
3.19	Eefde	28
3.20	Spuidebiet Afsluitdijk	29
3.21	KWA	30
3.22	Aanvoer Drenthe	36
3.23	Aanvoer Linge	37
3.24	Aanvoer en afvoer West-Brabant	39
3.25	Afvoer Rijnland naar Noordzeekanaal	41
3.26	Overige waterstanden	42
4	Verificatie chloride 2018	47
4.1	Vergelijking met SOBEK3 RMM-VoZo	47
5	Resultaten nieuwe DIMRSet versie	52
5.1	Inleiding	52
5.2	Aanpassingen in de code	52
5.3	Rekentijd	54
5.4	Vergelijking resultaten met SOBEK 3.7.22	55
6	Conclusies en aanbevelingen	60
7	Referenties	62
	Bijlage A: Resultaten waterstanden	63

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In 2020 is in het kader van KPP modelschematisaties een eerste versie van het LSM3 model in SOBEK3 afgerond. Het model is voor de hydrologische droge jaren van 2003 en 2018 getest (Wesselius en Fijisaki, 2019 en 2020). Binnen de genoemde rapportage was het doel om tot een draaiend model te komen. Daarbij zijn toen al inhoudelijke verbeterpunten voor de schematisatie genoemd, en als belangrijke conclusie aangegeven dat de rekentijd van LSM3 nog te hoog was in vergelijking met SOBEK2.

Naar aanleiding van die resultaten is voorjaar 2021 een analyse uitgevoerd om het LSM3 te versnellen. Eerst zijn diverse bottlenecks verwijderd en een aantal verbeteringen doorgevoerd, waardoor de rekentijd bijna werd gehalveerd. Echter, het SOBEK2 LSM light 1.2 model dat in NWM gebruikt wordt is nog steeds ongeveer een factor 2 sneller dan de in maart 2021 opgeleverde versie. Verder zijn binnen de analyse nog een aantal inhoudelijke verbeterpunten gesignaleerd en mogelijke versnellingen in de SOBEK3 software aangegeven (Prinsen, memo11206813-016-ZWS-0002 dd. maart 2021).

Door RWS is budget beschikbaar gesteld om de geconstateerde inhoudelijk gewenste verbeteringen te realiseren en parallel hieraan is in KPP-Software aan de SOBEK3 software gewerkt om daar versnellingen te realiseren.

Deze rapportage beschrijft de wijzigingen in de LSM3 schematisatie die na maart 2021 zijn geïmplementeerd, geeft de resultaten van de verificatiesom voor 2018 en vergelijkt deze resultaten met de NWM som BP2018 met hydrologie van 2018. Voor chloride is een vergelijking gemaakt met de SOBEK3 chloride resultaten van het model voor de Rijn-Maas monding en Volkerak-Zoommeer (RMM-VoZo). Ook is de performance van de in KPP-Software gerealiseerde versnellingen van de DFlow-1D rekenkern onderzocht.

Het project is uitgevoerd door Geert Prinsen. het project is begeleid door Aukje Spruyt (projectleider KPP Schematisaties Zoet, Deltares) en Martin Scholten (Projectleider KPP Hydraulica Schematisaties, RWS). Review van dit memo is uitgevoerd door Carine Wesselius (LSM3 projectleider in 2019-2020).

1.2 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 bevat een overzicht van de activiteiten, gebruikte software en aanpassingen van het model. Hoofdstuk 3 beschrijft de resultaten van een verificatiesom voor het jaar 2018 voor de waterbeweging en vergelijking met de SOBEK2 LSM versies. Hoofdstuk 4 beschrijft de resultaten voor chloride en vergelijkt deze met berekeningen voor het RMM-VoZo model. Hoofdstuk 5 geeft een korte analyse van de rekentijd en resultaten bij gebruik van een nieuwere versie van de rekencode waarin versnellingsopties zijn geïmplementeerd (DIMRSet versie van 23 november). Hoofdstuk 6 geeft conclusies en aanbevelingen, en hoofdstuk 7 bevat de referenties.

2 Aanpassingen in LSM3

2.1 Overzicht activiteiten

In het memo van maart 2021 zijn de volgende verbeterpunten voor LSM3 benoemd (Prinsen, 2021):

- 1 Verbetering van de sturing van Sluis Born (Julianakanaal)
- 2 Correctie van de afvoercoëfficiënten van de Hartelkering
- 3 Sturing inlaat (doorspoeling) Volkeraksluizen
- 4 Modellerings Krammersluizen (Volkerak-Oosterschelde)
- 5 Eefde schut- en lekverliezen
- 6 Lateralen voor neerslag en verdamping
- 7 Sturing inlaat Rijnland (Gouda, Bodegraven)
- 8 Numerieke bottlenecks bij korte rekensegmenten en bruggen
- 9 Dubbelingen in lateralen
- 10 Losliggende takken
- 11 Chloride parameters uit RMM overnemen
- 12 Wind shielding parameters overnemen

Na verbeteren van deze punten, is het model gevalideerd door een simulatie voor het droge jaar 2018. Naar aanleiding hiervan zijn nog een aantal verbeteringen in met name delen van het regionale model doorgevoerd. Dit wordt verder in deze rapportage toegelicht.

2.2 Software versies

De analyse is uitgevoerd met SOBEK versie 3.7.22.52202 van februari 2021. De sommen zijn buiten de GUI gedraaid in verband met de overhead van de Deltashell GUI. Bij het draaien via DIMR zijn gebruikt de D-Flow1D en D-RTC rekenkernen en DIMR:

- (D-Flow1D) cf_dll.dll, D-Flow 1D Version 5.00.024.70032M, 28 Jan 2021, 09:00:00
- (D-RTC) FBCTools_BMI.dll, Version 1.6.1.1221 (Win64), 28 Jan 2021, 09:00:00
- Dimr.exe Versie 2.00.00.68167M (Win64), 28 Jan 2021, 09:00:00

Voor de controle van rekestijden met de SOBEK3 versie waarin extra software-aanpassingen zijn geïmplementeerd is de DIMRSET versie van 23 November 2021 gebruikt, met daarin de volgende versies van de rekenkernen:

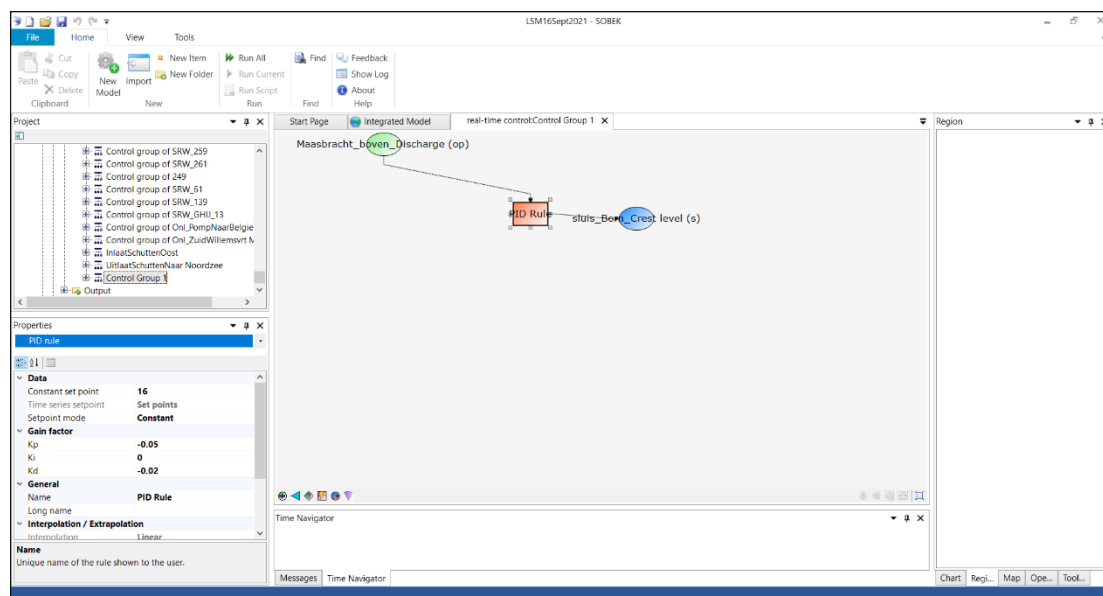
- (D-Flow1D) cf_dll.dll, D-Flow 1D Version 5.00.024.73707M, 23 Nov2021, 20:10:46
- (D-RTC) FBCTools_BMI.dll, Version 1.6.1.1227 (Win64), 29 Oct 2021, 20:01:35
- Dimr.exe Versie 2.00.00.140391M (Win64), 23 Nov 2021, 17:23:42

2.3 Aanpassingen in het model

2.3.1 Verbetering van de sturing van sluis Born (Julianakanaal)

In het LSM model in SOBEK2 stuurt de sluis Born op een gewenst benedenstrooms debiet van 16 m³/s. In LSM3 stond de sluis altijd dicht en er was geen sturing gedefinieerd. Dat is niet correct. Daarom is voor sluis Born een vergelijkbare sturing als in het SOBEK2 LSM toegevoegd via de D-RTC module.

Het gaat om kunstwerk S_MS_05, sluis Born. Er wordt gestuurd op de benedenstroomse meetlocatie Maasbracht_Boven. Het gewenste debiet is gezet op 16 m³/s, en wordt met een PID (PIDVEL) controller gehandhaafd met minimum en maximum kruinhoogtes van 43.1 en 44.5 m NAP (zie figuur 1).



Figuur 1: Sturing sluis Born

Deze aanpassing voor sluis Born blijkt echter nog niet goed genoeg om de gewenste waterverdeling te krijgen, omdat de sturing bij sluis Limmel in LSM3 nog niet compleet is: de sluis Limmel wordt alleen bij hoge afvoeren dichtgezet. Door aanpassing van de hydraulische controller tabel voor de sluis Limmel is de afvoer door de sluis ook bij lage Maasafvoeren (< 100 m³/s) beperkt.

2.3.2 Afvoercoëfficiënten Hartelkering

Voor het element Hartel_small stonden de afvoercoëfficiënten ten onrechte op 0.0, en zijn gecorrigeerd naar 1.0.

2.3.3 Sturing Volkeraksluizen (doorspoeling)

De in LSM3 opgenomen sturing, afkomstig uit RMM-VoZo, is gefocust op extra afvoer via de Volkeraksluizen bij extreem hoge afvoeren van Rijn en Maas, om op deze manier water af te leiden naar de Zuidwestelijke Delta. Daarnaast is het zo dat in drogere situaties de Volkeraksluizen in de praktijk worden gebruikt om vanuit het Hollands Diep het Volkerak door te spoelen om de chloride concentraties op Volkerak-Zoommeer niet te hoog te laten oplopen. Deze sturing is niet in RMM-VoZo opgenomen, maar wel belangrijk voor de toepassing van LSM in het Nationaal Water Model (NWM) voor droogteanalyses. Voor LSM3 is daarom de inlaatmogelijkheid toegevoegd (geschematiseerd door pompen, om de sturing eenvoudig te houden) op een manier die vergelijkbaar is met het SOBEK2 LSM model. Het ingelaten debiet is daarbij afhankelijk van de peilen aan weerszijden van de sluisen. In SOBEK2 is de invoer als volgt (figuur 2):

Stage	Capacity [m ³ /s]	Suction Side Switch On Level [m above datum]	Suction Side Switch Off Level [m above datum]	Delivery Side Switch On Level [m above datum]	Delivery Side Switch Off Level [m above datum]
1	8	-1	-1.1	0	0.15
2	20	-0.9	-1	-0.05	0.1
3	30	-0.85	-0.95	-0.09	-0.06
4	50	-0.8	-0.9	-0.11	-0.07
5	100	1.5	1.3	-0.15	-0.08

Figuur 2: SOBEK2 inlaat Volkeraksluizen, geschematiseerd als 5 pompen

Bij het omzetten naar SOBEK3 moet er rekening mee gehouden worden dat in SOBEK2 de cumulatieve pompcapaciteit wordt opgegeven, terwijl in SOBEK3 de pompen apart als element van een compound structure zijn opgegeven en dus niet de cumulatieve capaciteit, maar de afzonderlijke capaciteit van elke pomp in de invoer wordt opgegeven. Deze sturing van de Volkeraksluizen houdt het debiet tussen 20 en 30 m³/s in 2018, en het peil Volkerak rond de -0.06 m NAP (winter) met uitzakken naar -0.09 m NAP (zomer).

2.3.4 Modelling Krammersluizen (Volkerak-Oosterschelde)

Voor de Krammersluizen blijkt er verschil te zijn in het gedefinieerde netto lekdebiet van het Volkerak naar de Oosterschelde. In LSM 1.2 staat dat op netto +18.95m³/s naar de Oosterschelde. In LSM3 stond het op netto 2.05 m³/s naar het Volkerak. Er is overlegd met Meinard Tiessen (Deltares), die recent voor de modellering van de ZuidWestelijke Delta heeft uitgezocht wat de beste schatting van dit lekdebiet is. Zijn advies is: netto 8.8 m³/s naar de Oosterschelde. In het LSM3 is dat opgebouwd door een debiet van 0.30 m³/s van Oosterschelde naar Volkerak via ZZS_Krammersluizen, 0.75 m³/s van Oosterschelde naar Volkerak via ZW_59, en 9.85 m³/s van Volkerak naar Oosterschelde bij kunstwerk Krammersluizen. De eerste twee debieten zijn van Oosterschelde naar Volkerak, het grotere laatste debiet is juist van Volkerak naar Oosterschelde. Maar gegeven de richting van de debieten en de opgegeven dispersie komt er op deze manier ook chloride via de Krammersluizen het Volkerak in.

2.3.5 Twentekanalen schut- en lekverliezen

In LSM3 stond bij Eefde een lozing van 0.54 m³/s, terwijl er in LSM in SOBEK2 een lekverlies van 1.7 m³/s was gedefinieerd. In LHM is dit in 2019 (LHM 3.4) verhoogd tot 2.5 m³/s voor de huidige situatie. Voor Delden en Hengelo zijn de meest recente getallen uit LHM 1.7 respectievelijk 0.5 m³/s. Deze nieuwe getallen uit LHM zijn nu ook in LSM3 geïmplementeerd voor Eefde (was 0.54), Delden (was 0.52) en Hengelo (was 0.13).

2.3.6 Lateralen voor neerslag en verdamping

Op basis van de laterale debieten en locaties in LSM1.3 (in SOBEK2) zijn extra lateralen voor neerslag en verdamping uit open water toegevoegd in LSM3. De belangrijkste zijn voor de grote wateroppervlakken zoals IJsselmeer, Markermeer, randmeren, Hollands Diep Haringvliet, Volkerak-Zoommeer, en de stuwpanden op de Maas. Op basis van LSM 1.3 zijn ongeveer 250 lateralen toegevoegd en is de 2018 tijdreeks van die lateralen geconverteerd naar het SOBEK3 tijdreeks formaat (bc file).

2.3.7 Sturing inlaat Rijnland

De inlaat bij Gouda bleek nog niet correct gestuurd te worden in LSM3. Dit is aangepast op basis van de sturing in het SOBEK2 model.

- Kunstwerk Boezemgemaal Gouda, capaciteit 34.6 m³/s in positieve richting (uitlaat uit Rijnland). Dit gemaal staat altijd aan door de aan-en afslagpeilen te definiëren op -9 en -10m NAP. Door middel van een hydraulische controller op basis van het peil bij meetpunt Nieuwe Wetering wordt het pompdebiet gestuurd.
- Kunstwerk Onl_inlaat_Gouda, met capaciteit 35 m³/s in negatieve richting (=inlaat naar Rijnland). De inlaat gaat in het model aan bij een peil in Rijnland van -0.645m NAP en uit bij een peil van -0.60m NAP. In verband met zoutindringing bij lage Rijnafoeren mag deze inlaat alleen aan bij voldoende hoge rivierafvoeren (afhankelijk van het debiet bij Lobith).
- Kunstwerk Inlaat_Gouda_tijdens_KWA. Dit is nu geschematiseerd als een pomp met capaciteit 5 m³/s in de negatieve richting (=inlaat naar Rijnland) De pomp gaat aan bij een boezempeil van -0.65m NAP en uit bij een boezempeil van -0.62m NAP. Deze inlaat met beperkte capaciteit mag in het model alleen gebruikt worden bij lage rivierafvoer bij Lobith.
- Kunstwerk Gouda, capaciteit 0.1 m³/s in negatieve richting (=inlaat naar Rijnland), mits het peil aan de Hollandse IJssel > -2.0m NAP. Het is een tijdreeks met schutdebieten (0.1 tot 0.3 m³/s)

2.3.8 Korte rekensegmenten en bruggen

In LSM3 zijn veel bruggen in regionale netwerken verwijderd in verband met issues die daar eerder in SOBEK3 mee waren. Echter, in een aantal gevallen is hierdoor een kort rekensegment (korte tak) zonder een gedefinieerd kunstwerk ontstaan, en dat is mogelijk beperkend voor de rekensnelheid. Hiervoor zijn twee mogelijke oplossingen:

- 1 Of het rekengrid rondom de voormalige bruggen aanpassen zodat het korte segment niet meer beperkend is voor de rekentijd,
- 2 Of de brug weer opnieuw definiëren op dit korte takje.

De schematisatie is aan de hand van de modeluitvoer nagelopen op kritische korte takjes waarop de rekentijdstep wordt geknepen. De meest knellende locaties waren al bij de acties voorjaar 2021 opgelost, een aantal andere zijn nu opgelost. Bij een aantal locaties bleek ook dat de kunstwerken net niet correct lagen ten opzichte van de cross-secties (bv.net verkeerd ten opzichte van een bodemsprong op de Zuid-Willemsvaart). Het gaat om enkele aanpassingen bij knoop/tak SRW_GHIJ_73, SRW_7561_1, ZuidWillemsvaart07_8, ARK001_2, RL_462-058-00265_1 (Spaarne Haarlem), FVNZ_445_4, 3_buizen_onder_ARK_door_7 (bij het Noordergemaal), en HN_WG_US_0080C_4.

2.3.9 Dubbele of ontbrekende laterale debieten

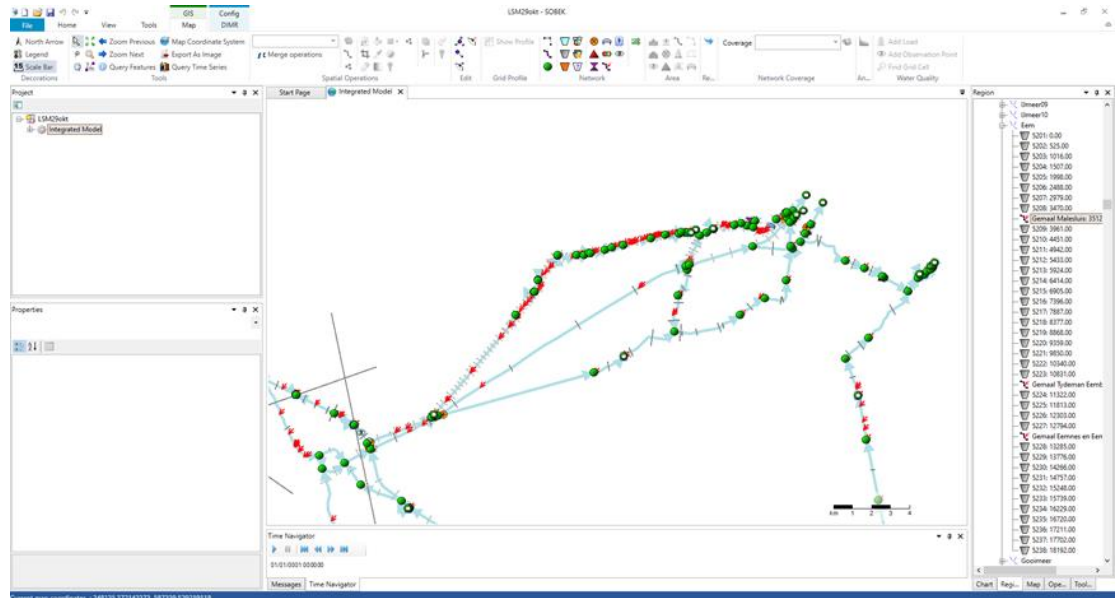
Opgedrukte lateralen die in het nieuwe model via de koppeling met het regionale netwerk worden meegenomen (en dus niet meer hard als tijdreeks moeten worden opgedrukt) zijn op nul gezet. Verder zijn een paar lateralen gecorrigeerd qua locatie, en is een lateraal toegevoegd om de afvoer van de Roer mee te nemen. Voor de Roer bij Stah was geen randvoorwaarde gedefinieerd (dus Q=0), en het eenvoudigst om de afvoer van de Roer wel in het model mee te nemen was een laterale knoop direct na de rand toe te voegen. Een kort overzicht van de aanpassingen:

- De laterale knoop Q_Woudagemaal is qua locatie gecorrigeerd, en qua debiet op nul gezet omdat op basis van het toegevoegde regionale model van Friesland de afvoer wordt bepaald.

- Ook de laterale knoop Q_Bumagemaal is qua locatie gecorrigeerd. Het opgedrukte debiet is gehandhaafd omdat het detailmodel NoordOostpolder niet in LSM3 is opgenomen. Bij sommen voor andere jaren dan 2018 moet de tijdreeks wel worden aangepast, bijvoorbeeld op basis van LHM berekeningen of op basis van metingen.
- De tijdreeksen voor Gemaal Westerkogge en Gemaal de Drieban zijn aangepast naar de lozingen en onttrekkingen volgens het LSM-KRW SOBEK2 model voor 2018 (district 341 en 331).
- Voor het Eemmeer is de lozing Nijkerkerspui sluis op nul gezet, want de operatie van het kunstwerk is in LSM3 opgenomen.
- De laterale debieten Neerslag2 en LatEvap_DM6032 zijn op nul gezet; de eerste betrof de lozing van gemaal Lovink (doorspoeling) op het Veluwemeer, en de tweede was geen verdamping.
- Voor de laterale debieten OUDEYS en YSSEL4 zijn de laterale debieten volgens het LSM-KRW SOBEK2 model opgegeven voor 2018.
- De debieten van de zijrivieren van de Maas: Niers, Swalm en Roer zijn overgenomen uit de LSM-KRW som voor 2018.
- Verder zijn in diverse regio's laterale debietlocaties toegevoegd, omdat in LSM3 niet alle locaties zijn overgenomen. Dit betreft onder andere lateralen op het Twentekanaal, in Drenthe, Groningen, Schieland, Brabantse Delta.
Deze lateralen zijn zo goed mogelijk gevuld met waarden uit een SOBEK2 LSM som voor 2018. Het is noodzakelijk om bij implementatie van LSM3 in NWM de koppelingstabel van laterale debiet locaties in LSM3 aan LHM debieten (per DM knoop en district) kritisch te controleren en waar nodig te herzien.
- Verder bleek bij diverse lozingen die in SOBEK2 als dry waste load (dus met $q=0$ m³/s) waren gezet, nu een default lozing van 1.0 m³/s te zijn gezet. Het betreft hier diverse lateralen met id beginnend met KI_ en KE_. Veel van deze lateralen zaten in het benedenrivierengebied (en daar is het effect gering), maar deze lateralen zorgden op de Maas bij Maastricht voor een te hoge afvoer en dus een onderschatting van droogteproblemen. Deze afvoeren zijn daarom op 0.01 m³/s gezet. Voor gebruik van het LSM3 voor waterkwaliteit zal moeten worden bekeken wat de hoeveelheid (of concentratie) van de geloosde stoffen is.

2.3.10 Losliggende takken

Zoals in de rapportage van maart 2021 is aangegeven, zijn een drietal geïsoleerde stukken netwerk gedetecteerd in het beheersgebied van HDSR en Hunze en Aas. Deze zijn na check met de waterbeheerder aangepast. Voor de Duurswold boezem in Hunze en Aas geldt dat in perioden van droogte er water uit het Eemskanaal kan worden ingelaten via de Slochtersluis. Deze inlaat was ook opgenomen in LSM-KRW (obese variant van LSM in SOBEK2) en is toegevoegd in LSM3 (zie figuur 3). De andere punten betroffen kleine geïsoleerd liggende takjes, deze zijn verbonden met het hoofdnetwerk.



Figuur 3: De boezem Duurswold is bovenstrooms verbonden met het Eemskanaal via de Slochterluis

2.3.11 Chloride parameters RMM

De f3 en f4 dispersiecoëfficiënten voor de zoutindringing in RMM zijn uit het RMM model overgenomen in LSM.

2.3.12 Wind shielding parameters

De default wind factor staat op 0.0 (geen invloed van wind). Op dit moment wordt in LSM gerekend zonder wind, maar om daar toch al wel op voorbereid te zijn, is in LSM voor de takken van grote open wateren (IJsselmeer, Markermeer, ZW-Delta) een default waarde van 1.0 opgenomen, en voor andere iets kleinere open wateren ook een niet-nul waarde. Hierbij is rekening gehouden met de grootte: de Friese meren, Braassemmermeer, Westeinder, Rottemeren, Alkmaardermeer hebben een wind shielding factor van 0.75, en kleinere regionale wateren een wind shielding factor van 0.50.

2.3.13 Overige geconstateerde en verholpen punten

Bij complete modelcheck zijn nog de volgende punten nagelopen:

- 1 Naar aanleiding van de opmerking bij de Volkeraksluizen, over het verschil van de definitie van de pompcapaciteit van een kunstwerk met meerdere pompen in SOBEM2 en in SOBEM3, zijn alle definities van pompen nagelopen. Bij een enkele andere pomp bleek de pompcapaciteit niet correct te zijn omgezet naar SOBEM3, dit is nu gecorrigeerd. (Bijvoorbeeld Weurt, Merwedekanaal inlaat_Vreeswijk, Zedemuden afvoer en aanvoer)
- 2 Interval controllers
Bij een aantal Interval Controllers in RTC werd een keyword MaxStep gebruikt, in plaats van het bedoelde keyword MaxSpeed. Hierdoor sloten sommige kunstwerken veel te traag (bv. SRW_241, Bodegraven). Het MaxStep keyword is vervangen door MaxSpeed, en de MaxSpeed waarden zijn overgenomen uit het LSM in SOBEM2.
- 3 PID controllers in Delfland
Deze bleken niet goed ingesteld te zijn, waardoor het Delflands boezempeil van -0.43 m NAP niet werd gehandhaafd.
- 4 Randvoorwaarden getij
Deze zijn toegevoegd op enkele randen, o.a. bij Den Helder, Scheveningen, Monster, Duurswold, Termunterzijl en op enkele randen in de ZuidWestelijke Delta.

- 5 Sturing Nijkerkssluis en Roggebotssluis
De sturing van deze sluizen bleek op zich te zijn overgezet, maar werkte niet correct omdat bij de Nijkerkersluis een takrichting in het SOBEK3 model net tegengesteld is gedefinieerd als in het SOBEK2 model. De sturing is hierop aangepast.
- 6 De sturing van gemaal Westland ging niet goed omdat er 2 meetpunten met vrijwel identieke naam waren gedefinieerd waarvan in LSM3 de verkeerde werd gebruikt voor de sturing van dit gemaal.
- 7 Sturing Beatrixsluizen: een klein netto lekdebiet van de Lek via de Beatrixsluizen naar het ARK.
- 8 Sturing Irenesluizen: het standaarddebiet in LSM3 richting ARK was vrij hoog (nog iets hoger dan in 2018 praktijk) en is daarom iets lager ingesteld. Maar het is nog wel duidelijk hoger dan in oude LSM SOBEK2 schematisaties. Hierop wordt bij de verificatie van resultaten nader ingegaan.
- 9 De sturing van de inlaat Kromme Rijn is aangepast, zodanig dat bij een peil in het pand Hagestein < 2.50m NAP een noodpomp wordt ingeschakeld (3 m³/s). Dit is meer in lijn met wat er in 2018 is gebeurd.
- 10 De Slochtersluis van Eemskanaal naar boezem Duurswold is toegevoegd voor inlaat in droge perioden. In het LSM 1.3 'obese' was deze aanvoer wel opgenomen, maar in de LSM3 light versie niet.
- 11 Het streefpeilverloop van IJsselmeer en Markermeer in LSM3 was nog het 'oude' verloop van -0.40 m NAP in de winter, en -0.20m NAP in de zomer. In het nieuwe flexibele peilbeheer, vastgesteld in 2017, is dit -0.40m NAP in de winter, dan naar -0.10m NAP eind maart/begin april, vervolgens zakken naar -0.20m NAP medio april en dit handhaven in de zomer, en in september langzaam zakken naar -0.30m NAP en in oktober naar -0.40m NAP. Deze sturing was eerder al in enkele LSM1.3 sommen in NWM geïmplementeerd, en is nu ook in LSM3 geïmplementeerd.
- 12 Op de tak van de ZuidWillemsvaart die in België blijft is de onttrekking van 5 m³/s toegevoegd, en de onttrekking bij Maastricht is beperkt tot 15 m³/s zodat netto 10 m³/s bij Loozen weer naar Nederland terug kan komen. Verder is de sturing van het kunstwerk Onl_Zuidwillemsvrt Maastricht op het debiet bij Sint Pieter Noord, en niet op het peil.
- 13 Sturing van een duiker bij Bodegraven was niet correct, de Sobek2 openingshoogtes (relatief in m) waren als 'gate lower edge' level (in m NAP) overgenomen. Dit is gecorrigeerd. Dit speelt ook bij de Waaiersluis (SRW_GHIJ_13) en RW_650 Sluis Meppel.
- 14 Aan/afslagpeilen bij gemaal Dolk (Rijnland-Delfland) zijn gecorrigeerd.
- 15 Dintelsas en Benedensas sturing is toegevoegd, zoals in SOBEK2.

Tenslotte is na het opstellen van het concept rapport nog een budget beschikbaar gesteld voor nog een updateslag. Het ging hierbij vooral om verschillen die bij de vergelijking van SOBEK 3.7.22 met de nieuwe versie (met versnellingsoptie) bij Hagestein waren geconstateerd, en om verschillen tussen LSM3 en oudere versies bij Bodegraven. Deze issues zijn aangepakt, en daarnaast zijn nog een paar kleine aanpassingen gedaan zoals hierna wordt benoemd.

16 Hagestein

De sturing bij Hagestein bleek gevoelig, omdat bij het openen en het sluiten van de omloopriolen er met een langzaam openen en sluiten over een periode van enkele uren gewerkt werd, binnen kleine waterstandsmarges, en bij het uitzakken van het bovenstrooms peil onder de +2.96m NAP de dan actuele opening werd gehandhaafd. Dat heeft als consequentie dat door het 10 minuten eerder of later overschrijden van die +2.96m NAP grens (terwijl de omloopriolen langzaam aan het openen of sluiten waren) de som met SOBEK 3.7.22 een andere opening had dan de som met de nieuwe DIMRSet versie. En dat werkt door in een ander debiet door de stuw Hagestein en een verschil in uitzakken van het bovenstrooms peil van de stuw.

Om deze (ongewenste) gevoeligheid van de sturing te voorkomen is de sturing aangepast zodat bij onderschrijden van dat peil van +2.96 er expliciet een vaste opening wordt ingesteld. Op die manier wordt een minimum afvoer ingesteld (die alleen nog iets varieert afhankelijk van het bovenstroomse peil Hagestein). De instelling is nu zodanig dat er bij lage peilen in het stuwpannd Hagestein er daggemiddeld orde 1 à 1.5 m³/s door de omloopriolen wordt afgevoerd. Als een hogere afvoer gewenst is, dan moet de kruinhoogte van de omloopriolen bij lage bovenstroomse waterstanden iets lager worden ingesteld, dat zal resulteren in een hogere afvoer en ook snellere uitzakking van het bovenstrooms peil.

Er is ook nog gekeken naar een nieuwere modelversie van het Rijntakken model waarin de sturing is aangepast (het sobek-rijn-j19_6 model). Omdat daarin echter ook de kunstwerken compleet anders geschematiseerd zijn, naamgeving van takken anders is etc., zou het correct overnemen van die sturing een inspanning betekenen die niet realiseerbaar was binnen het beperkte aanvullende budget.

17 Bodegraven

Bij de eerste concept resultaten was geconstateerd dat de afvoer van HDSR naar Rijnland bij Bodegraven systematisch te hoog was, en dat de afvoer van HDSR naar de Hollandsche IJssel bij de Waaiersluis systematisch te laag (sterker nog, er werd vaak water ingelaten). Met een aanpassing van o.a. aan- en afslagpeilen bij het Noordergemaal (Utrecht) werd een kleine verbetering gerealiseerd, maar het grote verschil bleek uiteindelijk terug te voeren op een verbinding tussen de gekanaliseerde Hollandsche IJssel en het Oude Rijn systeem die in LSM3 open stond (waardoor er een fors debiet van de gekanaliseerde Hollandsche IJssel naar het Oude Rijn systeem stroomde), terwijl er in LSM 1.3 een schutsluis stond met een klein lekdebet.

18 Katse Heule

De verbinding tussen Veerse Meer en Oosterschelde was in LSM3 zonder sturing, terwijl er in LSM 1.3 een tamelijk ingewikkelde sturing was opgenomen. In LSM3 is een eenvoudiger sturing opgenomen waardoor het peil in het Veerse Meer beter wordt gesimuleerd en ook uitwisseling tussen Oosterschelde en Veerse Meer is bewerkstelligd. In het kader van deze verbetering is ook bij alle Oosterschelde-randen een getijrandvoorwaarde opgelegd.

Voorstel is om de laatste versie van het LSM3 model, met alle in dit hoofdstuk genoemde aanpassingen, het volgende versienummer te geven: sobek-lsm3-j18_5-v5.

3 Verificatie waterbeweging 2018

3.1 Inleiding

De modelresultaten van LSM3 worden vergeleken met de resultaten van SOBEK2 sommen met LSM. Het gaat hierbij om twee sommen:

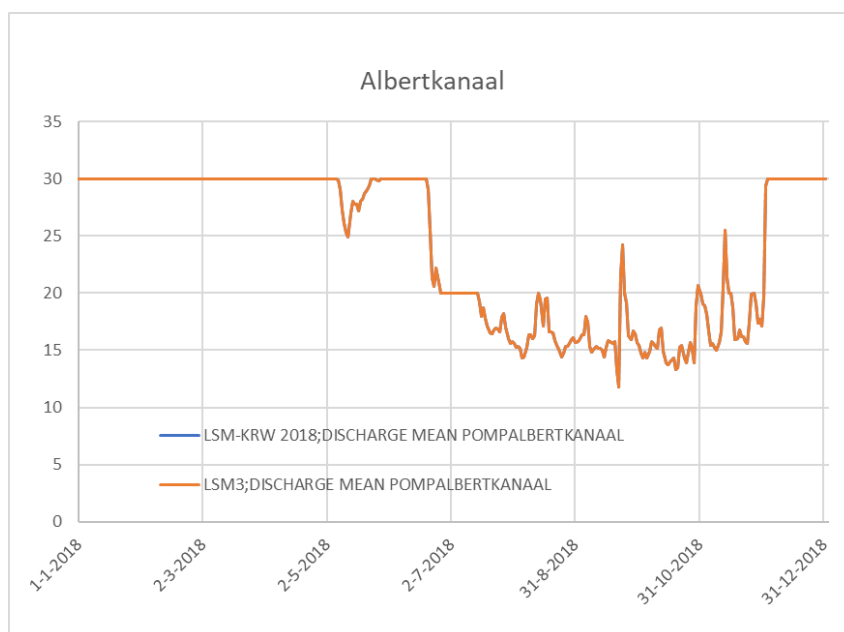
- een LSM 1.3 (obese) som voor 2018, die eerder is doorgerekend voor toepassing van de KRW-verkenner. Deze wordt in het vervolg aangeduid als de LSM-KRW som.
- een LSM light 1.2 som uit NWM Basisprognoses 2018, die stand-alone opnieuw is doorgerekend voor een eerlijke vergelijking van de rekentijd. In die som zijn een aantal aanpassingen doorgevoerd die ook in LSM3 zijn doorgevoerd, zoals streefpeil IJsselmeer, hogere doorspoeling ARK via Irenesluizen. Een aantal andere punten die in LSM 1.3 verbeterd zijn zitten echter niet in die LSM light1.2 versie.

De resultaten van LSM3 (oranje lijnen) zijn vooral met de LSM-KRW som (blauw) vergeleken, behalve voor de locaties waar de aanpassingen in de LSM light 1.2 schematisatie voor de vergelijking relevant zijn. Die resultaten zijn in grijs toegevoegd. Voor enkele locaties zijn ook beschikbare metingen in geel toegevoegd (debieten en waterstanden). Deze zijn afkomstig van data afkomstig uit de LHM 4.1 validatie in het kader van NHI (HKV, 2021) en eerdere LSM rapportage (Wesselius en Fujisaki, 2020).

De laterale debieten voor de aangepaste en toegevoegde laterale debietlocaties in LSM3 zijn gebaseerd op de laterale debieten in de LSM KRW som met LSM 1.3.

3.2 Albertkanaal

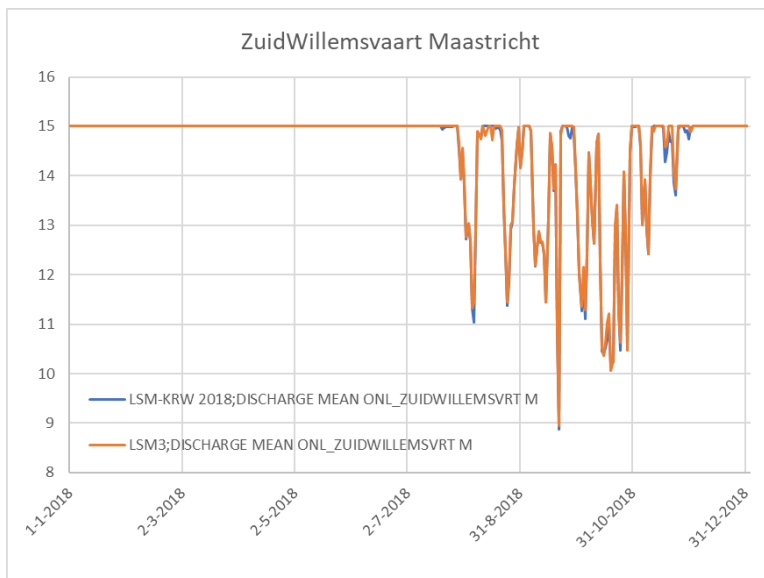
Figuur 4 laat zien dat de daggemiddelde debieten voor het Albertkanaal precies overeen komen tussen LSM 1.3 (SOBEK2) en LSM3 (SOBEK3). Dat moet ook wel, want de opgelegde debietrandvoorwaarde Monsin is hetzelfde en de sturing is ook met dezelfde hydraulische controller (in SOBEK2 vs. via RTC-Tools in SOBEK3)



Figuur 4: Debiet Albertkanaal

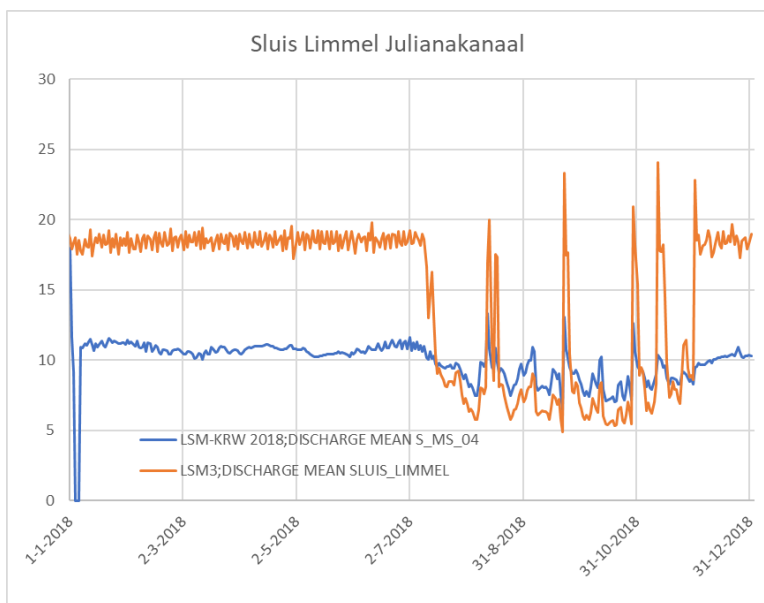
3.3 Waterverdeling bij Maastricht

De sturing van diverse kunstwerken is aangepast, o.a. de sturing van de sluis Limmel, Born, en de inlaat Zuid-Willemsvaart. De resultaten worden getoond in figuur 5 tot en met 7.



Figuur 5: Inlaat Zuid-Willemsvaart bij Maastricht

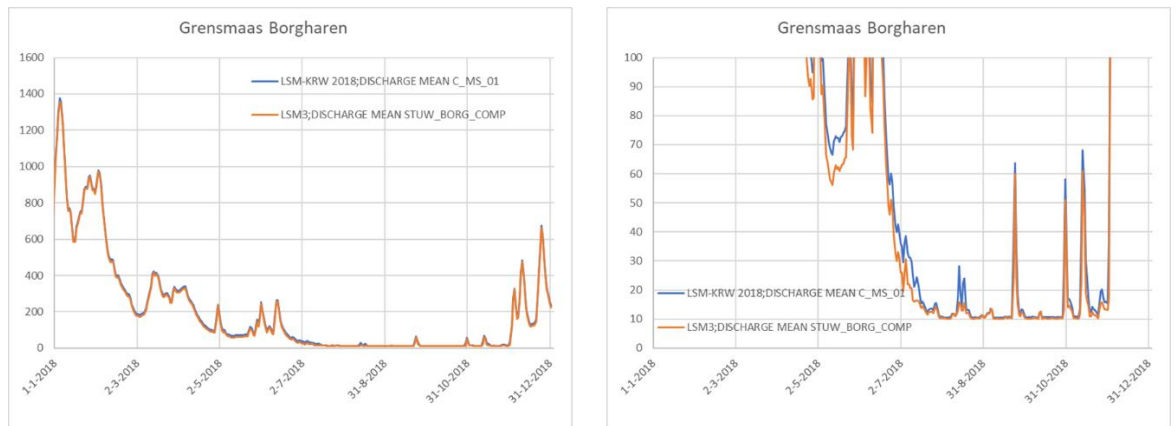
Het debiet via de Zuid-Willemsvaart is voor LSM3 vrijwel identiek aan het berekende debiet in LSM-KRW (figuur 5).



Figuur 6: Debiet naar het Julianakanaal via sluis Limmel

In LSM3 wordt in de normale situatie (met voldoende Maasafvoer) meer water via het Julianakanaal gestuurd dan in LSM-KRW, en dit komt beter overeen met de praktijk. Bij lage Maasafvoeren is de afvoer via het Julianakanaal wel iets lager (orde $1\text{m}^3/\text{s}$), maar vergelijkbaar met LSM-KRW (figuur 6).

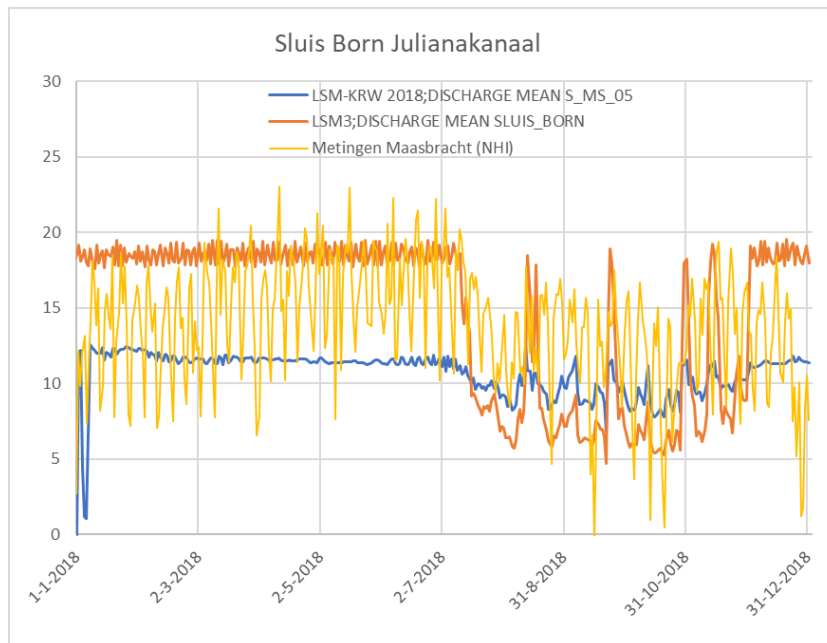
De afvoer over de stuw Borgharen komt ook goed overeen (figuur 7). In LSM3 wordt bij lage Maasafvoeren ook de minimum afvoer over de Grensmaas van 10 m³/s gehandhaafd. De conclusie is dat de waterverdeling bij lage afvoeren in LSM3 goed overeenkomst met de oude modellen.



Figuur 7: Debiet over de Grensmaas bij de stuw Borgharen (links de hele range van afvoeren, rechts alleen lage afvoeren)

3.4 Bunde (Julianakanaal)

De sturing van de sluis Born is aangepast. Het debiet is vergelijkbaar met het debiet bij sluis Limmel, maar door enkele laterale debieten (neerslag, verdamping, onttrekkingen, lozingen) miniem afwijkend. De debieten over sluis Born in LSM3 zijn net als bij Limmel afwijkend van de LSM-KRW SOBEK2 resultaten. Kijkend naar de metingen afkomstig uit het NHI project die gebruikt zijn voor de validatie van het Landelijk Hydrologisch Model LHM, blijkt dat de metingen sterk fluctueren (weekcyclus met lage afvoeren/schutverliezen in het weekend, in normale afvoersituaties gemiddeld orde 15 m³/s, maar in de droge zomer lager door zuinig schutten). Deze wekelijkse fluctuatie is in de LSM modellen niet meegenomen. Het debiet in LSM3 is in normale situaties iets hoger, maar in droge situaties iets lager; in LSM-KRW was het normale debiet juist iets te laag en in droge situaties redelijk goed. (figuur 8).

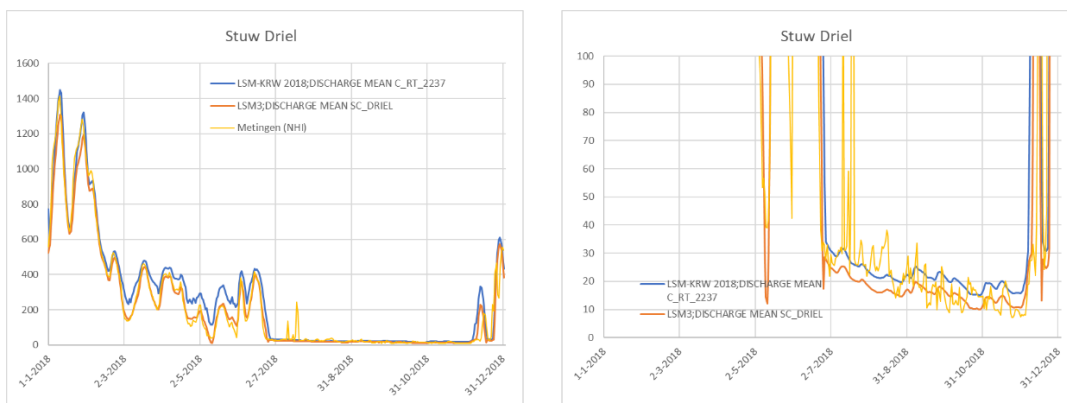


Figuur 8: Debiet Julianakanaal bij Born

3.5 Driel

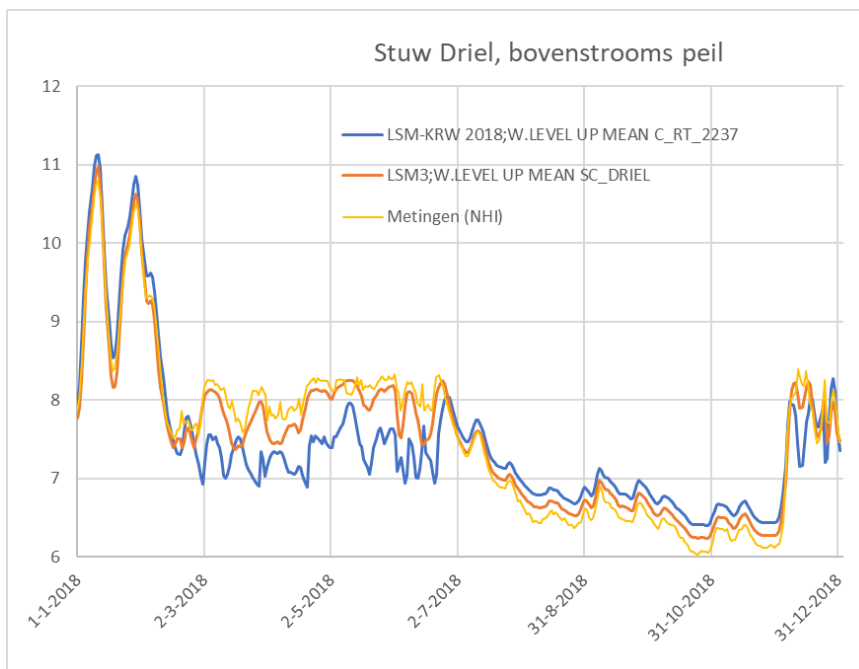
In LSM3 zit een veel actueler Rijntakken model dan in LSM 1.3 voor de LSM-KRW 2018 berekening. Doordat het model hier veel actueler is zijn de laatste cross-sections en ruwheden verwerkt. En ook de sturing is verschillend tussen de modellen. Figuur 9 toont de debieten over de stuw bij Driel voor het LSM-KRW model en LSM3, en ook de metingen.

Het debiet bij Driel in LSM3 blijkt in het algemeen lager te zijn dan het debiet berekend met LSM-KRW. Dat is in lijn met de verwachting omdat de bodemdaling het grootst is op de Waal, en die trekt dus een groter deel van de (ongestuwde) afvoer. LSM3 klopt ook beter met de metingen bij lage afvoeren.



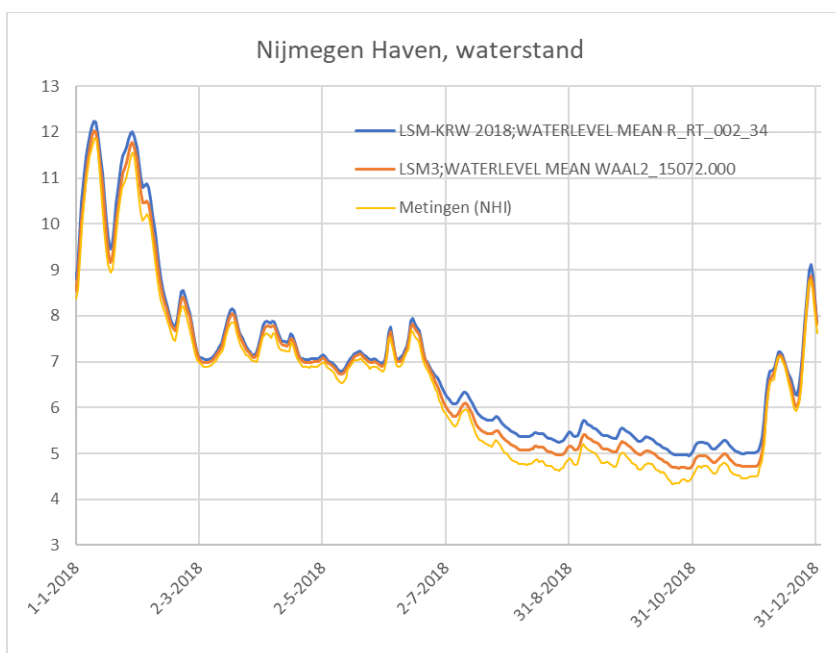
Figuur 9: Debiet over de stuw bij Driel (links de hele range van afvoeren, rechts voor de lage afvoeren)

Uit figuur 10 met de bovenstroomse peilen bij Driel blijkt dat als de stuw actief is, de bovenstroomse waterstanden bij gemiddelde tot hogere Rijnafoeren hoger zijn (zie de periode maart-juni). Bij lage Rijnafoeren blijkt de afvoer via Driel en de waterstand bij Driel duidelijk lager (zie de periode juli-november). LSM3 klopt hier ook duidelijk beter met de beschikbare metingen uit NHI dan de LSM-KRW som in SOBEK2.



Figuur 10: Bovenstroomse waterstand bij de stuw bij Driel

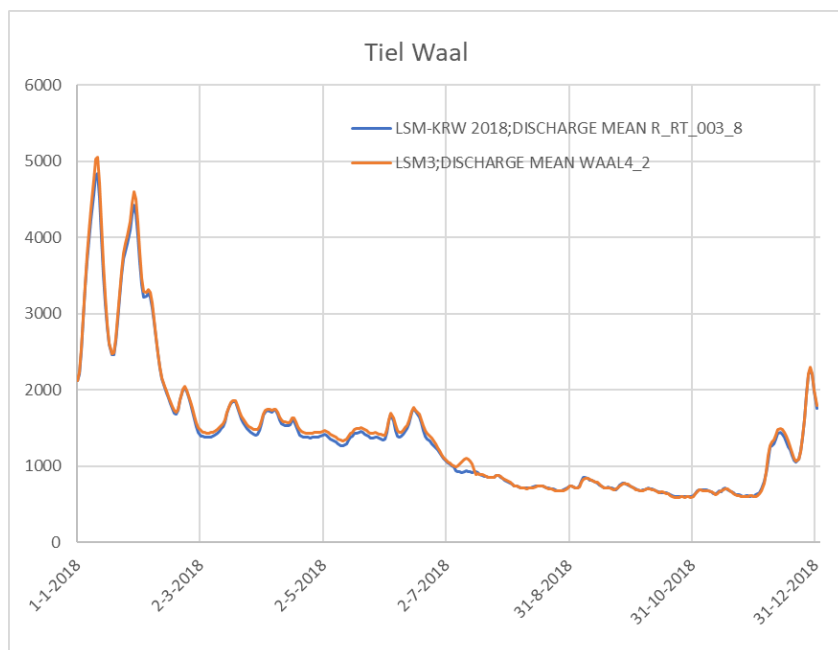
3.6 Nijmegen Haven



Figuur 11: Waterstand bij Nijmegen Haven

De laagste waterstand in Nijmegen is in LSM3 lager dan in LSM-KRW, zoals figuur 11 laat zien. Dat is correct, want van LSM-KRW was bekend dat het (bij lage afvoeren) te hoge waterstanden berekende. Dit verschil wordt toegeschreven aan de meer up-to-date crosssectie informatie e.d. in LSM3. Toch laat LSM3 hier ook nog iets hogere waterstanden dan de metingen zien, vooral bij de lage afvoeren (zie de periode augustus-november in figuur 11).

3.7 Tiel

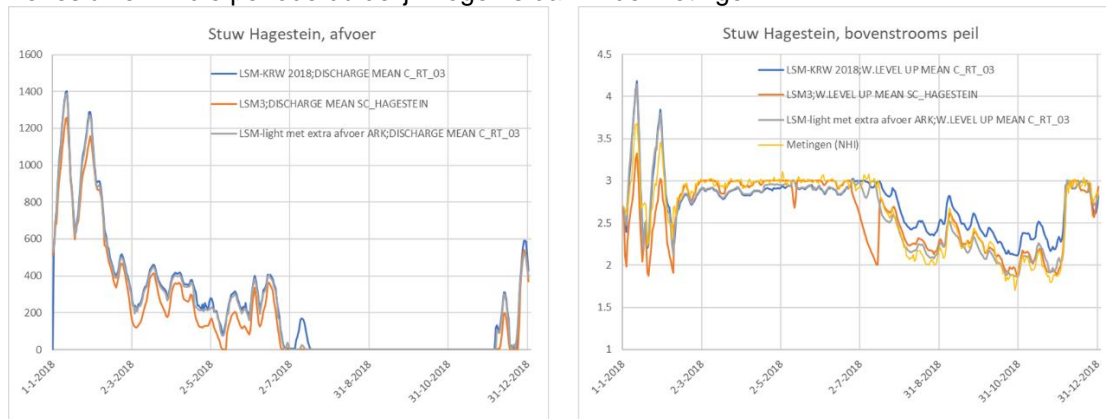


Figuur 12: Afvoer via de Waal bij Tiel

Figuur 12 laat zien dat de afvoer via Tiel in LSM3 vergelijkbaar is met het LSM 1.3 obese model LSM-KRW.

3.8 Hagestein

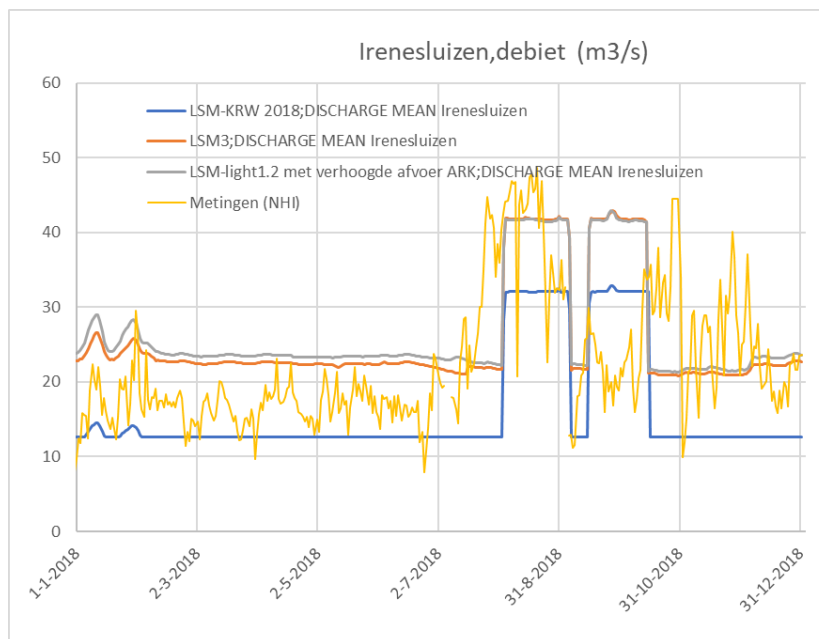
De resultaten voor Hagestein zijn qua afvoer vergelijkbaar met de resultaten voor Driel (zie figuur 9). Voor LSM3 is belangrijk dat de gewenste afvoer via de Irenesluizen naar het ARK-noordpand is verhoogd ten opzichte van de LSM-KRW som. Er is daarom ook een LSM-light 1.2 som resultaat (in grijs) in figuur 13 toegevoegd waarin dit deze afvoer ook is verhoogd. Door de extra afvoer via de Irenesluizen wordt er minder via stuw Hagestein afgevoerd, en zakt het peil in de droge periode met lage Rijnafvoer verder uit. In LSM3 zakt het bovenstrooms peil eind juni/begin juli 2018 uit, terwijl dat in de oudere sommen en in de metingen niet het geval was. Dat hangt onder andere samen met de opmerking in paragraaf 2.3.13 over de sturing van Hagestein en het feit dat in het model het debiet over de Irenesluizen in die periode duidelijk hoger is dan in de metingen.



Figuur 13: Debiet sluis Hagestein (links) en bovenstrooms peil (rechts)

3.9 Irenesluizen

In de LSM-KRW som is nog het 'oude' doorspoelregime van het ARK opgenomen. In de LSM-Light 1.2 Basisprognoses 2018 som is echter al wel het verhoogde doorspoelregime opgenomen. Dit is ook in LSM3 opgenomen. Daarom wordt in de volgende figuur niet alleen het resultaat van LSM3 en de LSM-KRW berekening getoond, maar ook het resultaat van de LSM-Light berekening. Figuur 14 geeft de weergave van het debiet door de Irenesluizen.

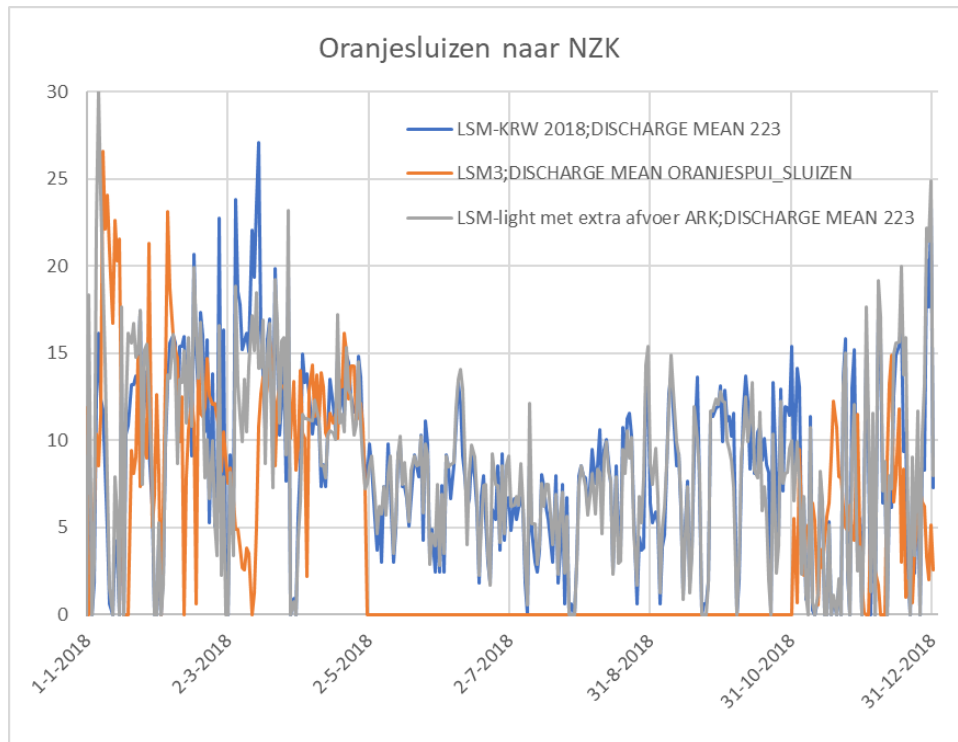


Figuur 14: Debiet Irenesluis

LSM3 komt goed overeen met de LSM light 1.2 som; beide sommen geven orde 10 m³/s meer afvoer via het ARK dan de LSM-KRW som. De metingen in het voorjaar zitten tussen beide modellen in, maar in de periode van KWA zit LSM3 duidelijk dichterbij de metingen. Het beheer in de zomer van 2018 is tamelijk variabel geweest qua doorspoeling van ARK, en dat is niet zo in het model opgenomen.

3.10 Oranjesluizen

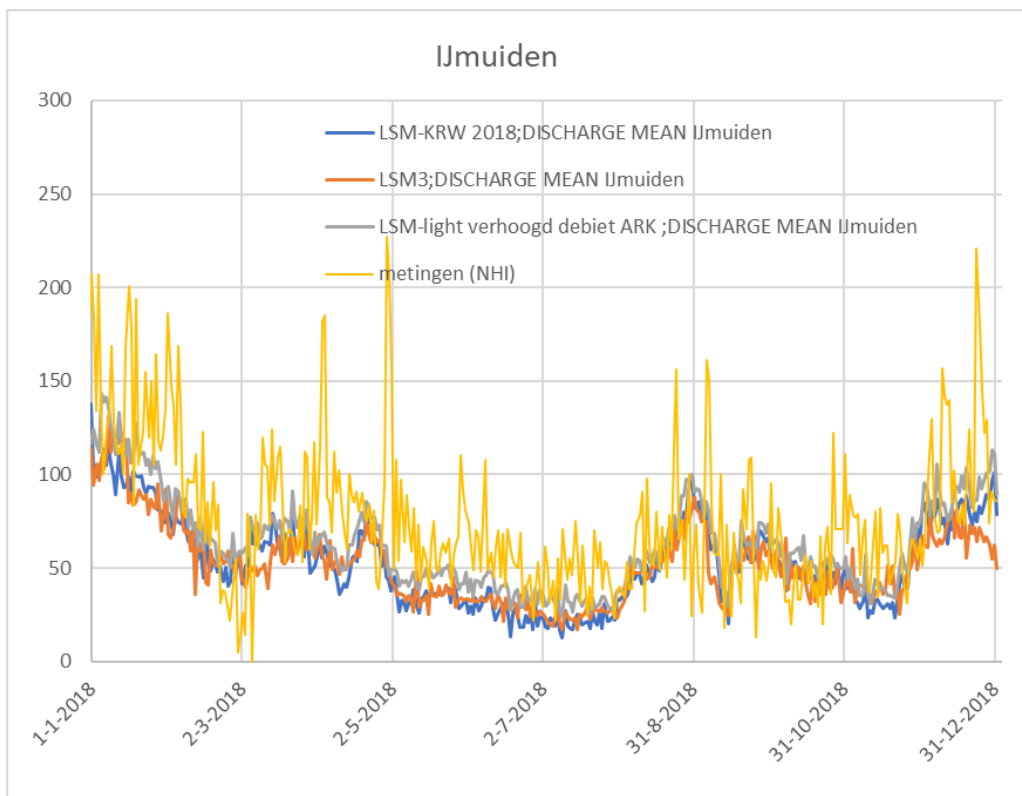
Voor de Oranjesluizen laten de LSM-light 1.2 en LSM-KRW sommen een vergelijkbaar debiet zien. In LSM3 is in de zomer de doorspoeling van Markermeer naar Noordzeekanaal (NZK) langere tijd nul. De doorspoeling van het NZK in LSM3 vindt in die periode alleen plaats door het (verhoogde) debiet vanuit het Amsterdam-Rijn kanaal (figuur 15); dit volgt uit de sturingsregels die in het model zijn geïmplementeerd.



Figuur 15: Debiet Oranjesluizen

3.11 IJmuiden

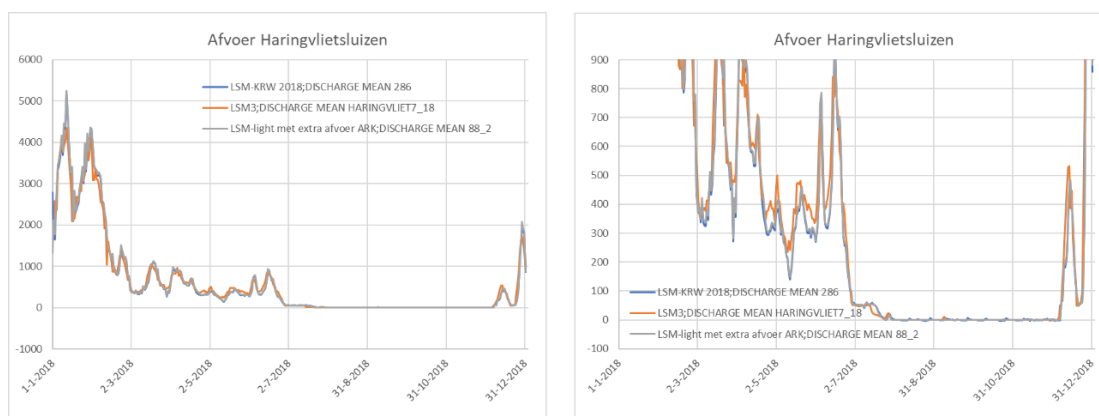
Figuur 16 toont de berekende debieten bij IJmuiden. De met LSM3 berekende afvoeren vertonen hetzelfde globale beeld als de eerdere LSM-light en LSM-KRW som. Doordat de doorspoeling van het ARK is verhoogd ten opzichte van de LSM-KRW som, maar de afvoer via de Oranjesluizen lager is dan in de LSM-KRW som, is er ten opzichte van de LSM-KRW som een iets hoger debiet in de zomer. Ten opzichte van de LSM-light som met ook een verhoogde afvoer via het ARK is de afvoer juist iets lager, omdat in die som ook nog vanuit het Markermeer is doorgespoeld. De metingen bij IJmuiden zijn erg variabel en lijken in het algemeen net iets hogere debieten te geven dan de modelresultaten.



Figuur 16: Debiet Ijmuiden

3.12 Haringvliet

Figuur 17 laat het debiet over de Haringvlietsluizen zien. Links de hele range van afvoeren, en rechts ingezoomd op de lage afvoeren. De LSM-KRW en LSM-light 1.2 SOBEK2 resultaten liggen vrijwel bovenop elkaar, de resultaten van LSM3 (waarin het nieuwe RMM model is opgenomen) ligt daar ook heel dicht bij en wijkt maar licht af.

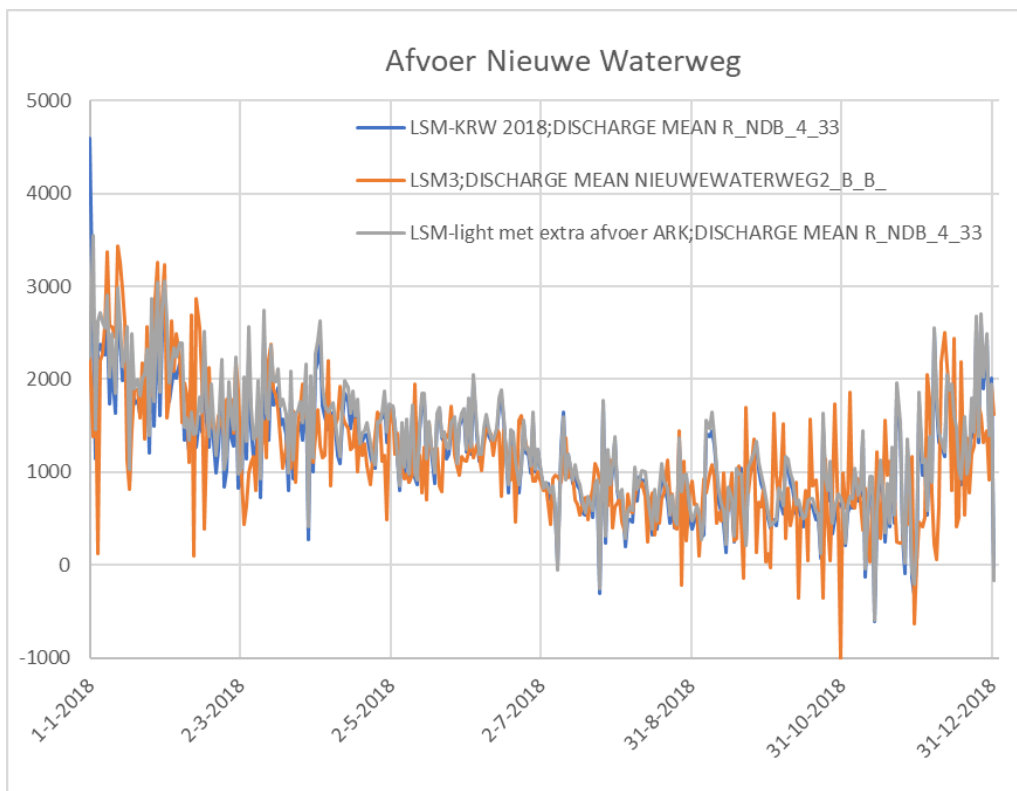


Figuur 17: Debiet Haringvlietsluizen

3.13 Nieuwe Waterweg

Het daggemiddelde debiet over de Nieuwe Waterweg (bij de Maeslantkering) is in alle modellen goed vergelijkbaar.

Door het getij zijn de daggemiddelde waarden tamelijk oscillerend. De LSM3 resultaten wijken iets af van beide SOBEK2 resultaten (LSM-KRW en LSM-light 1.2), zie figuur 18.

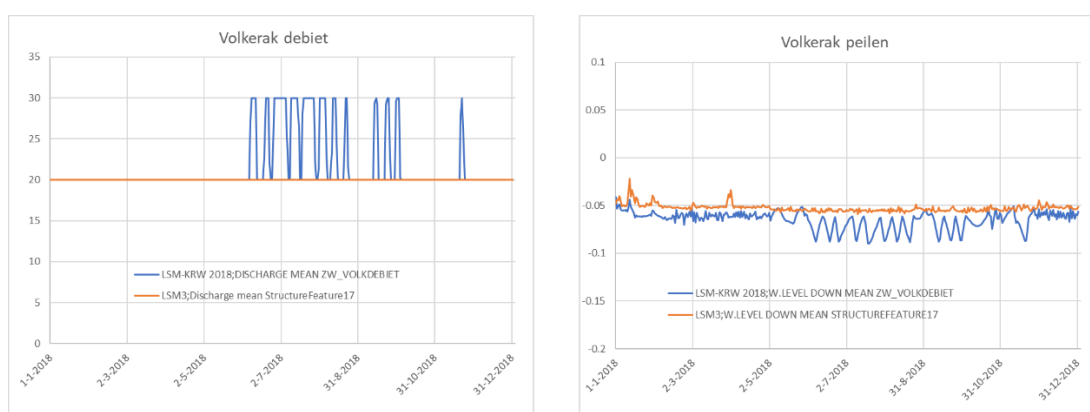


Figuur 18: Daggemiddelde Afvoeren Nieuwe Waterweg

3.14 Volkerak en Krammer

In LSM3 is het netto lekdebiet van Volkerak naar de Oosterschelde via de Krammer-sluizen op 8.8 m³/s gezet, terwijl dit in beide SOBEK2 modellen nog op 18.95 m³/s stond. Dit werkt door in iets lagere inlaten via de Volkeraksluizen en andere afvoeren via de Bathse spuisluis. Verder is de sturing van de Volkeraksluizen (doorspoeling Volkerak om de chloride concentraties niet te hoog te laten oplopen) toegevoegd ten opzichte van de LSM3 versie van voorjaar 2021.

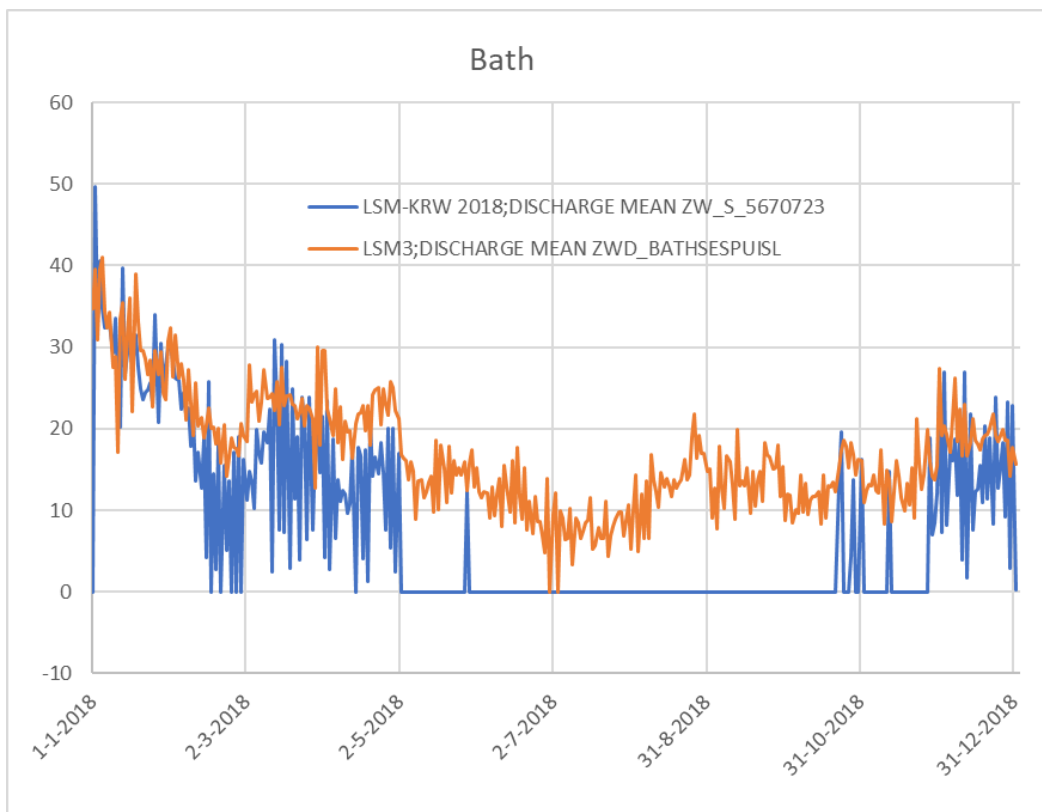
Door het verlagen van het lekverlies door de Krammersluizen wordt in LSM3 minder water via de Volkeraksluizen ingelaten. Het peil in het Volkerak wordt goed op streefpeil gehouden (figuur 19).



Figuur 19: Daggemiddelde debieten door de Volkeraksluizen (links) en waterstanden Volkerak (rechts)

3.15 Bathse spuisluis

In de SOBEK2 LSM-KRW som werd in de zomer nauwelijks water bij Bath uitgelaten. In de LSM3 som is dit wel het geval (figuur 20). Behalve de andere debieten bij de Krammersluizen en de inlaat Volkerak in LSM3, spelen hier ook verschillen in laterale debieten en lozingen vanuit West-Brabant een rol (zie verderop de resultaten voor Dintelsas en Benedensas).

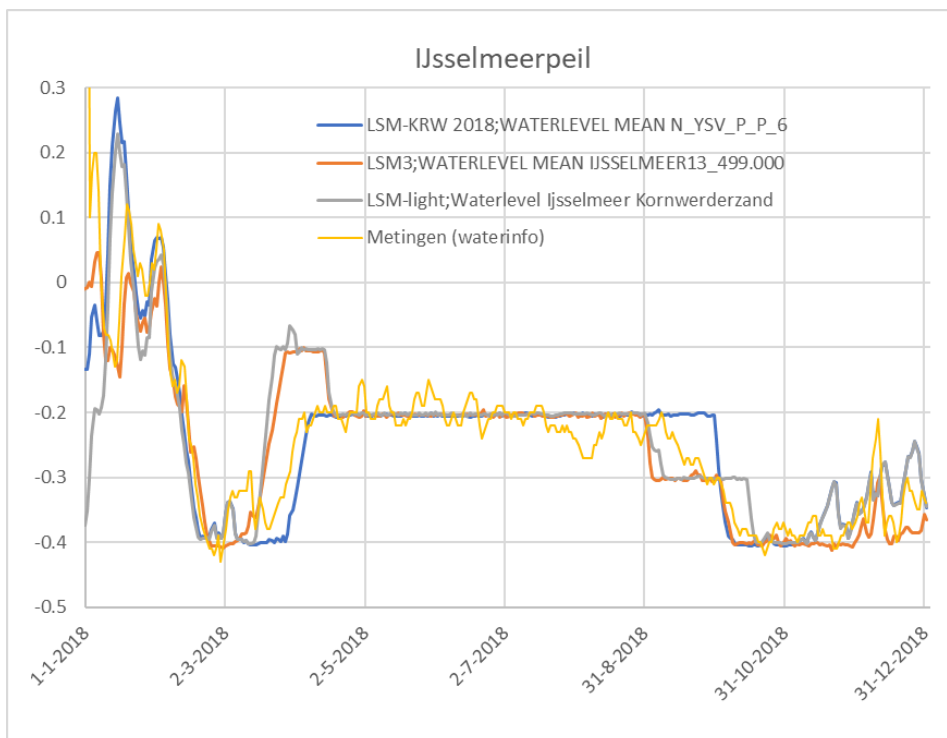


Figuur 20: Daggemiddelde afvoeren Bathse spuisluis

3.16 IJsselmeer

Figuur 21 toont het berekende IJsselmeerpeil van LSM3 en de beide SOBEK2 sommen. De LSM-KRW som heeft nog het 'oude' peilbeheer, terwijl de LSM-light 1.2 som en de LSM3 som het nieuwe flexibeler peilbeheer volgen, waarbij eind maart het peil tot -0.10m NAP mag stijgen en het medio april weer zakt naar het 'oude' zomerstreefpeil van -0.20m NAP. Het peilverloop van LSM-light 1.2 en LSM3 komt goed overeen.

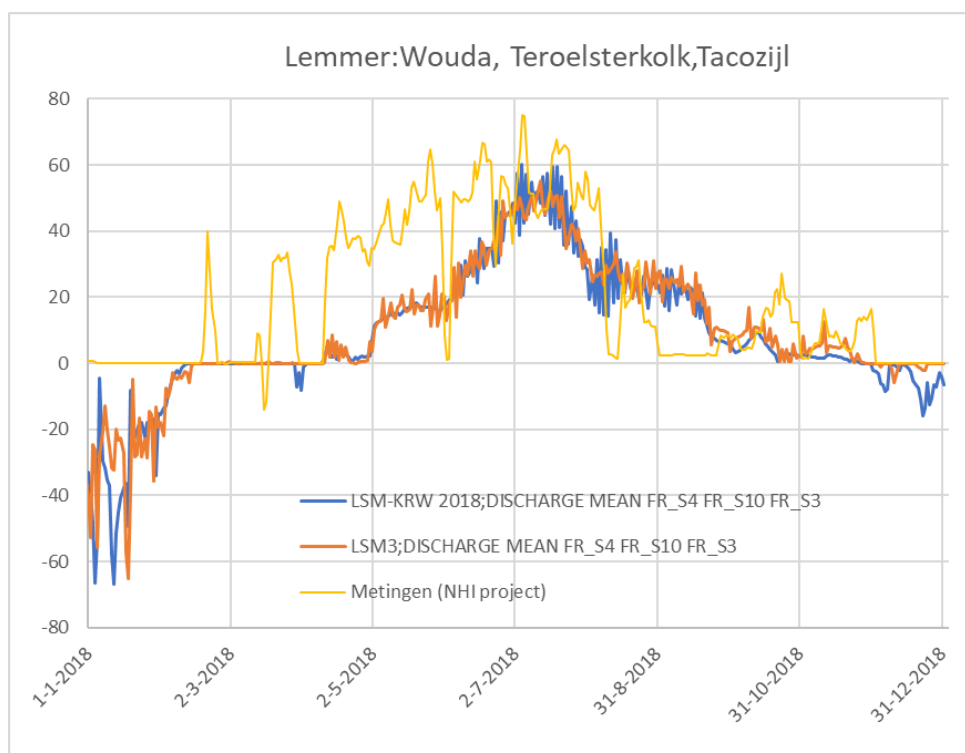
Uit de meetgegevens (IJsselmeer midden) blijkt dat in werkelijkheid blijkt de peilopzet tot -0.10 m NAP eind maart niet is gerealiseerd, en dat in mei en juni het IJsselmeerpeil wel iets is opgezet binnen de marges van het peilbesluit en na besluitvorming in de LCW (Landelijke Coördinatiecommissie Waterverdeling). Maar dat is niet opgenomen in de sturing in de modellen. In de modellen wordt het streefpeil gehandhaafd, het IJsselmeerpeil zakt niet uit onder streefpeil. In de praktijk is dat wel gebeurd. Dat kan komen door te laag berekende gewenste onttrekkingen van het LHM, of doorspoeling naar de Waddenzee die niet in het model is opgenomen.



Figuur 21: Daggemiddelde peilen op het IJsselmeer

3.17 Lemmer

De aan- en afvoeren bij Lemmer zijn samengesteld door de afvoer van het Woudagemaal, en de inlaat Teroelsterkolk en Tacozijl. Door toevoegen van de lateralen voor neerslag op en verdamping uit open water zijn de LSM3 resultaten verbeterd en vergelijkbaar met de LSM-KRW SOBEK2 resultaten (zie figuur 22).

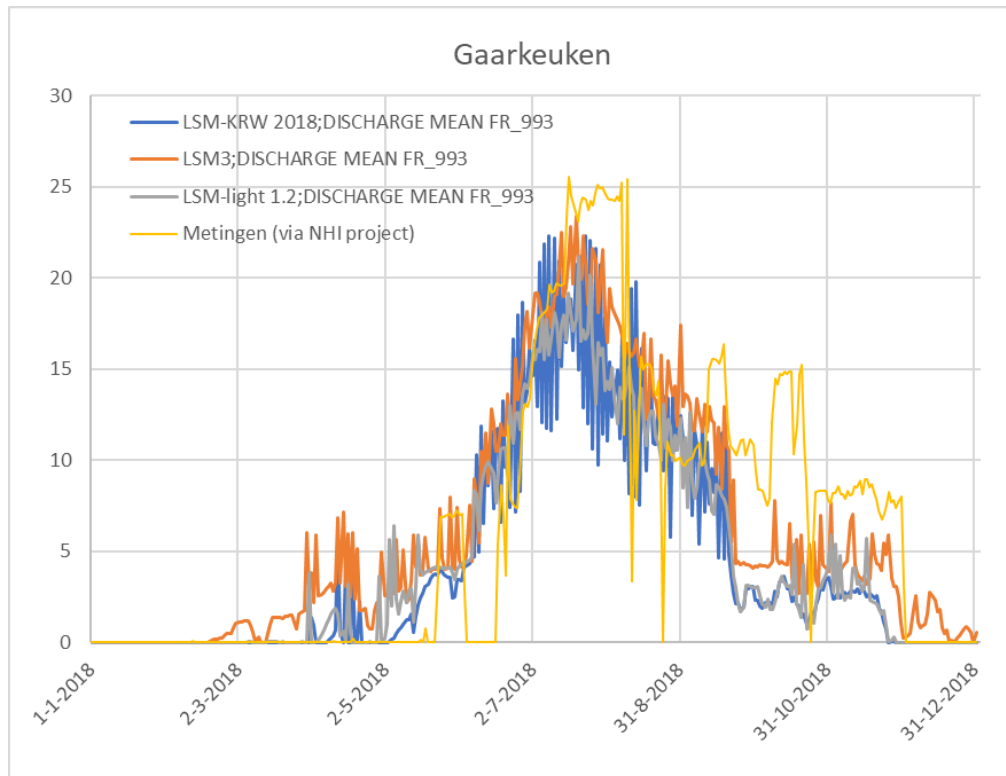


Figuur 22: Daggemiddelde afvoeren bij Lemmer

De verschillen zijn vermoedelijk vooral gerelateerd aan verschillen in laterale debieten (in LSM3 zijn niet alle lateralen uit de LSM-KRW obese versie overgenomen want de obese netwerkversie heeft takken die niet in LSM3 voorkomen). Dit is een aandachtspunt bij het gebruik van LSM3 later in NWM, de koppelingstabel van LHM resultaten naar lateralen in LSM3 moet het volledige debiet omvatten dat LHM als lozing of onttrekking berekent.

Tenslotte is het opvallend dat de meetreeks die uit NHI afkomstig is al eind februari en in maart – april heel forse inlaatdebieten heeft, en tot juli duidelijk hoger is dan wat de modellen berekenen.

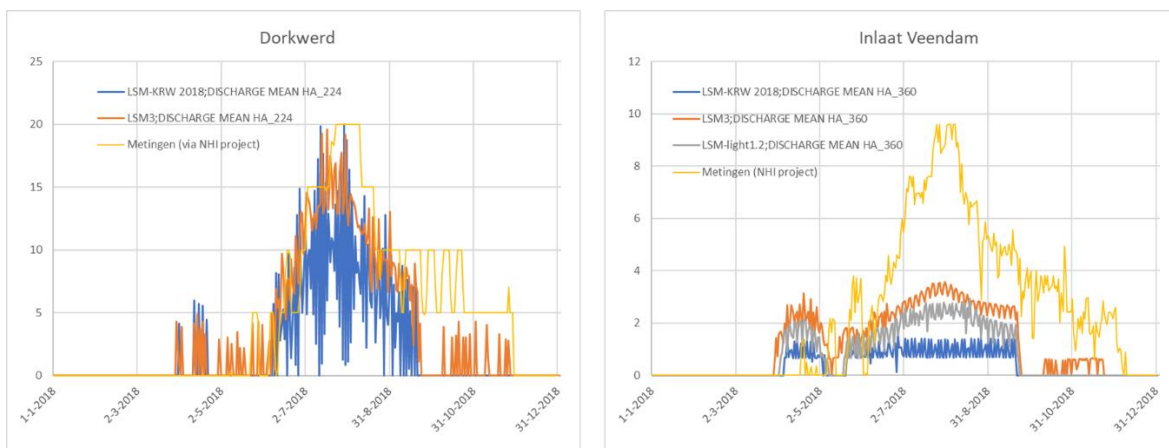
3.18 Gaarkeuken



Figuur 23: Doorvoer van Friesland naar Groningen bij Gaarkeuken

De met LSM3 berekende doorvoer van Friesland naar Groningen is marginaal hoger dan de berekende doorvoer met de SOBEK2 modellen (figuur 23). De metingen die via NHI project zijn verkregen laten eenzelfde trend zien maar blijven in het najaar (september tot en met november) langer hoog.

Datzelfde beeld is ook zichtbaar bij Dorkwerd (doorvoer naar het beheersgebied van Hunze en Aas) en Veendam (doorvoer naar de Veenkoloniën), zie figuur 24. De inlaat bij Dorkwerd tot 20 m³/s wordt door LSM3 beter gereproduceerd dan door de LSM-KRW SOBEK2 som. Bij Veendam is doorvoer met LSM3 in de peilopzet periode (april) en in de zomer het hoogst van de modellen. In de zomer geven de metingen echter nog hogere inlaatdebieten aan dan de modellen op basis van de opgelegde watervragen (onttrekkingen).

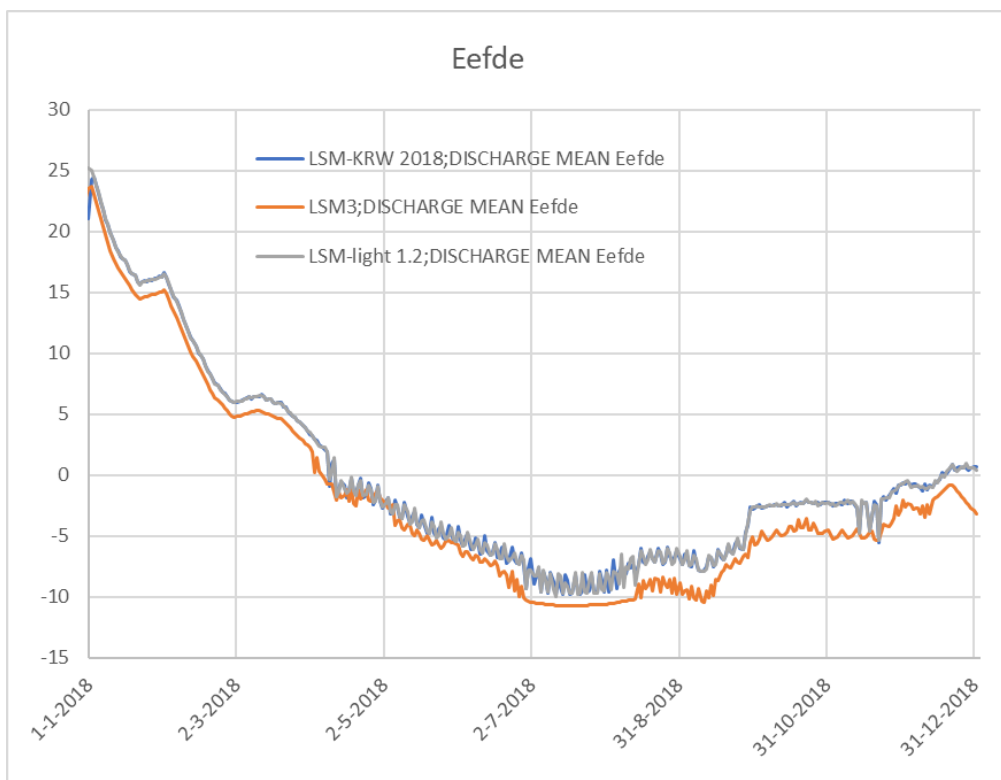


Figuur 24: Doorvoer bij Dorkwerd (links) en Veendam (rechts)

3.19 Eefde

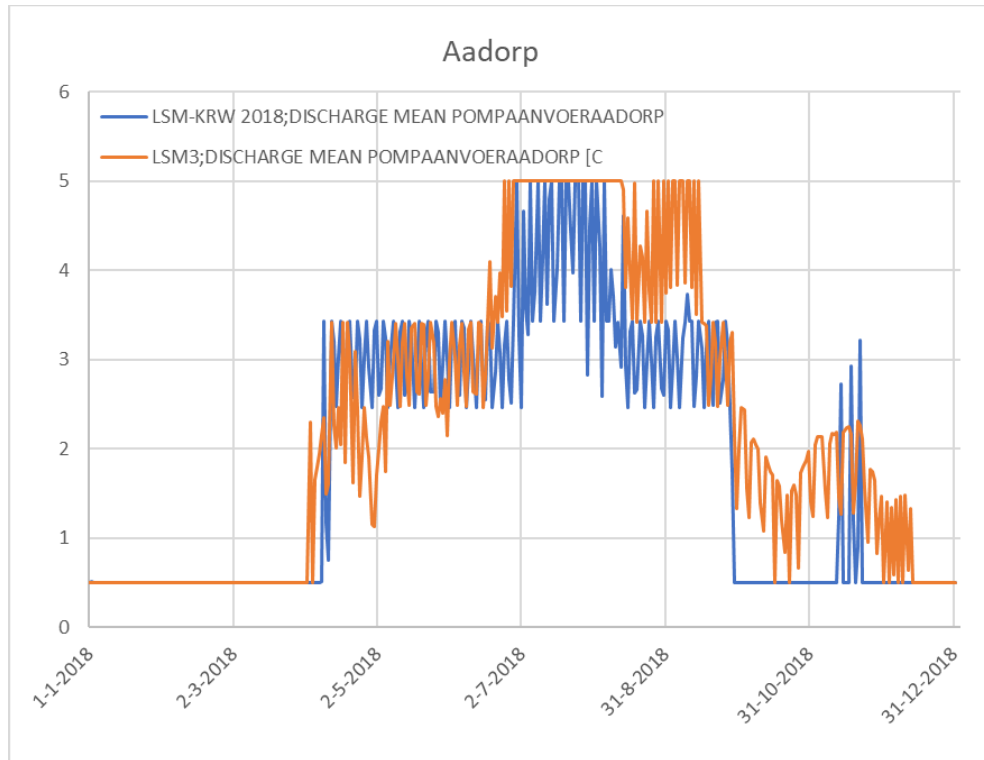
Bij de sluis Eefde, en ook bij Delden en Hengelo, is het schutverlies in LSM3 aangepast en verhoogd volgens de laatste inzichten zoals die in LHM zijn opgenomen. Verder zijn in LSM3 diverse eerdere nog ontbrekende lateralen toegevoegd.

De resultaten voor beide SOBEK2 sommen zijn vrijwel identiek, de resultaten van LSM3 volgen hetzelfde patroon maar zijn steeds iets lager (iets minder afvoer dan wel iets meer aanvoer), zie figuur 25. Dit verschil zal veroorzaakt zijn door een aantal ontbrekende kleine laterale debieten. De 10-minuten debietmetingen bij Almen, een aantal kilometers ten oosten van Eefde, zijn zeer sterk fluctuerend (door de gevoeligheid voor passerende schepen) en daarom buiten de figuur gelaten.



Figuur 25: Daggemiddelde afvoeren Eefde

Ook de doorvoer bij Aadorp (richting Vroomshoop) is in de modellen vergelijkbaar, maar in LSM3 in de zomer iets hoger dan in de SOBEK2 modelresultaten (figuur 26).

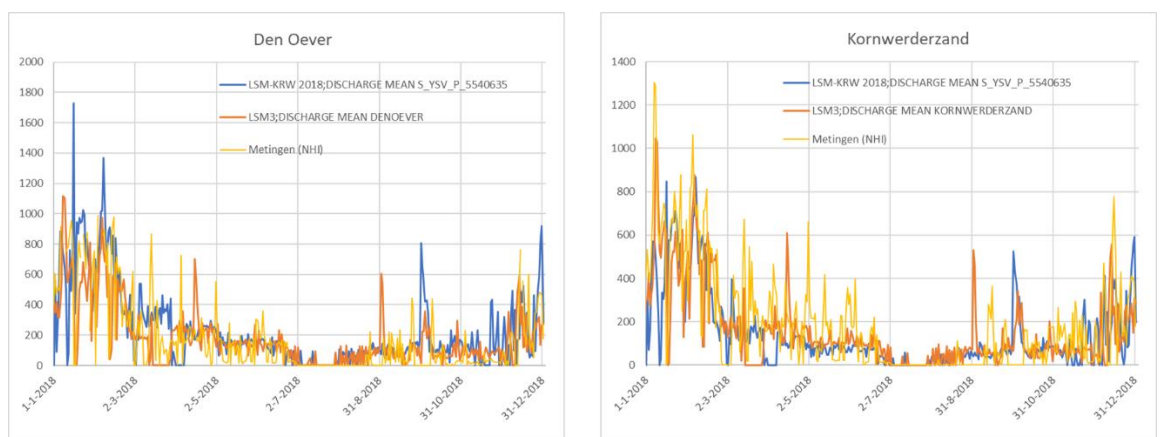


Figuur 26: Doorvoer bij Aadorp

3.20 Spuidebiet Afsluitdijk

Figuur 27 toont de spuidebieten bij Den Oever en Kornwerderzand. De algemene trend tussen de LSM-KRW som en de LSM3 som is vergelijkbaar. De verschillen worden veroorzaakt door:

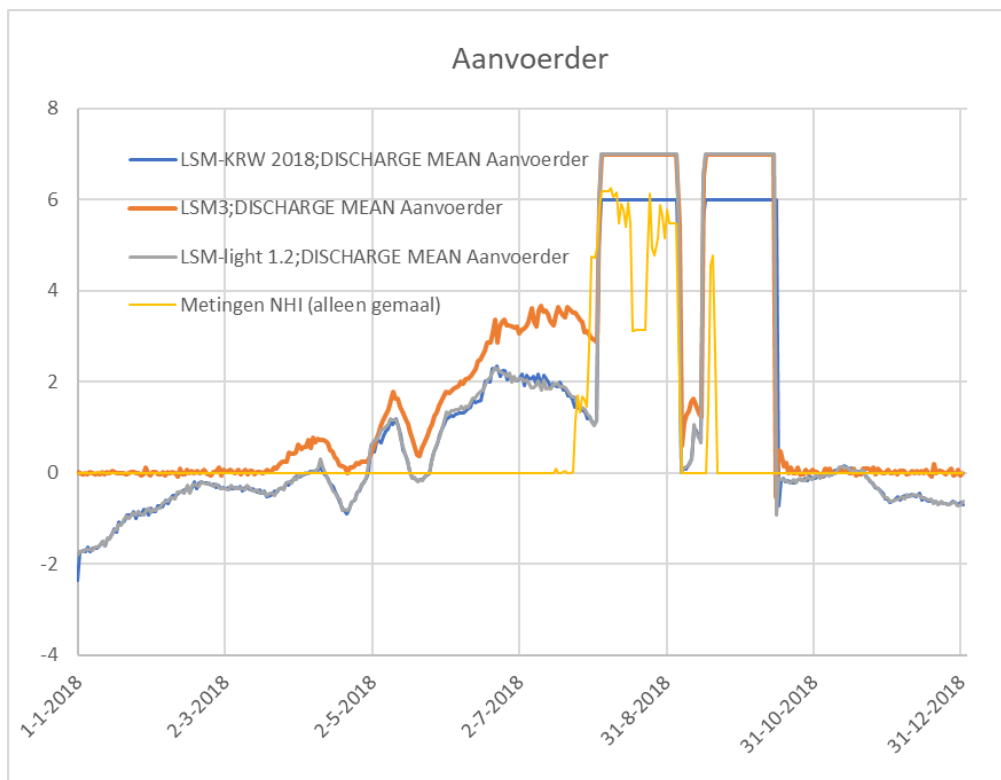
- Initiële condities;
- Verschil in streefpeilregime (peilbeheer eind maart, september);en
- Laterale debieten en onttrekkingen van de regio's.



Figuur 27: Daggemiddelde afvoeren Den Oever en Kornwerderzand in LSM2 en LSM3

3.21 KWA

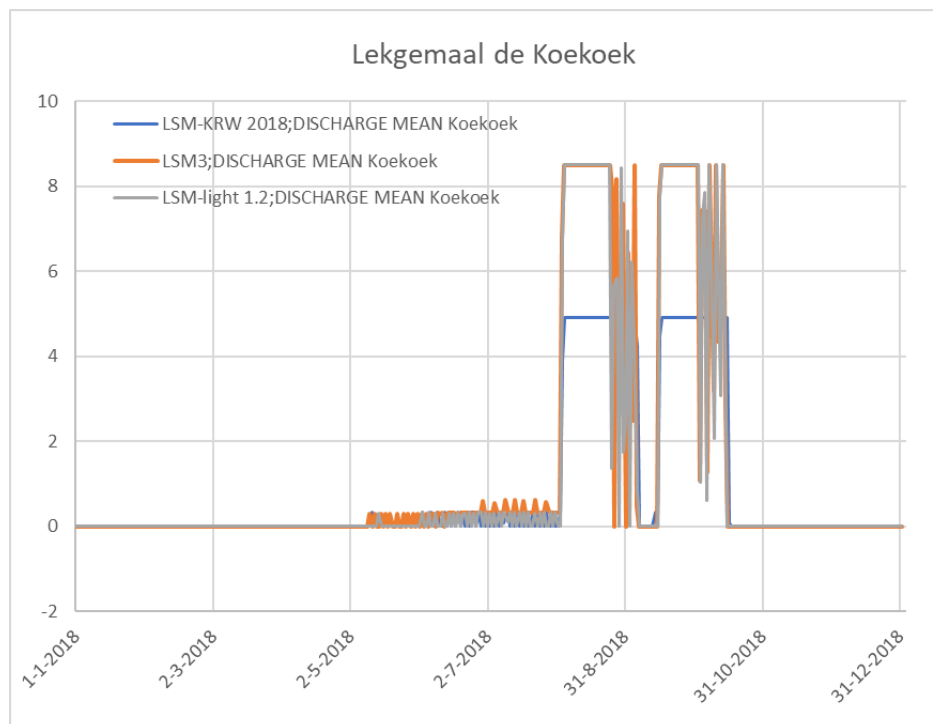
In droge zomers met veel zoutindringing via de Nieuwe Waterweg tot op de Hollandsche IJssel bij Gouda, wordt door Rijnland niet meer of in zeer geringe mate bij Gouda water ingelaten. In die perioden wordt het water vooral via Bodegraven via de zogenaamde KWA routes ingelaten (KWA = Klimaatbestendige Water Aanvoer, voorheen Kleinschalige Water Aanvoer). Dan wordt via de Leidse Rijn (gemaal de Aanvoerder), en via Doorslag en gemaal de Koekoek en inlaat Hekendorp water aangevoerd richting Bodegraven.



Figuur 28: Daggemiddelde afvoeren Aanvoerder

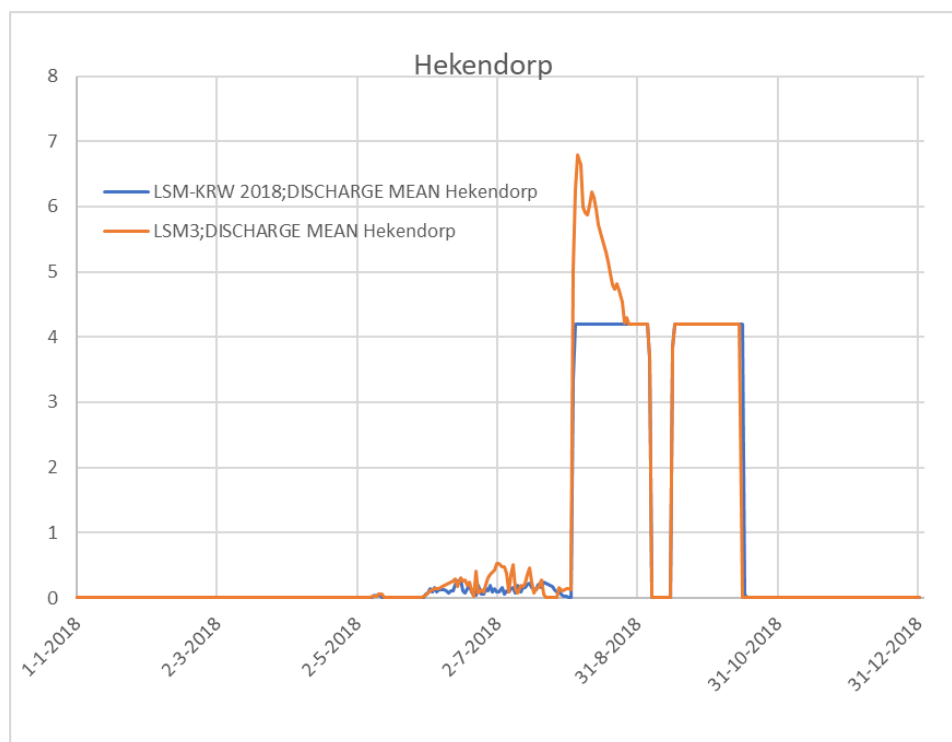
Voor de inlaat Leidse Rijn stond de capaciteit van gemaal de Aanvoerder in de LSM-KRW som nog op 6 m³/s, in de LSM-light 1.2 som en in LSM3 staat de inlaatcapaciteit op 7 m³/s. In de zomerperiode en de KWA-inzet zijn de resultaten vergelijkbaar (figuur 28). Uit de metingen blijkt dat de KWA al eind juli is aangezet (iets eerder dan in het model), en dat de tweede periode van inzet in september/begin oktober veel korter en lager is geweest dan in de modellen.

In de winterperiode wordt volgens beide SOBEK2 modellen wat water geloosd via de Groenewoudse sluis (naast het gemaal), in LSM3 lijken er wat laterale debieten die hiervoor zorgen te ontbreken en wordt er niet geloosd.



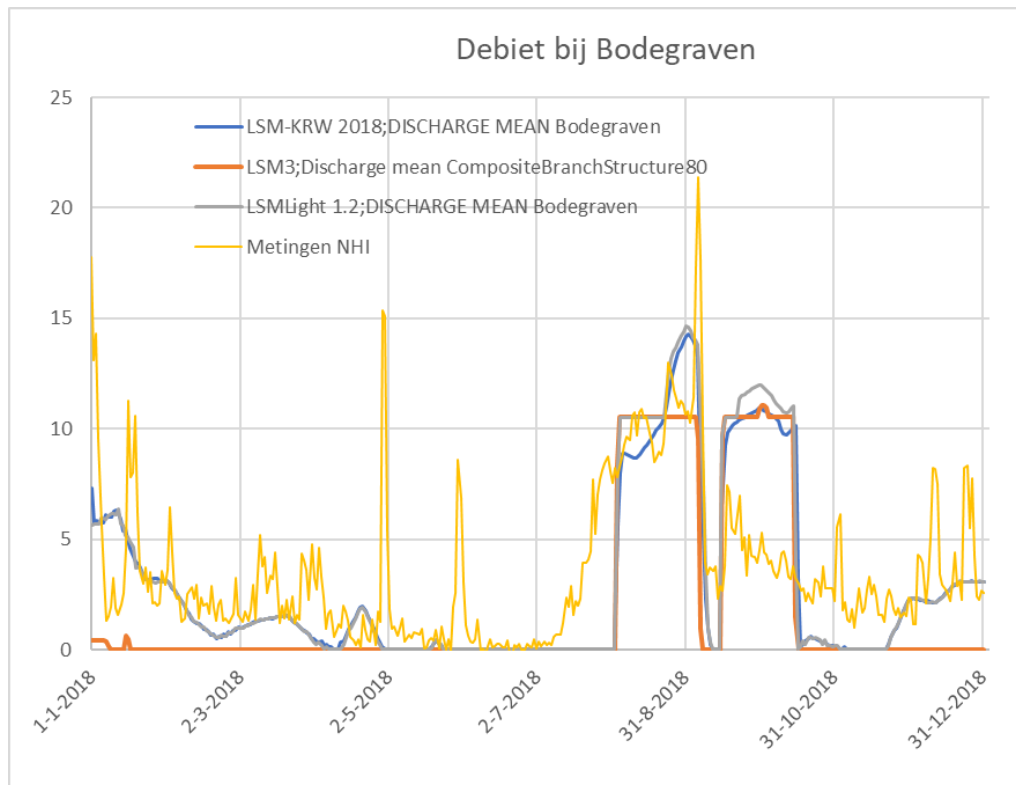
Figuur 29: Daggemiddelde afvoer Koekoek

De maximum capaciteit bij Lekgemaal de Koekoek voor KWA doeleinden is verschillend in de modellen, in de LSM light som is de inlaatcapaciteit op 8.2 m³/s gesteld en dit is overgenomen in LSM3. In de LSM-KRW som stond die capaciteit op 4.9 m³/s. Deze uitbreiding van de capaciteit is of net in 2018 gerealiseerd, of op dat moment al besloten en vastliggend beleid (upgrade van de KWA). Afgezien van de ingestelde capaciteit is het gedrag in LSM3 en beide SOBEK2 modellen hetzelfde (figuur 29).



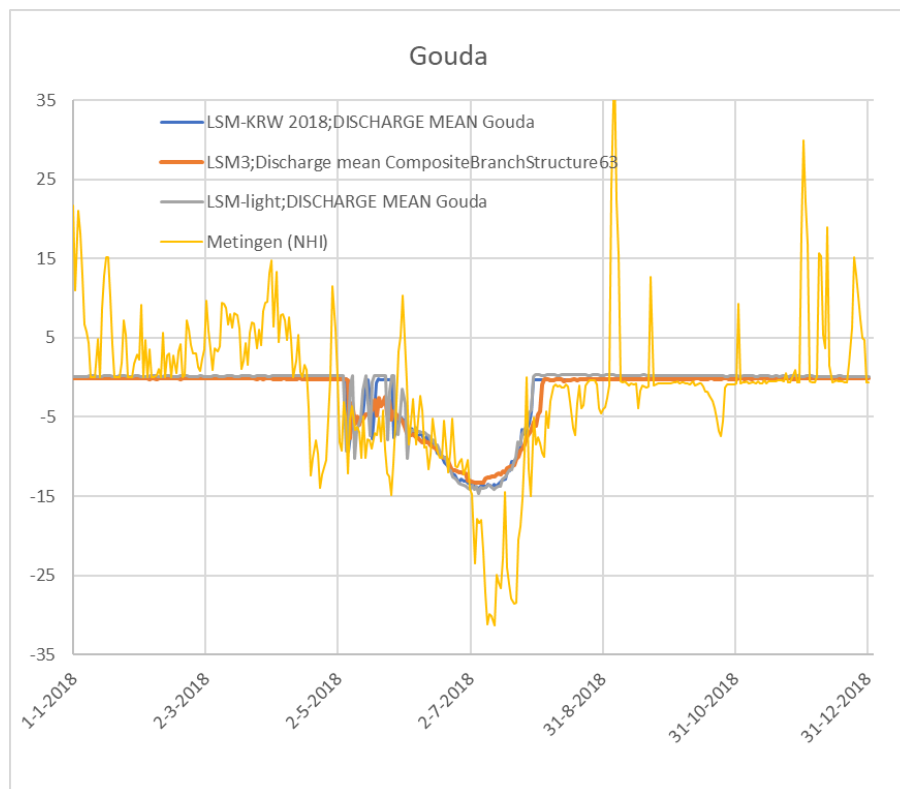
Figuur 30: Daggemiddelde afvoer Hekendorp

De inlaat Hekendorp, die water vanuit de gekanaliseerde Hollandsche IJssel via de Enkele Wiericke richting noorden stuurt (naar Bodegraven) vertoont in de modellen een vergelijkbaar gedrag met inzet in de KWA-periode, zie figuur 30. Alleen is in LSM3 begin augustus nog sprake van een extra inlaat bovenop de KWA inzet. Dit zou met metingen geverifieerd moeten worden.



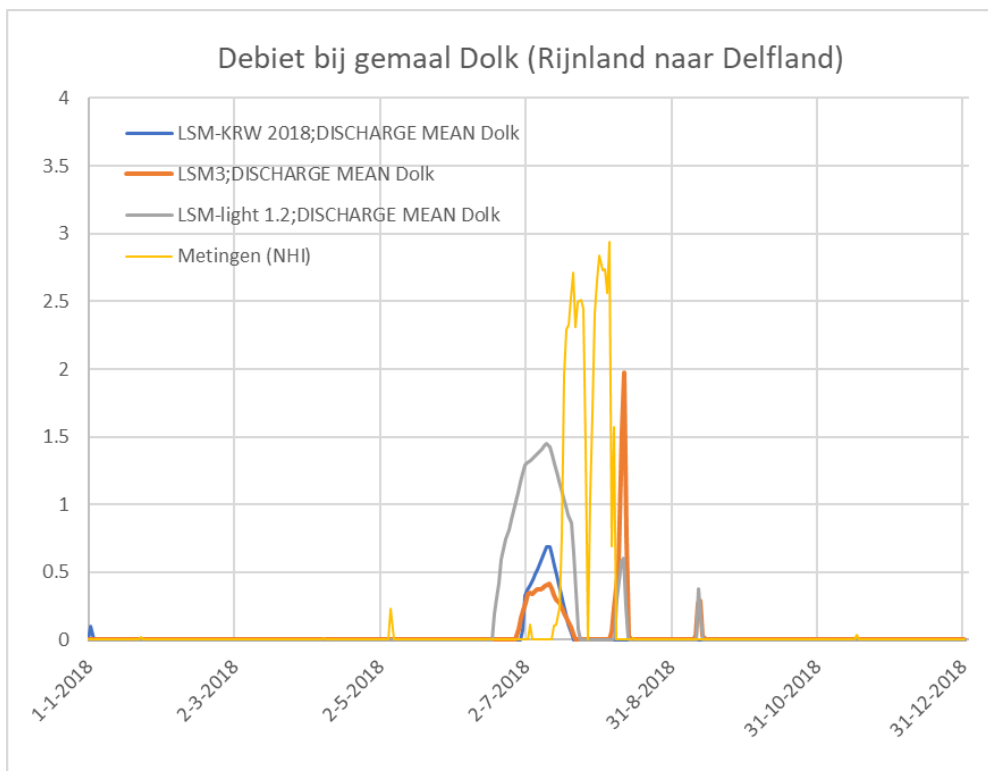
Figuur 31: Daggemiddelde afvoer Bodegraven

Voor de doorvoer van HDSR naar Rijnland bij Bodegraven wordt volgens de in LSM geïmplementeerde regels de KWA ingeschakeld in augustus en een periode in september/begin oktober. Zoals al bij figuur 28 (gemaal de Aanvoerder, Leidse Rijn) besproken blijkt dat in de praktijk de KWA eind juli al is aangezet, en dat er in september en begin oktober maar op 'halve kracht' doorgevoerd. In het voorjaar wordt er bij Bodegraven in het model te weinig (overtollig) water uit HDSR naar Rijnland geloosd, maar dat kan aan de definitie van de laterale debieten liggen. Al met al is het resultaat bij Bodegraven verbeterd ten opzichte van de eerdere LSM3 versies.



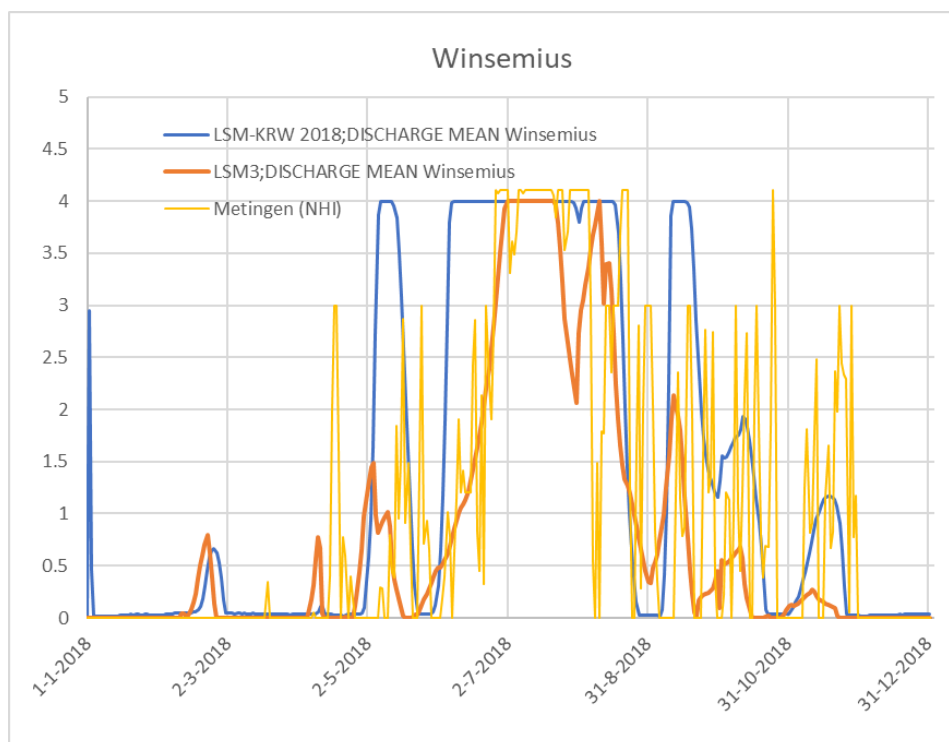
Figuur 32: Debiet bij Gouda (positief = afvoer, negatief = waterinlaat)

Alle modelversies voeren nauwelijks water af in 2018, en dat is een onderschatting in vergelijking met de metingen, want in de winter wordt wel afgevoerd. Dit verschil wordt veroorzaakt door een lage inschatting van de lozingen door LHM. Voor wat betreft de waterinlaat zijn de resultaten van beide SOBEK2 (LSM-light en LSM-KRW) modellen vrijwel identiek; en ook het LSM3 modelresultaat laat eenzelfde beeld zien. De inlaat bij Gouda stopt zodra de KWA aangaat. In de modellen is dat vanaf 4 augustus; in werkelijkheid is de KWA ruim een week eerder, op 24 juli 2018 in werking gesteld maar wordt er in geringe mate ook nog ingelaten bij Gouda zoals de metingen laten zien.



Figuur 33: Debiet afvoer Dolk (Rijnland naar Delfland)

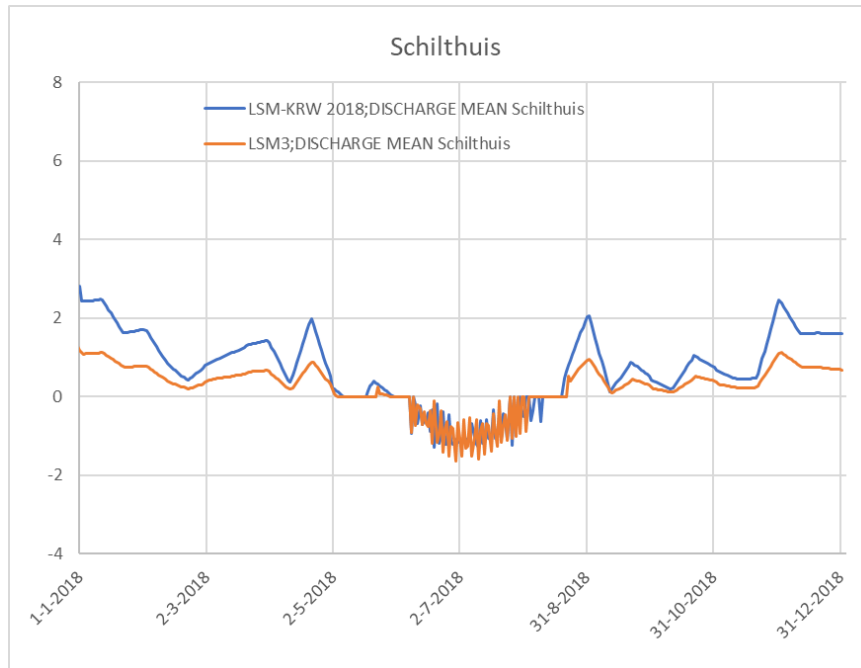
De doorvoer van Rijnland naar Delfland via gemaal Dolk in Leidschendam gebeurt in LSM3 op vergelijkbare momenten als in beide LSM SOBEK2 sommen (figuur 33). De inzet is echter in juli wat korter en lager dan in de LSM SOBEK2 berekeningen. In augustus en september is in zowel LSM3 als LSM light1.2 een korte periode van wateraanvoer berekend, die niet in de LSM-KRW som optreedt. De verklaring zit waarschijnlijk in verschillen in opgelegde laterale debieten. De metingen laten een doorvoer in de periode eind juli tot midden augustus zien.



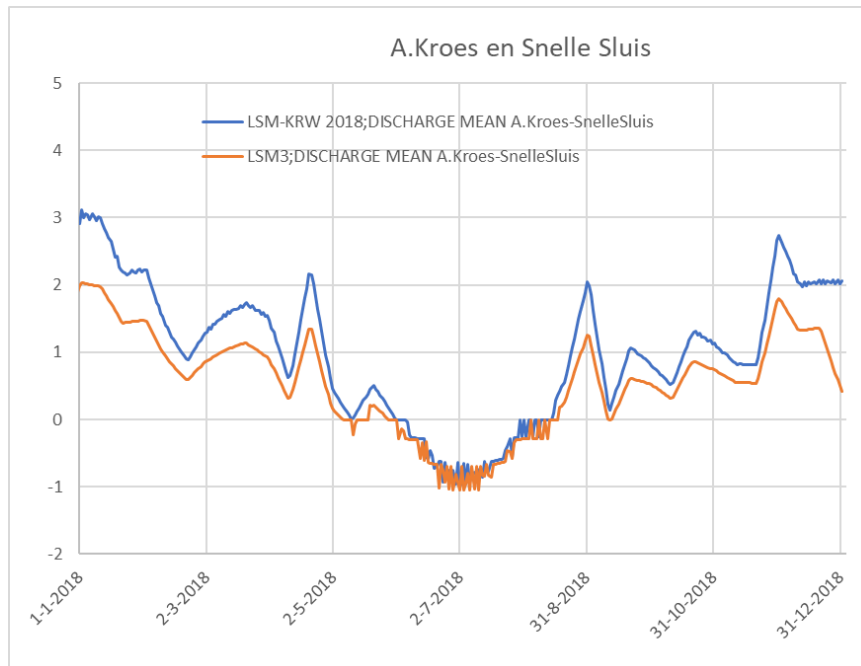
Figuur 34: Debiet aanvoer Winsemius (Brielse meer naar Delfland)

Ook de aanvoer vanuit het Brielse meer via gemaal Winsemius naar Delfland is wat lager dan in de LSM-KRW berekening (figuur 34). De timing en de grootte van de inlaat in juni-juli is in LSM3 echter wel beter dan in de SOBEK2 LSM-KRW som.

Daarentegen berekent LSM3 begin augustus voor enkele dagen een doorvoer tot $1 \text{ m}^3/\text{s}$ van Delfland naar Schieland via de Bergsluis, die LSM-KRW niet berekend. Voor de aan- en afvoer bij Schilthuis (Rotteboezem) in Schieland geldt dat de LSM3 resultaten qua aanvoer overeenkomen met LSM-KRW (figuur 35). Maar de afvoer in het winterhalfjaar is wat lager, vermoedelijk door een beperkte set aan lateralen waarbij niet het volledige laterale debiet uit LSM-KRW in Schieland is overgenomen. Hetzelfde beeld geldt voor de afvoer uit en inlaat naar de Ringvaartboezem via gemaal A. Kroes en de Snelle Sluis uit de Hollandsche IJssel (figuur 36).



Figuur 35: Debiet Schilthuis (Rotteboezem) (negatief = waterinlaat)

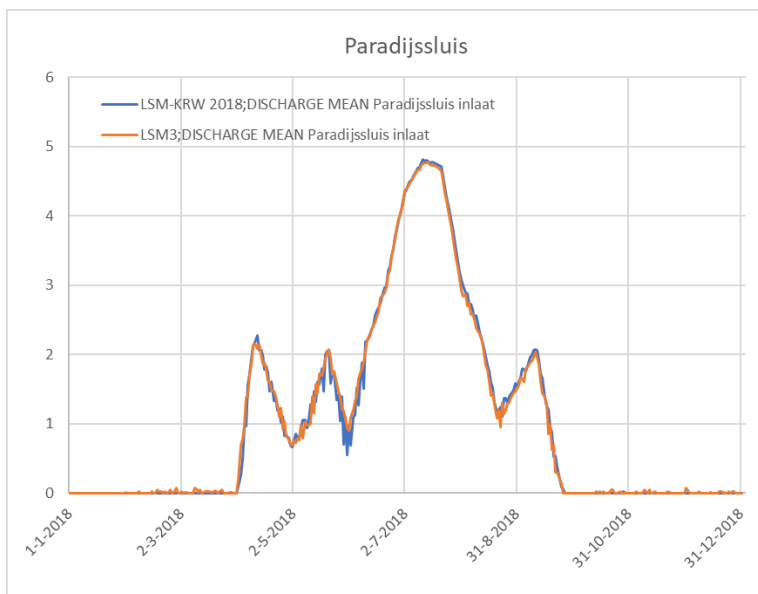


Figuur 36: Debiet A.Kroes en Snelle Sluis (negatief = waterinlaat)

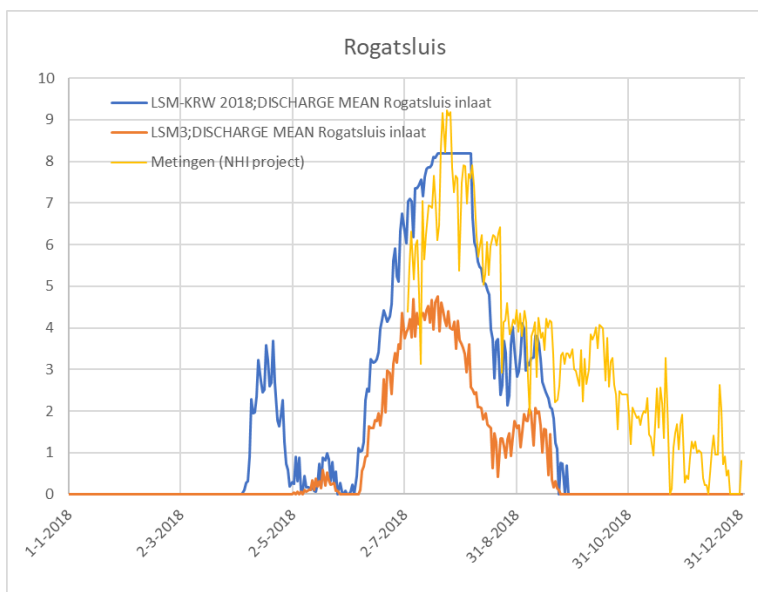
Het peil in Rijnland varieert tussen de -0.60 en -0.65 m NAP in LSM3 en de SOBEK2 modellen. Het peil in Delfland (meetstation Delft) blijft in LSM3 en in de SOBEK2 sommen tussen -0.43 en -0.46 m NAP. Dit is netjes binnen de marges rondom de streefpeilen van deze boezems. Uit de resultaten blijkt dat de KWA in LSM3 het algemeen vergelijkbare resultaten geeft als in beide SOBEK2 modellen.

3.22 Aanvoer Drenthe

De gemalen bij de Paradijssluis op de Drentse Hoofdvaart en bij de Rogatsluis op de Hoogeveense Vaart zijn de eerste aanvoergemalen ten noorden en oosten van Meppel. Figuur 37 en 38 tonen de aangevoerde debieten in de LSM-KRW som en in de LSM3 som. Uit de figuren blijkt dat de aanvoer bij de Paradijssluis overeen komt, maar dat in LSM3 de aanvoer bij de Rogatsluis duidelijk lager is dan in het SOBEK2 LSM-KRW model en de metingen. Dit komt vermoedelijk door een aantal ontbrekende lateralen (en laat dus het belang zien van een goede koppelingstabel tussen LHM en LSM3 bij inbouw in NWM). De aanvoer wordt wel op de juiste momenten getriggerd.



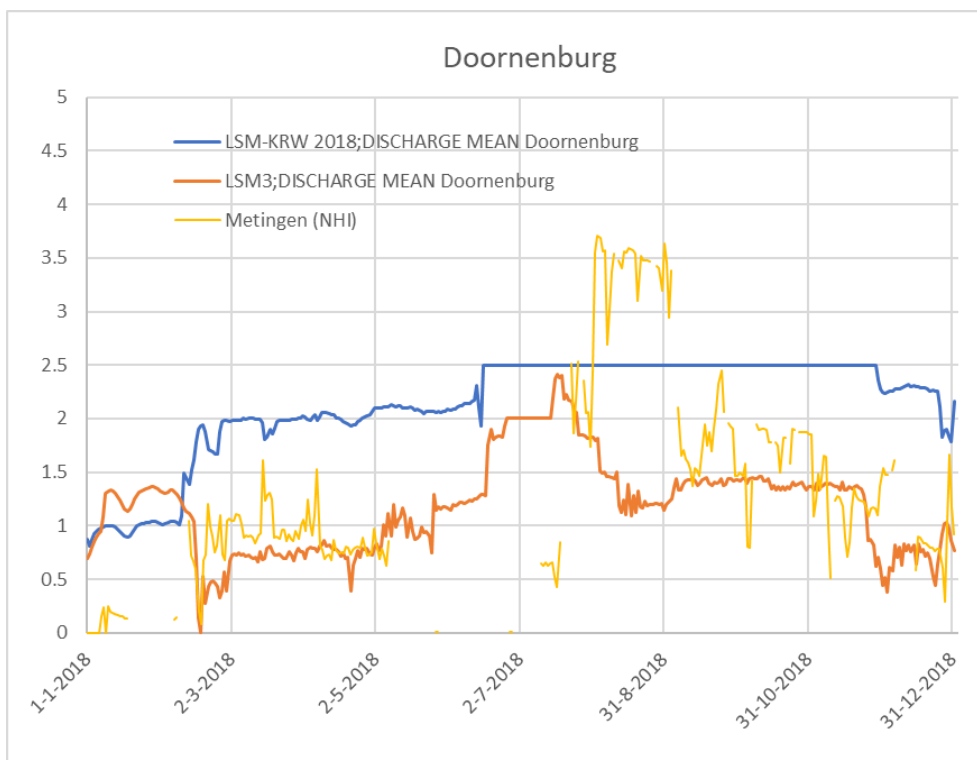
Figuur 37: Aanvoer Paradijssluis



Figuur 38: Aanvoer Rogatsluis

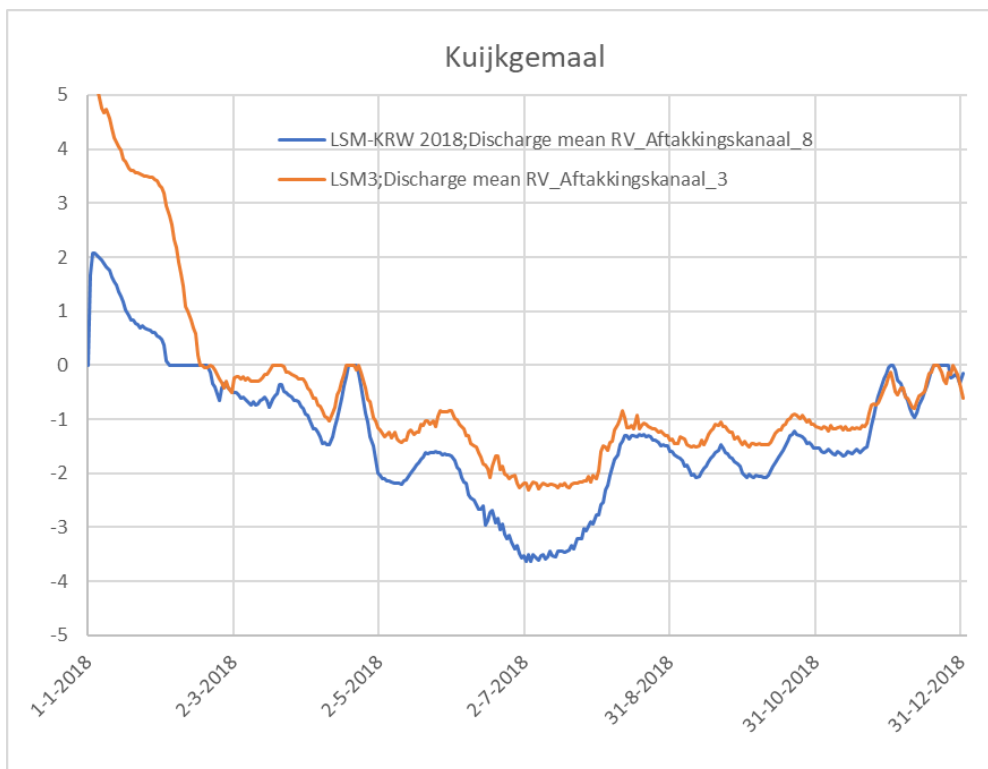
3.23 Aanvoer Linge

Voor het watersysteem van de Linge zijn de belangrijkste inlaten de inlaat Doornenburg (Pannerdens kanaal), het Kuijkgemaal (uit de Nederrijn) en het Kolffgemaal.

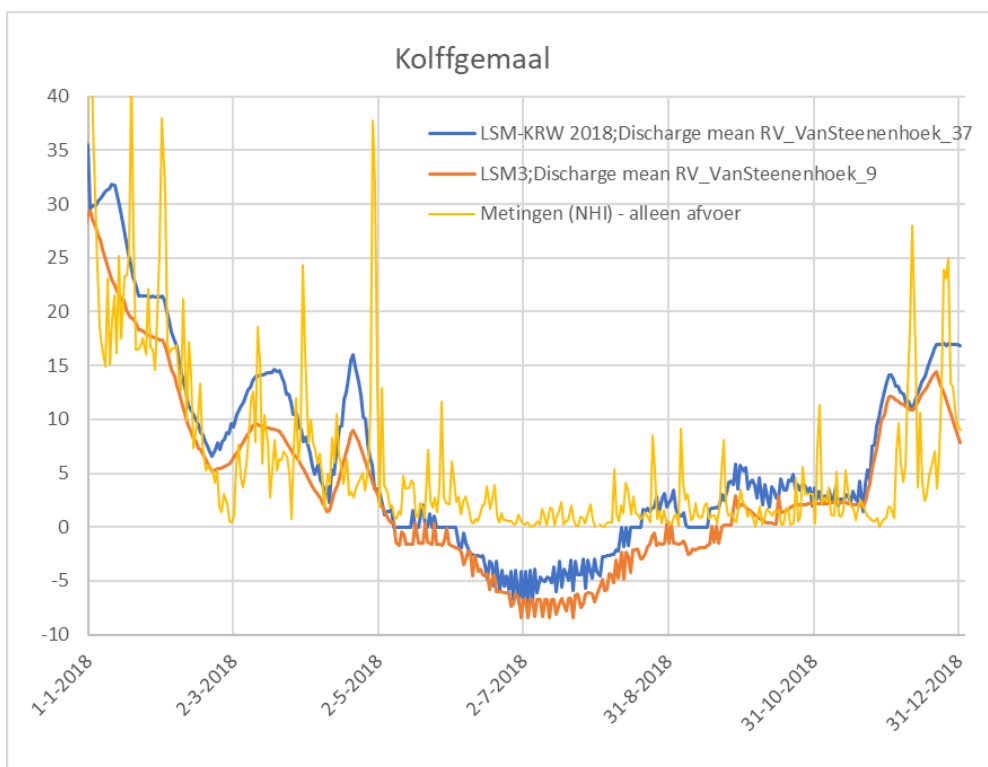


Figuur 39: Aanvoer Doornenburg

De aanvoer bij Doornenburg is in LSM3 lager dan in het LSM-KRW model (zie figuur 39), door verschillen in lateralen en/of sturing. De meetreeks van 2018 uit NHI vertoont wat gaten, maar laat zien dat LSM3 de werkelijke inlaat (afgezien van augustus, waar LSM-KRW het beter doet) redelijk representeert. Voor de aan- en afvoer bij het Kuijkgemaal geldt dat LSM3 een grotere afvoer en een kleinere aanvoer heeft (figuur 40). Voor benedenstroomse deel van het watersysteem is het Kolffgemaal (kanaal van Steenenhoek) inlaat- en uitlaatpunt. Hier is de afvoer van LSM3 iets lager en de aanvoer juist iets hoger dan in het LSM-KRW model, zie figuur 41. Het verloop van de afvoer volgt het algemene patroon van de metingen redelijk, ook al zijn de districtlozingen en onttrekkingen op basis van LHM op decadebasis en de metingen op dagbasis. Wel valt op dat ook in de zomerperiode er volgens de metingen in de zomer ook is afgevoerd bij het Kolffgemaal, terwijl het model waterinlaat berekend. Mogelijk is er sprake van doorspoeling en is alleen de afvoer bemeten; dit zou bij waterschap Rivierenland nagevraagd moeten worden.



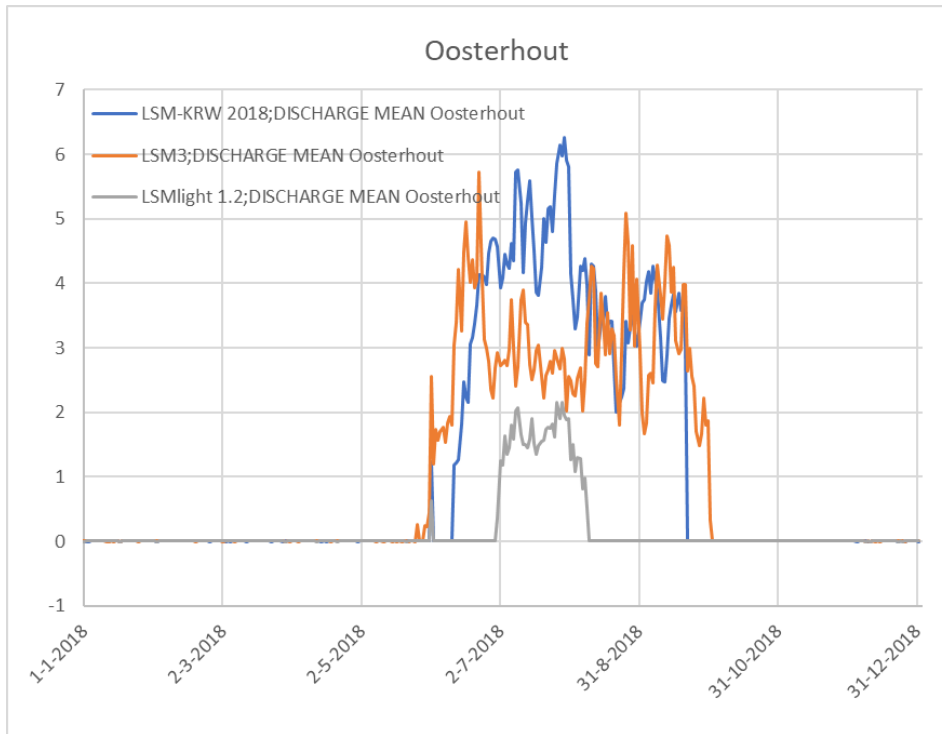
Figuur 40: Aan- en afvoer Kuijkgemaal (negatief= aanvoer)



Figuur 41: Aan- en afvoer Kolffgemaal (negatief = aanvoer)

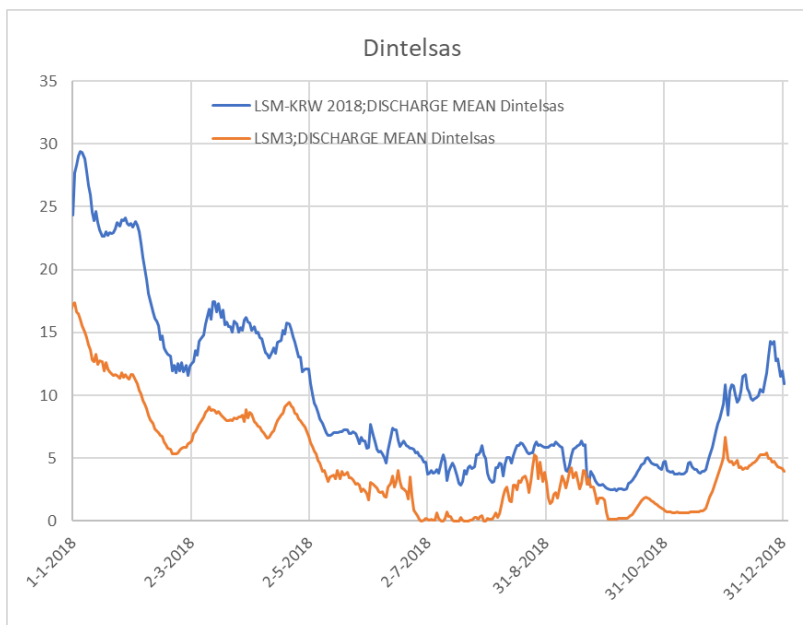
3.24 Aanvoer en afvoer West-Brabant

Het watersysteem van West-Brabant kan worden gevoed door de natuurlijke afvoer uit het zuiden (beken), via de inlaat Oosterhout en in de nabije toekomst ook via de Roode Vaart uit het Hollands Diep. Die laatste mogelijkheid staat nog uit in de modellen. De afvoer gebeurt via de Dintel bij Dintelsas en via de Roosendaalse en Steenbergse Vliet (Benedensas).



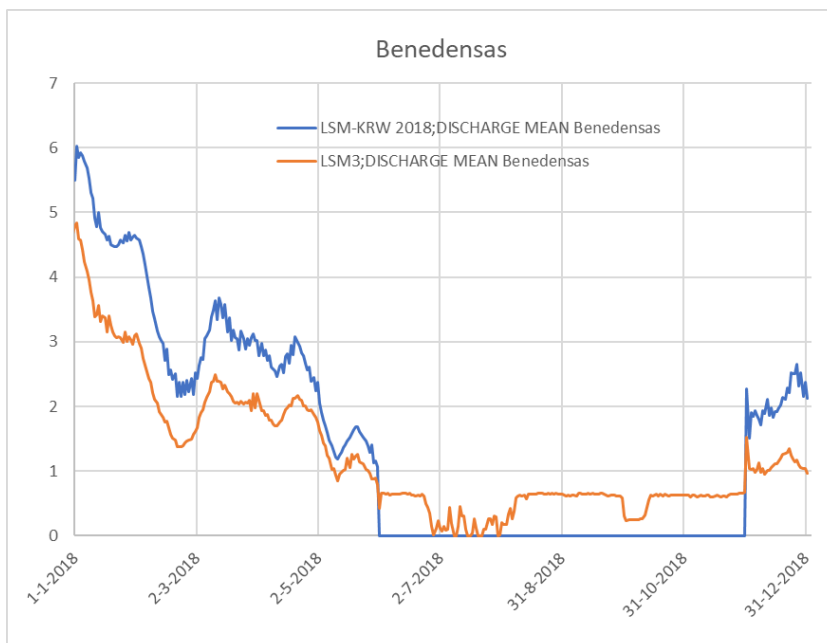
Figuur 42: Debiet bij Oosterhout naar het Mark-Vliet systeem

Uit figuur 42 blijkt dat de aanvoer bij Oosterhout naar het gebied van Brabantse Delta in de LSM-light 1.2 som duidelijk lager is dan in de andere sommen. Daarom zijn voor de andere Brabantse locaties de resultaten van LSM light 1.2 weggelaten.



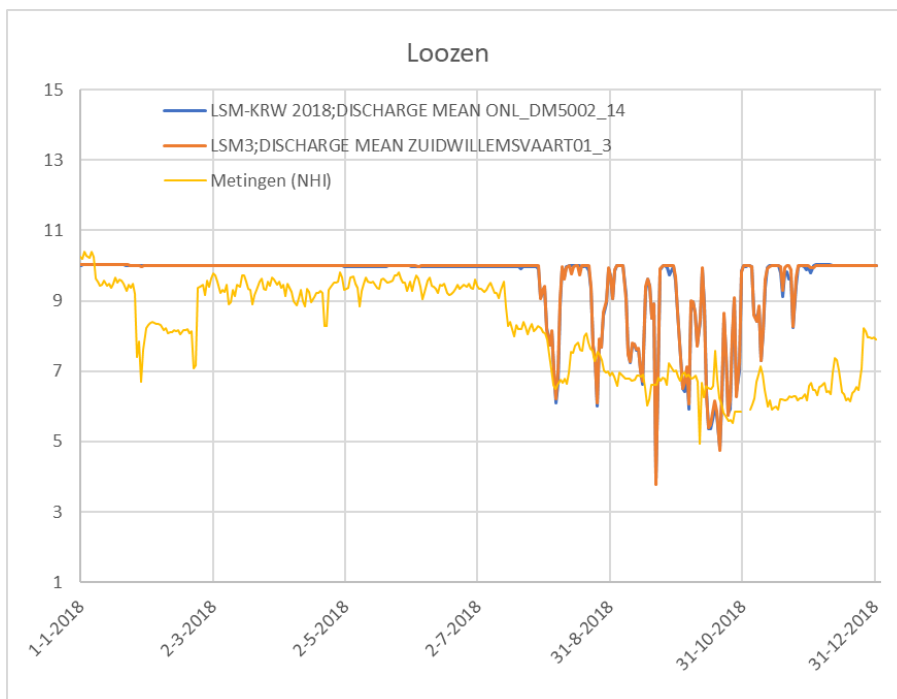
Figuur 43: Debiet bij Dintelsas

Het debiet bij Dintelsas is in LSM3 in juli en oktober gezakt tot vrijwel nul, terwijl in het SOBEK2 LSM-KRW model nog orde 3 m³/s wordt afgevoerd naar het Volkerak (figuur 43). Het patroon is wel vergelijkbaar en de verschillen zullen vooral zitten in verschillen in opgelegde laterale debieten, in sturing van de inlaat Oosterhout (die is in juli in LSM3 ongeveer 1 m³/s lager van in de LSM-KRW som) of de sturing bij Dintelsas en Benedensas. Voor de afvoer bij Benedensas (figuur 44) geldt namelijk juist dat het LSM-KRW model in de zomer nul is, terwijl LSM3 nog wel een kleine afvoer van minder dan 1 m³/s geeft. Eventueel beschikbare metingen zullen uitsluitsel moeten geven welk model het dichtst bij de werkelijkheid zit.

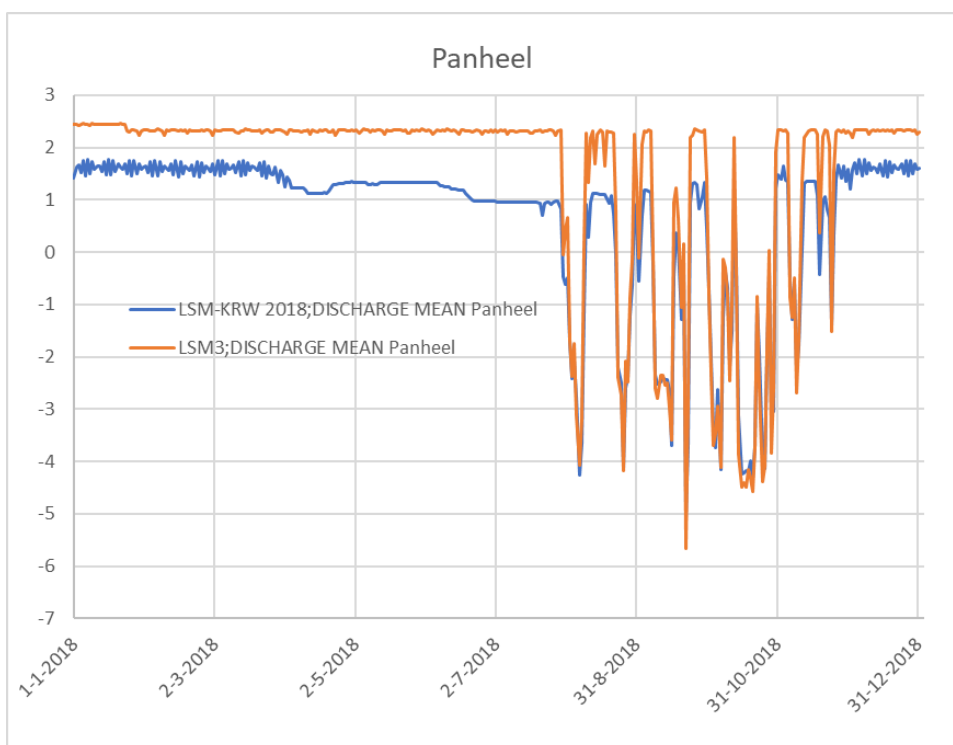


Figuur 44: Debiet bij Benedensas

De aanvoer naar de Brabantse kanalen gebeurt via de Zuid-Willemsvaart waar bij Loozen in het model gestuurd wordt op 10 m³/s aanvoer. Als dat door lage Maasafvoeren bij Maastricht niet geleverd kan worden, springt de inlaat Panheel bij. In LSM3 en in de SOBEK2 modellen wordt de inlaat Panheel vanaf augustus 2018 ingezet (zie figuur 45 en 46).



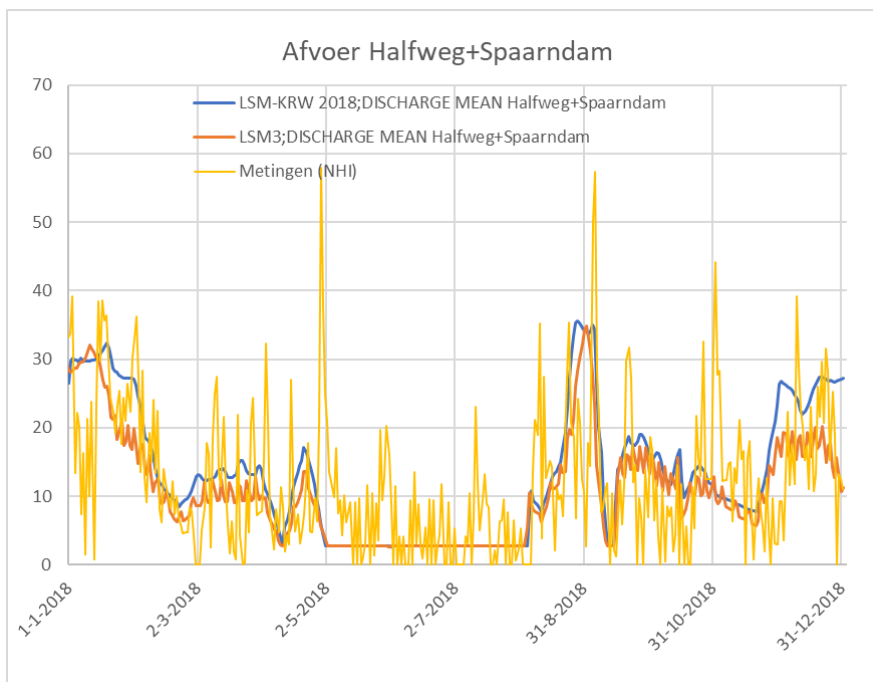
Figuur 45: Debiet bij Loozen



Figuur 46: Debiet bij Panheel (positief= afvoer naar de Maas; negatief= waterinlaat)

3.25 Afvoer Rijnland naar Noordzeekanaal

Bij Halfweg en Spaarndam loost Rijnland op het Noordzeekanaal. Dit betreft lozingen van overtollig water en (in de zomer) ten behoeve van doorspoeling van Rijnlands boezem. Figuur 47 laat zien dat de resultaten van LSM3 goed overeenkomen met die van de LSM-KRW SOBEK2 som. De dagmetingen zijn erg variabel, maar het globale patroon van metingen en modellen komt overeen.



Figuur 47: Debiet Halfweg+Spaarndam naar Noordzeekanaal

3.26 Overige waterstanden

Voor het IJsselmeer is in paragraaf 3.16 een vergelijking van de waterstanden in LSM3 met oudere LSM SOBEK2 modellen en met de metingen beschreven.

In deze paragraaf wordt de statistiek van de waterstanden gegeven door vergelijking van de metingen uit 2018 met de LSM3 resultaten van sobek-lsm3-j18_5-v2 (de LSM3 2020 versie, zie ook de rapportage van Wesselius en Fujisaki, 2020) en de nieuwe LSM versie sobek-lsm3-j18_5-v5. De bekende indicatoren bias, root mean square error (RMSE) en standaarddeviatie worden gebruikt.

Een belangrijke kanttekening is dat de waterstandsmetingen geen daggemiddelden zijn, maar instantane waarden. De uitvoer van de LSM3 som met sobek-lsm3-j18_5-v2 heeft ook instantane actuele waarden, maar de uitvoer van sobek-lsm3-j18_5-v5 is ingesteld op daggemiddelde uitvoer. Voor meetpunten die direct of indirect onder invloed van getij staan kan dat een flink verschil geven. Dat is in tabel 1 aangegeven in de kolom 'opmerking'. De plaatjes van de waterstanden worden gegeven in bijlage A.

Met deze kanttekening wordt uit de tabel en de figuren in de bijlage duidelijk dat de nieuwe versie sobek-lsm3-j18-5-v5 beter presteert dan de versie van september 2020. Dat hangt samen met de verbeteringen in het model zoals beschreven in het memo van maart (Prinsen, 2021) en de aanpassingen zoals beschreven in hoofdstuk 2 van dit rapport. Ook de resultaten bij belangrijke regionale doorvoerlocaties zoals besproken in hoofdstuk 3 laten zien dat de nieuwe LSM3 versie vergelijkbaar presteert als de SOBEK2 LSM versies.

Tabel 1: Statistieken van waterstanden.

Locatie	SOBEK-LSM3-j18_5-v2 -minus-Observaties (versie sept 2020)			SOBEK-LSM3-j18_5-v5 -minus-Observaties (versie dec 2021)			opmerking
	Bias	RMSE	Stdv	Bias	RMSE	Stdv	
Amerongen beneden	0.047	0.152	0.145	-0.027	0.203	0.202	
Amerongen boven	-0.038	0.132	0.127	-0.041	0.134	0.128	
Amsterdam Surinamekade	0.091	0.124	0.085	-0.02	0.042	0.037	Fout IJmuiden, Oranjesluizen in v2
Arnhem	0.039	0.154	0.15	0.039	0.154	0.149	
Bathse Spuikanaal inloop	2.052	2.142	0.616	-0.091	0.105	0.053	
Belfeld beneden	-0.161	0.226	0.159	-0.05	0.089	0.073	
Belfeld boven	-0.036	0.143	0.139	-0.048	0.084	0.07	
Bergse Diepsluis west	-1.266	1.65	1.06	0.259	1.108	1.079	getij
Brouwershavensche Gat 08	-0.075	0.856	0.854	-0.074	0.857	0.855	getij
Buggenum Hanssummerweerd	-0.107	0.232	0.206	-0.081	0.145	0.12	
Buitenhuizen (kilometer 10)	0.105	0.136	0.086	-0.008	0.038	0.037	Fout IJmuiden, Oranjesluizen in v2
Culemborg brug	0.016	0.169	0.169	-0.06	0.227	0.22	
Deventer	0.049	0.229	0.224	0.038	0.186	0.182	
Dodewaard	0.196	0.211	0.077	0.182	0.199	0.08	
Doesburg brug	0.106	0.154	0.112	0.113	0.147	0.095	
Driel beneden	0.033	0.136	0.132	0.034	0.135	0.131	
Driel boven	-0.006	0.178	0.178	-0.007	0.176	0.176	
Eefde beneden	0.058	0.219	0.212	0.044	0.172	0.167	
Eijsden grens	-0.11	0.159	0.116	0.017	0.13	0.129	
Gennep	-0.087	0.155	0.129	-0.047	0.091	0.078	
Goidschalxoord	-0.034	0.073	0.065	-0.046	0.384	0.381	getij
Gouda brug	-0.015	0.088	0.087	-0.019	0.506	0.506	getij
Grave beneden	-0.088	0.171	0.147	-0.032	0.087	0.082	
Grave boven	-0.009	0.084	0.084	-0.015	0.077	0.075	
Grevelingen boei G22	0.002	0.048	0.048	0.003	0.048	0.048	getij
Grevenbicht	-0.159	0.502	0.476	0.036	0.44	0.439	
Hagestein beneden	0.034	0.175	0.172	-0.085	0.429	0.422	getij
Hagestein boven	0.02	0.153	0.152	-0.057	0.217	0.209	
Haringvliet 10	0.001	0.013	0.013	0.159	0.753	0.737	getij

Heel beneden	-0.103	0.194	0.165	-0.066	0.102	0.078	
Heel boven	-0.023	0.072	0.069	-0.025	0.072	0.067	
Heesbeen	-0.111	0.178	0.139	-0.216	0.254	0.134	
Hellevoetsluis	-0.059	0.119	0.104	-0.195	0.25	0.156	(pseudo)getij
Hoek van Holland	-0.005	0.065	0.065	0.131	0.628	0.615	getij
IJsselkop	0.085	0.108	0.067	0.085	0.108	0.067	
Kampen bovenhaven	-0.025	0.102	0.099	-0.003	0.095	0.095	
Katerveer	-0.026	0.131	0.129	-0.015	0.105	0.104	
Kats binnen	1.156	1.163	0.126	-0.006	0.195	0.195	pseudo getij Veerse meer
Kats buiten	-1.292	1.621	0.98	0.252	1.03	1	getij Oosterschelde
Keizersveer	-0.073	0.116	0.09	-0.199	0.242	0.138	
Krammersluizen west	-1.298	1.637	0.999	0.24	1.044	1.017	getij Oosterschelde
Krimpen ad IJssel	-0.003	0.057	0.057	-0.006	0.474	0.475	getij
Krimpen ad Lek	-0.032	0.068	0.06	-0.055	0.418	0.415	getij
Lauersoog	-0.891	1.192	0.793	-0.892	1.195	0.796	getij
Linne beneden	-0.028	0.085	0.081	0.022	0.101	0.099	
Lith boven	0.041	0.124	0.117	0.038	0.12	0.114	
Lith dorp	-0.195	0.314	0.246	-0.231	0.284	0.166	pseudo getij
Lobith	0.08	0.094	0.051	0.08	0.096	0.053	
Loozen (kilometer 50)	4.685	4.685	0.022	0.25	0.265	0.09	
Maarssen	0.086	0.117	0.08	-0.022	0.048	0.043	Fout IJmuiden, Oranjesluizen in v2
Maaseik	-0.184	0.252	0.172	-0.083	0.156	0.132	
Maassluis	-0.022	0.054	0.049	0.075	0.569	0.565	getij
Marollegat	-1.269	1.666	1.081	0.26	1.129	1.1	getij
Moerdijk	-0.056	0.108	0.093	-0.187	0.238	0.147	pseudo getij
Mond der Vecht	-0.035	0.127	0.122	-0.005	0.117	0.117	
Mook	-0.019	0.077	0.074	-0.012	0.06	0.059	
Neer	-0.08	0.175	0.156	-0.057	0.092	0.072	
Nieuw-Vossemeer	2.053	2.145	0.619	-0.089	0.105	0.055	
Nieuwegein	0.08	0.116	0.084	-0.026	0.052	0.045	
Nijmegen haven	0.192	0.212	0.089	0.188	0.208	0.088	
Noord Volkerak boei NV3	2.057	2.15	0.624	-0.086	0.129	0.097	
Olst	0.044	0.205	0.2	0.04	0.164	0.159	

Oosterschelde 04	-1.423	1.742	1.006	0.141	1.022	1.014	getij
Oosterschelde 11	-1.425	1.75	1.016	0.179	1.038	1.023	getij
Oosterschelde 14	-1.416	1.698	0.938	0.148	0.966	0.956	getij
Oranjeplaat Schenge	1.159	1.166	0.128	-0.003	0.198	0.198	pseudo getij (Veerse meer)
Pannerdense Kop	0.105	0.119	0.056	0.105	0.119	0.058	
Rak noord	-0.055	0.113	0.099	-0.19	0.246	0.156	pseudo getij Hollands Diep
Rak zuid	2.051	2.141	0.616	-0.091	0.109	0.06	pseudo getij Volkerak
Roermond boven	-0.037	0.109	0.102	-0.033	0.07	0.062	
Roompot binnen	-1.352	1.615	0.885	0.185	0.918	0.901	getij
Roompot buiten	-1.382	1.726	1.036	0.162	1.056	1.045	getij
Rotterdam	0.004	0.052	0.052	0.035	0.545	0.545	getij
Sambeek boven	-0.022	0.087	0.084	-0.032	0.076	0.069	
Scheveningen				0.217	0.648	0.612	
Schijndel	0.192	0.194	0.031	0.11	0.115	0.033	
Schoonhoven	-0.05	0.091	0.076	-0.115	0.4	0.383	getij (Lek)
Sint Pieter noord	-0.09	0.141	0.108	-0.035	0.069	0.06	
Spijkenisse	-0.027	0.056	0.05	0.017	0.51	0.51	getij
Spoodersluis binnen	-0.027	0.137	0.134	0.003	0.127	0.127	
Stavenisse	-1.299	1.629	0.985	0.241	1.03	1.003	getij
Stellendam buiten	0.003	0.085	0.085	0.169	0.75	0.731	getij
Stevensweert	-0.088	0.121	0.084	-0.061	0.091	0.068	
Tiel Waal	0.138	0.158	0.077	0.097	0.128	0.083	
Vechterweerd beneden	-0.103	0.27	0.25	-0.027	0.179	0.177	
Venlo	-0.19	0.276	0.201	-0.102	0.142	0.098	
Vlaardingen	-0.022	0.05	0.045	0.041	0.559	0.558	getij
Vuren	-0.02	0.079	0.077	-0.134	0.191	0.136	
Weesp West	0.093	0.123	0.081	-0.018	0.043	0.04	Fout IJmuiden, Oranjesluizen in v2
Well dorp	-0.081	0.129	0.101	-0.049	0.076	0.058	
Werkendam buiten	-0.067	0.097	0.07	-0.184	0.229	0.136	getij
Wijk bij Duurstede kanaal	0.085	0.12	0.084	-0.019	0.054	0.05	
Wilhelminakanaal sluis III	0.117	0.141	0.079	0.103	0.111	0.042	
Yerseke	-1.26	1.633	1.041	0.272	1.094	1.061	getij

Zaltbommel	0.039	0.1	0.092	-0.047	0.122	0.113	
Zuidland	-0.08	0.144	0.12	-0.162	0.232	0.166	getij
Zuidwillemsvaart sluis 04 (bovenwaterstand)	0.147	0.15	0.029	0.067	0.073	0.029	
Zuidwillemsvaart sluis 11	0.209	0.226	0.085	0.132	0.137	0.035	
Zuidwillemsvaart sluis 13	0.82	0.821	0.036	0.372	0.375	0.049	
Zuidwillemsvaart sluis 6	0.32	0.321	0.032	0.231	0.234	0.035	
Zutphen noord	0.054	0.208	0.201	0.044	0.166	0.16	

4 Verificatie chloride 2018

4.1 Vergelijking met SOBEK3 RMM-VoZo

Met het SOBEK3 model rmm-vozo-j15_5_v2_JS18 is een jaarsom voor 2018 beschikbaar (JS18=jaarsom 2018) voor het gebied van Rijn-Maasmonding (RMM) en Volkerak-Zoommeer (VoZo). Deze som is gemaakt in juli 2019 in de toen beschikbare SOBEK versie (v.d. Deijl en v.d.Wijk, 2020). Qua chlorideberekeningen zijn er tussen die versie en SOBEK 3.7.22 van januari 2021 weinig tot geen verschillen. In het vervolg van deze paragraaf wordt naar dit model verwezen als het RMM-VoZo model.

In LSM3 zijn de dispersieparameters overgenomen uit het RMM model. Daarom is als verificatie voor de berekening van chloride met LSM3 besloten om de resultaten van chloride voor enkele locaties in de Rijn-Maas monding te vergelijken met de chlorideconcentraties uit de RMM-VoZo 2018 jaarsom.

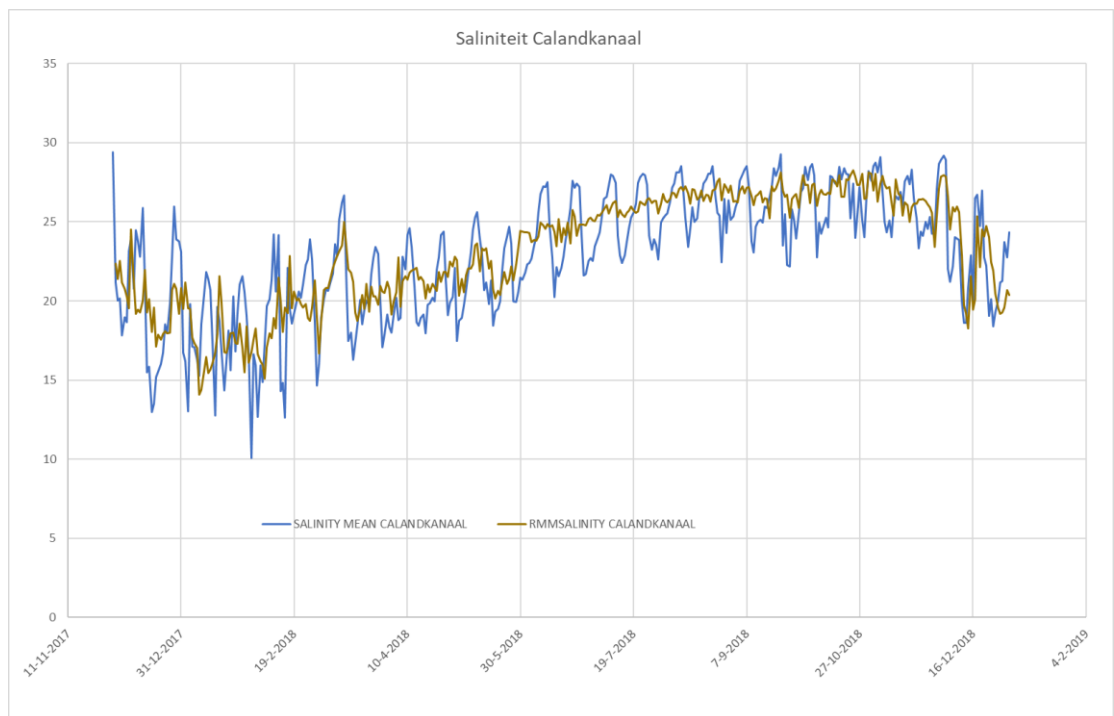
Een aandachtspunt is nog wel de consistentie van de randvoorwaarden. De benedenrand bij Maasmond in LSM is identiek opgelegd als die in RMM, zowel qua waterstand als qua saliniteit. De bovenranden van RMM-VoZo (Hagestein, Tiel, Lith) liggen echter midden in het LSM netwerk, waar de bovenranden bij Lobith en Monsin zijn. De saliniteit bij Lobith is anders dan die in RMM bij Tiel en Hagestein is opgelegd. Verder is in LSM voor alle laterale lozingen een constante saliniteit van 0.02 ppt opgelegd, terwijl in RMM-VoZo voor de lateralen de saliniteit op nul is gesteld. Die moet bij gebruik in NWM, in combinatie met LHM, waar mogelijk worden overgenomen uit wat LHM berekent heeft (in DM en Mozart uitgedrukt als chloride concentratie).

In de RMM-VoZo jaarsom 2018 is het debiet voor de laterale onttrekking bij Gouda (en vele andere lateralen) en ook de saliniteit van de lateralen op nul gesteld. Voor de saliniteit in de grote riviertakken in RMM zal dat niet veel uitmaken, maar voor de mate van intrek van chloride op de Hollandsche IJssel is het wel belangrijk of er bij Gouda onttrokken of geloosd wordt. Hierdoor is de vergelijking nog niet helemaal zuiver. Maar een vergelijking van de resultaten met de RMM resultaten laat wel zien of LSM qua chloride plausibele resultaten geeft.

Bij de vergelijking is gekeken naar de volgende locaties:

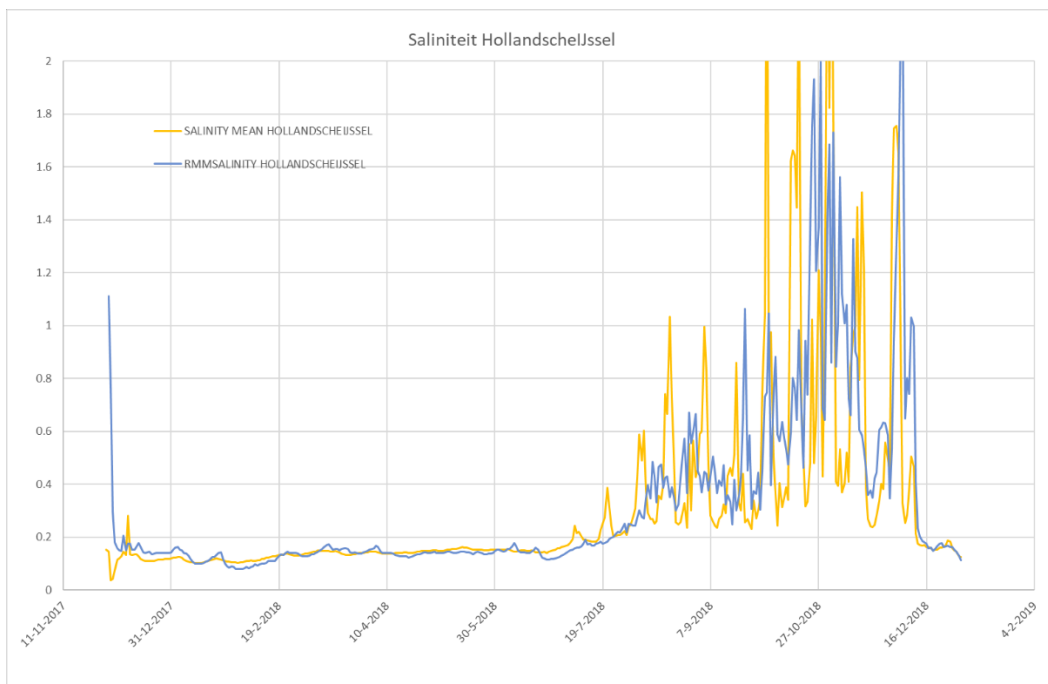
Locatie	RMM	LSM
Bij samenvloeiingspunt van het Calandkanaal en de Nieuwe Waterweg	Calandkanaal	Calandkanaal
Uitstroompunt Oude Maas in Nieuwe Waterweg	OudeMaas	OudeMaas
Bij de monding van de Hollandsche IJssel in de Nieuwe Maas	HollandscheIJssel	HollandscheIJssel
Samenvloeiing Lek-Noord	Ridderkerk	Ridderkerk
Samenvloeiing Oude Maas – Dordtsche Kil	DordscheKil-N	DordscheKil-N
Splitsingspunt Oude Maas-Spui	Spui-N	Spui-N
Bij inlaat Bernisse	Spui_12008.000 Naast meetpunt Zuidland (Bernisse)	Bernisse
Splitsingspunt Hollands Diep-Volkerak	Volkerrak	Volkerrak
Splitsing Hollands Diep – Dordtsche Kil	DordtscheKil-Z	DordtscheKil-Z

De RMM-VoZo som geeft uitvoer per 10 minuten. Deze is gemiddeld naar dagbasis en vervolgens vergeleken met de daggemiddelde uitvoer van de LSM3 berekening. Hieronder worden een paar figuren getoond voor Calandkanaal (het dichtst bij de randvoorwaarde Maasmond), de Hollandsche IJssel (aan de zijde van Krimpen aan de IJssel), de Dordtsche Kil (beide zijden) en het Spui bij de inlaat Bernisse (figuur 48 tot en met 51).



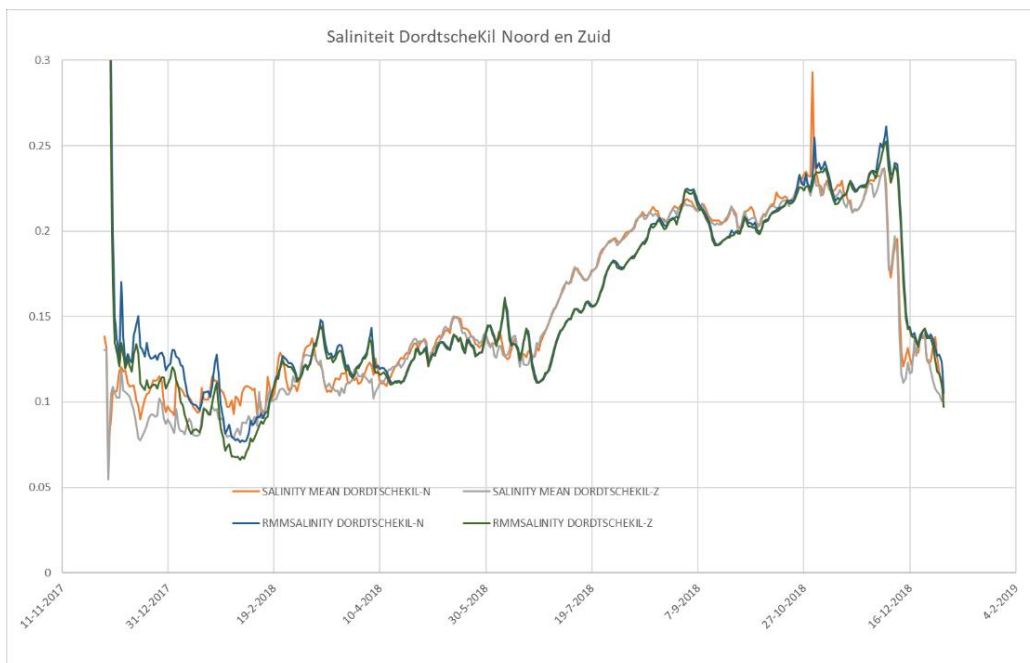
Figuur 48: Saliniteit Calandkanaal – Nieuwe Waterweg

De saliniteit in de LSM berekeningen vertoont een grotere variatie. Het algemene patroon en de trends in het jaar kloppen wel.



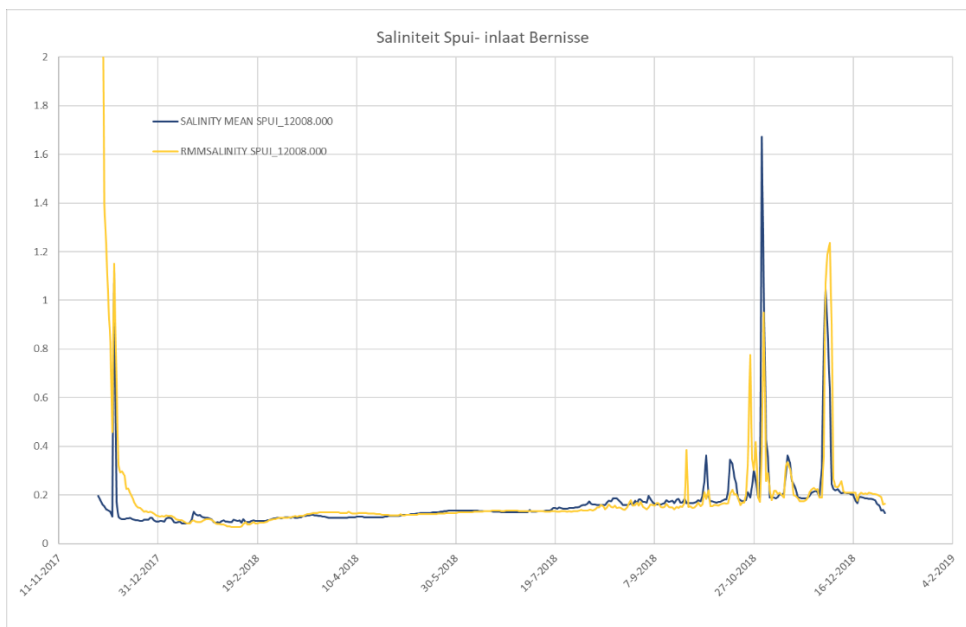
Figuur 49: Saliniteit Hollandsche IJssel-Nieuwe Maas

Bij Krimpen aan de IJssel is het globale verloop van de saliniteit vergelijkbaar, maar de momenten van de pieken in het najaar kloppen niet helemaal, door andere (boven-) randvoorwaarden en laterale condities. In LSM loopt eind juli de saliniteit veel harder op dan in RMM, omdat in LSM de onttrekking via Gouda nog tot begin augustus doorgaat (en het zout verder naar binnen wordt getrokken) terwijl in het RMM model de inlaat en lozing bij Gouda steeds op nul staat. In werkelijkheid werd de KWA ingeschakeld (en niet meer bij Gouda ingelaten) vanaf 24 juli.



Figuur 50: Saliniteit Debiet Dordtsche Kil

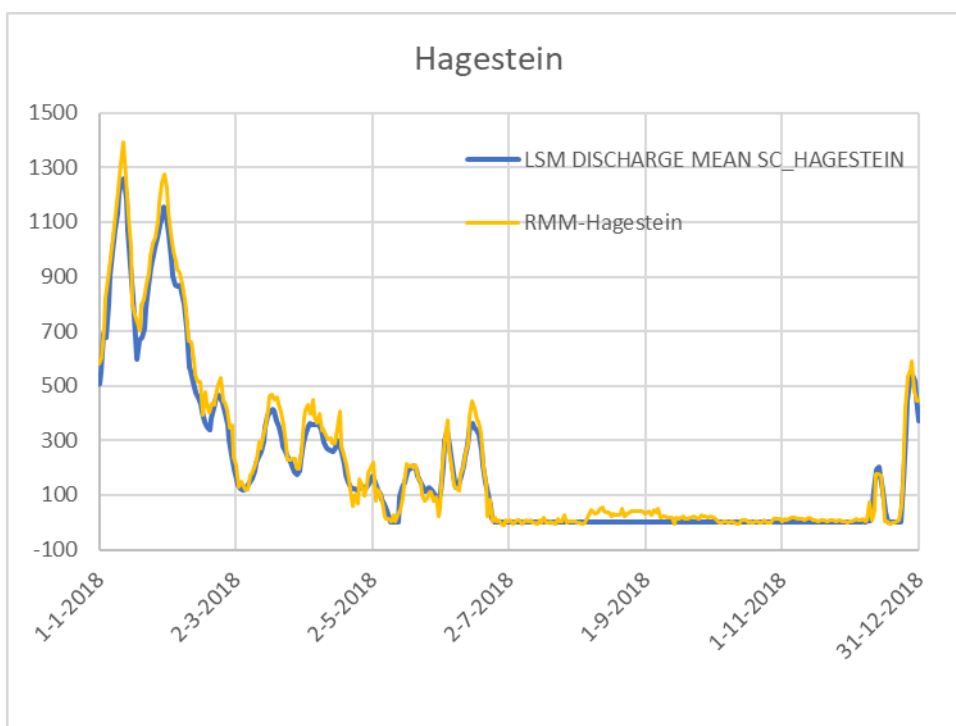
Het algemene patroon klopt redelijk, de twee locaties geven in beide modellen onderling vergelijkbare resultaten, alleen blijkt de saliniteit in LSM iets hoger.



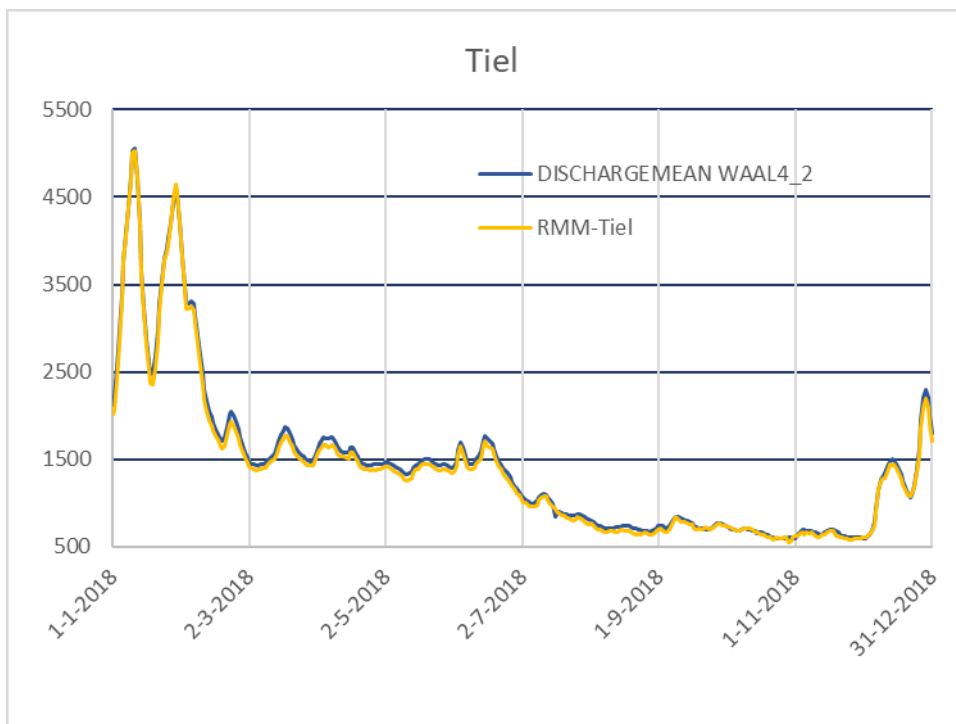
Figuur 51: Saliniteit Spui – inlaat Bernisse

Ook voor de inlaat Bernisse is het algemene patroon redelijk, met langzaam oplopende saliniteit gedurende het jaar. Maar de hoogte van de pieken komt niet heel goed overeen.

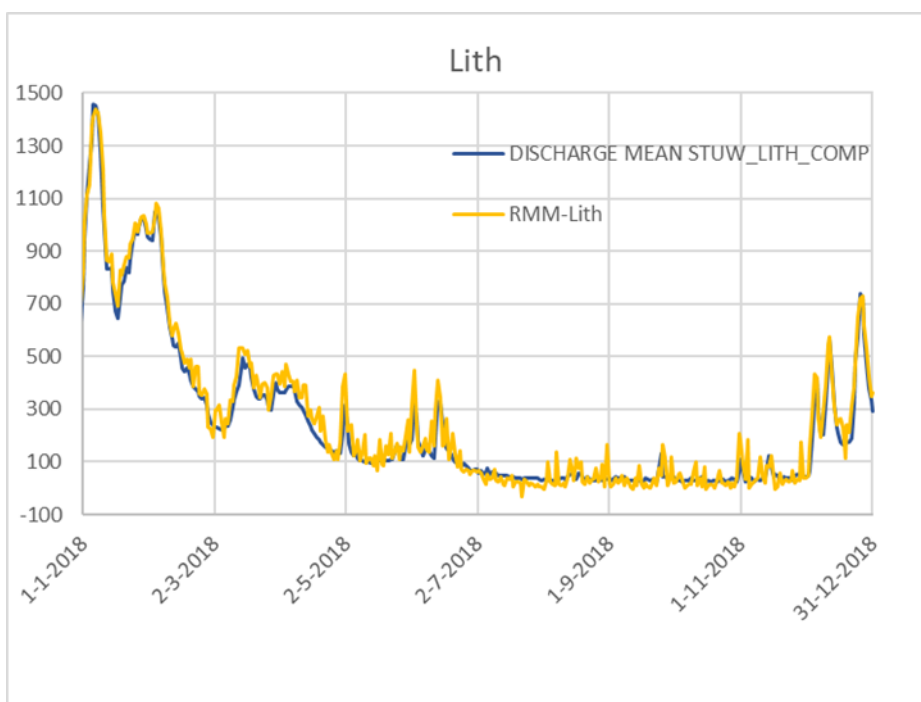
De verschillen tussen LSM en RMM-VoZo resultaten qua chloride zullen vooral komen door verschillen in de waterbeweging en laterale debieten. Om dit te verifiëren is het opgelegde debiet (randvoorwaarde) in RMM-VoZo bij Hagestein, Tiel, en Lith vergeleken met de LSM resultaten. Uit figuur 52 tot en met 54 blijkt dat er verschillen zijn die qua waterbeweging en chloride enige gevolgen zullen hebben.



Figuur 52: RMM Hagestein randvoorwaarde vs. LSM debiet Hagestein



Figuur 53: RMM Tiel randvoorwaarde vs. LSM debiet Tiel



Figuur 54: RMM Lit randvoorwaarde vs. LSM debiet Lith

Behalve de debieten moeten ook de saliniteiten in de koppeling van LHM naar LSM worden meegenomen.

5 Resultaten nieuwe DIMRSet versie

5.1 Inleiding

In de performance analyse die in maart 2021 is gerapporteerd (Prinsen, 2021) zijn een aantal versnellingsopties in de SOBEK3 rekenkern (cf_dll/dll) geïdentificeerd. Deze zijn inmiddels in het kader van KPP-Software geïmplementeerd en beschikbaar in een nieuwe DIMRSet versie. Om deze versie te onderzoeken qua performance, zowel qua rekestijd als inhoudelijke resultaten, zijn een aantal sommen gemaakt met de SOBEK 3.7.22 versie (met en zonder zout en temperatuur) en met een nieuwe DIMRSet versie van 23 november 2021. Alle berekeningen zijn uitgevoerd op dezelfde laptop.

5.2 Aanpassingen in de code

Bij het analyseren van de performance in SOBEK3 is een aantal knelpunten gevonden, die veel rekestijd vergden. Deze knelpunten waren:

- de berekening van de volumes tijdens de niet-lineaire iteratie.
- de berekening van de waterbewegingsparameters, zoals bijvoorbeeld het doorstroomoppervlak en de hydraulische straal;
- het ophalen en zetten van de randvoorwaarden en laterale debieten kostte veel tijd; bij de analyse is zowel gekeken naar het ophalen/zetten op basis van de directe 1D modelinvoer als naar de communicatie via DIMR met andere modules.

Volumes

De massabalans wordt in SOBEK3 iteratief opgelost omdat het natte wateroppervlak (surface area) varieert met veranderingen in waterpeil en daardoor zijn de vergelijkingen niet-lineair. Om een volume in een rekenpunt te berekenen voor een bepaalde waterstand, wordt per inkomende tak het natte oppervlak aan de kant van het rekenpunt op deze tak bepaald, vervolgens vermenigvuldigd met de halve ruimtestap. Deze gegevens van de afzonderlijke takken worden vervolgens bij elkaar opgeteld. Eventueel aanwezige retentiegebieden, worden ook meegenomen. Berekeningen aan ZW-dwarsprofielen zijn kostbaar, omdat voor elk opgegeven niveau in de tabel, dat onder de actuele waterstand ligt, een oppervlakte moet worden berekend en voor het laatste gedeeltelijk natte profiel wordt de bovenbreedte berekend en voor dit natte deel wordt vervolgens een oppervlakte berekend. En deze gegevens worden vervolgens bij elkaar opgeteld.

Er is gekozen om deze procedure te versnellen door gebruik van volumetabellen. Voor de volumetabellen wordt nu eenmalig voor elk rekenpunt een equidistante tabel voor de waterdiepte opgesteld, waarin de totale volume voor die knoop voor die bepaalde waterdiepte wordt opgeslagen. Het berekenen van de totale volume resulteert dan in een eenmalige interpolatie in deze tabel. Het algoritme is beschreven in de SOBEK3 Technical Reference Manual.

Bij het opstellen van de volumetabellen is speciale aandacht besteed aan profielen met zomerdijken en de optredende hysteresis-effecten bij overgang van lage afvoeren naar hoge afvoeren en andersom. De bijbehorende testgevallen geven correcte resultaten en zijn opgenomen in de SOBEK3 testbank.

Het gebruik maken van een equidistante tabel (met door de gebruiker op te geven discretisatiestap) vereenvoudigt en versnelt het zoeken naar het juiste interval in de tabel.

Het natte oppervlak is per discretisatiestap constant verondersteld en ook dit levert een versnelling op ten opzichte van het rekenen met een toenemende breedte in het interval.

Het gevolg van deze vereenvoudigingen is, dat de resultaten bij gebruik van deze volumetabellen, orde millimeters kunnen afwijken van een simulatie waarin deze volumetabellen niet worden gebruikt.

Aanpassingen in de berekening van de waterbewegingsparameters

Er zijn twee aanpassingen geïmplementeerd in de berekening van de waterbewegingsparameters. De eerste verbetering betrof het tabelleren van de ZW-profielen, analoog aan de manier waarop de YZ-profielen al eerder zijn getabelleerd. Deze tabellen zijn niet equidistant, maar bevatten alle steunpunten van de ZW-tabel en daardoor zijn de resultaten niet gewijzigd door deze aanpassing. De tweede verbetering betrof het interpoleren van de tabellen van de dwarsprofielen naar de desbetreffende rekenpunten. Tot nu toe werd in SOBEK3 per rekenpunt één of tweemaal een dwarsprofiel doorgerekend en werden vervolgens deze gegevens geïnterpoleerd naar het desbetreffende rekenpunt.

De eerste verbetering (het tabelleren) heeft een performanceverbetering opgeleverd. Vreemd genoeg leverde het interpoleren van de tabellen naar de rekenpunten geen significante snelheidsverbetering op, terwijl voor het LSM model 25 tot 30 % minder berekeningen aan dwarsprofielen nodig was. Om dit verder uit te zoeken is gekeken naar de reketijden van de beide oplossingen en daaruit bleek dat de eenmalige berekening gemiddeld bijna tweemaal zoveel tijd kost als de berekening tweemaal uitvoeren en interpoleren. De reden hiervoor is nog niet duidelijk. Besloten is om de aanpassing in de code te laten staan en optioneel te maken, en default de oorspronkelijke methode te blijven gebruiken.

Verder is geconstateerd dat de waterbewegingsparameters meer dan eenmaal per tijdstap werden uitgerekend. Deze doublures zijn uit de code verwijderd. Hierdoor is ook een fout uit een van de code doublures verwijderd. Deze kwam aan het licht bij het RMM model, waar op een bepaalde plek in het model de "Main width" kleiner was gezet dan de bodembreedte van het profiel. Hierdoor werd de ruwheid van de "Floodplain" gebruikt in plaats van de ruwheid van de "Main" sectie. Door het verwijderen van de doublure is dit gecorrigeerd.

Aanpassingen in het zetten van randvoorwaarden en lateralen

Bij het zetten van de randvoorwaarden en laterale debieten werden in SOBEK3 tekststrings gebruikt. Voor het koppelen van deze tekststring aan een fysieke locatie werd een zogenaamde "hash search" gebruikt. De aanname was, dat dit alsnog een kostbare operatie was. De zoekoperatie op basis van tekststrings is uit de code gehaald en vervangen door een directe methode. Dit leverde echter slechts een beperkte performanceverbetering (enkele procenten).

Vervolgens is verder gezocht naar processen die veel tijd kostten. Uit deze analyse bleek, dat het probleem in de EC-module zat. De EC-module wordt gebruikt in verschillende rekenharten voor het ophalen van de randvoorwaarden uit de randvoorwaarden-file. Er bleek dat voor elke randvoorwaarde en elk laterale debiet meerdere malen in een lijst naar de juiste locatie werd gezocht. En voor lateralen is dat een lange lijst die moet worden doorgelopen. Het verwijderen van overbodige zoekacties heeft tot een aanzienlijke verbetering van de performance geleid. En heeft dus ook een positief effect voor de andere rekenharten die gebruik maken van de EC-module, zoals D-Flow FM.

Aanpassingen in de koppeling met DIMR

De reden om in het plan ook de koppeling met DIMR aan te pakken, was het feit dat ook hier veel met tekst strings gewerkt wordt. Op basis van de ervaring die bij de versnelling van de randvoorwaarden en de laterals opgedaan zijn, is geconcludeerd dat deze aanpassing niet tot verdere significante verbeteringen zouden hebben geleid. Deze aanpassing is daarom niet uitgevoerd.

5.3 Rekening

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de sommen en de reketijden.

Tabel 2: Rekening LSM3 met en zonder zout/temperatuur, volgens DIMR en 1D-Flow rekenkern

Model	Max. Courant getal	Zout en temperatuur	SOBEK versie	DIMR Rekening (totale doorlooptijd)	DIMR rekening 1D-Flow
LSM3 sobek-lsm3-j18_5-v5	2.0	Zonder	3.7.22	13118 s 3 uur 39 min	12758 s
LSM3 sobek-lsm3-j18_5-v5	0.9	Met	3.7.22	49662 s 13 uur 48 min	45578 s
LSM3 sobek-lsm3-j18_5-v5	2.0	Zonder	DIMRSET dd.23 November 2021 Zonder VolumeTable	8802 s 2uur 26 min	8468 s
LSM3 sobek-lsm3-j18_5-v5	2.0	Zonder	DIMRSET dd. 23 November 2021 Met VolumeTable, stap 0.025	5025 s 1 uur 23 min	4618 s
LSM3 sobek-lsm3-j18_5-v5	2.0	Zonder	DIMRSET dd. 23 November 2021 Met VolumeTable, stap 0.10	5650 s 1 uur 34 min	4868 s
LSM3 sobek-lsm3-j18_5-v5	0.9	Zonder	DIMRSET dd. 23 November 2021 Met VolumeTable, stap 0.025	9026 s 2 uur 30 min	8686 s
LSM3 sobek-lsm3-j18_5-v5	0.9	Met zout, zonder temperatuur	DIMRSET dd. 23 November 2021 Met VolumeTable, stap 0.025	10216 s 2 uur 50 min	9823 s
LSM3 sobek-lsm3-j18_5-v5	0.9	Met	DIMRSET dd. 23 November 2021 Met VolumeTable Stap 0.025	11257 s 3 uur 7 min	10878 s
LSM light 1.2	2.0	Zonder	SOBEK 2.13.002	1 uur 51 min	n.v.t.

Merk op dat voor sommen zonder zout en temperatuur met een maximum Courantwaarde van 2.0 gerekend kan worden zonder numerieke problemen. Echter, zodra met zout wordt gerekend blijkt dat er met een maximum Courant getal boven de 1.0 wel degelijk numerieke problemen (instabiliteiten en/of crashes) optreden. Daarom is voor de sommen met zout en temperatuur altijd met een maximum Courant geval van 0.9 gerekend.

Waar de rekentijd (zonder zout en temperatuur) met het qua omvang best vergelijkbare SOBEK2 LSM light 1.2 model 1 uur 51 minuten bedroeg, is de rekentijd voor LSM3 na implementatie van de versnellingsopties voor dezelfde som ongeveer anderhalf uur (op basis van 2 sommen met rekentijd van resp. 1 uur 23 minuten, 1 uur 34 minuten). Dus LSM3 is met de nieuwe SOBEK3 DIMRSet duidelijk sneller dan SOBEK2 (beiden met max.Courant getal 2.0).

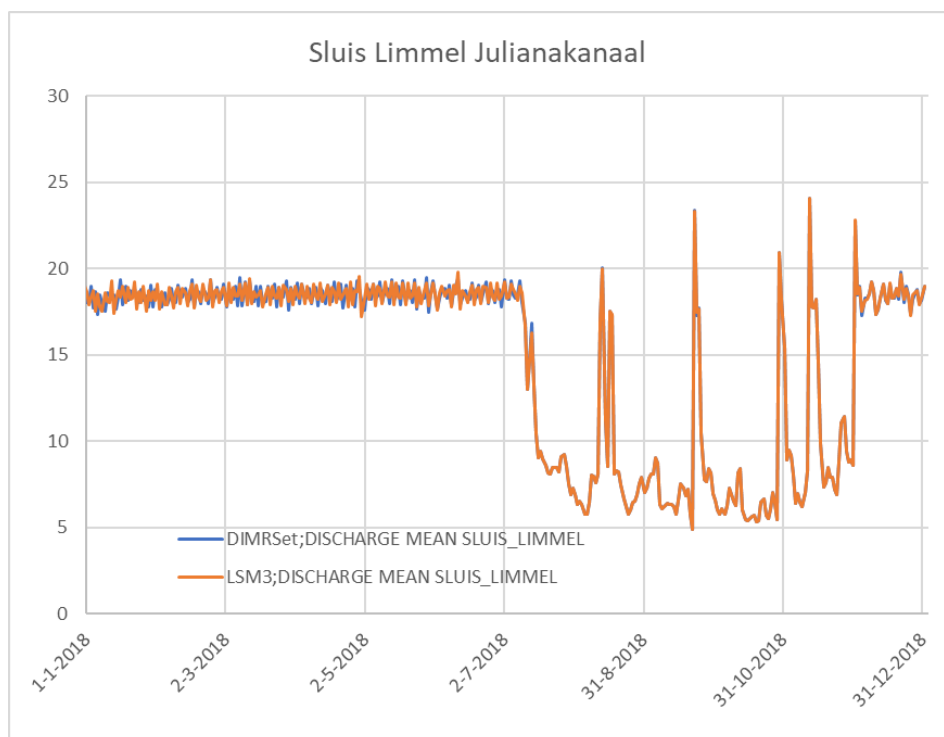
Op het moment dat het maximum Courant getal wordt beperkt tot 0.9, is de rekentijd met de nieuwe DIMRSet 2 uur en 30 minuten, dus niet meer sneller dan Sobek2 (met max.Courant 2.0). Dat is maar weinig sneller dan de rekentijd van 3 uur 7 minuten voor een som met chloride en temperatuur (waarbij so-wie-so met een maximum Courant getal van 0.9 gerekend moest worden). Alleen al het strengere Courant criterium zorgt dus voor een grotere toename van de rekentijd dan het berekenen van chloride en temperatuur.

En ten opzichte van SOBEK 3.7.22 is de versnelling ongeveer een factor 2.5, zowel voor de simulatie zonder zout en temperatuur als voor de som met zout en temperatuur. Deze versnelling in de SOBEK3-rekenkern is dus ook zeer interessant voor alle andere SOBEK3 gebruikers, zoals de RWS 1D-modellen voor de grote rivieren en kanalen in beheer bij RWS, voor de FEWS voorspellingssystemen en voor het nieuwe BOS Maeslantkering.

5.4 Vergelijking resultaten met SOBEK 3.7.22

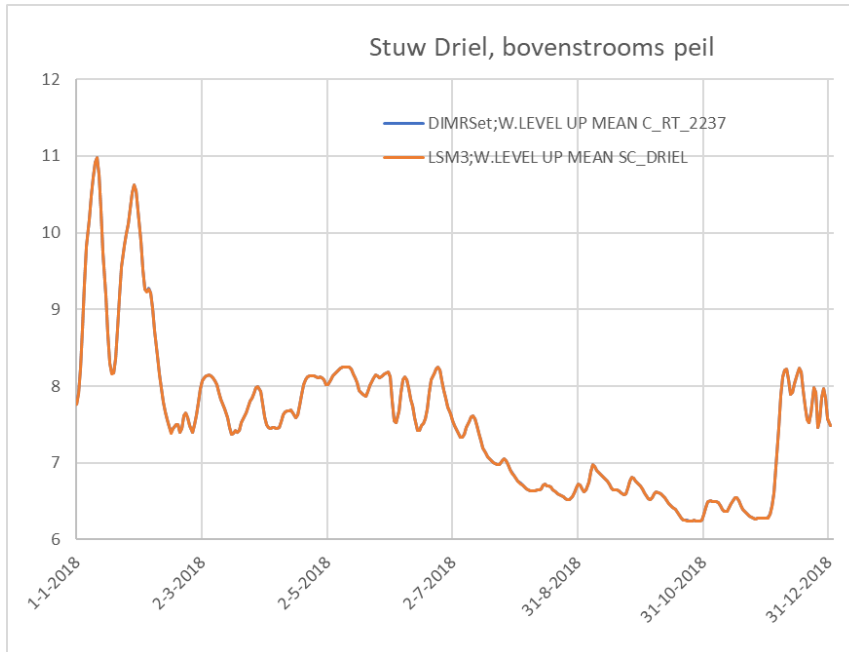
Deze paragraaf vergelijkt beknopt de resultaten van het model gedraaid in SOBEK 3.7.22 met het model gedraaid in de DIMRSet met versnellingsopties. Overigens bevat de nieuwe DIMRSet ook nieuwere versies van D-RTC (RTC-Tools) en DIMR, die ook van invloed op de performance kunnen zijn.

Beide modellen zijn gedraaid zonder chloride en temperatuur. In een beperkt aantal gevallen treden kleine verschillen op.



Figuur 55: Debiet Sluis Limmel (Julianakanaal), DIMRSet met stapgrootte 0.1m in de volumetabellen

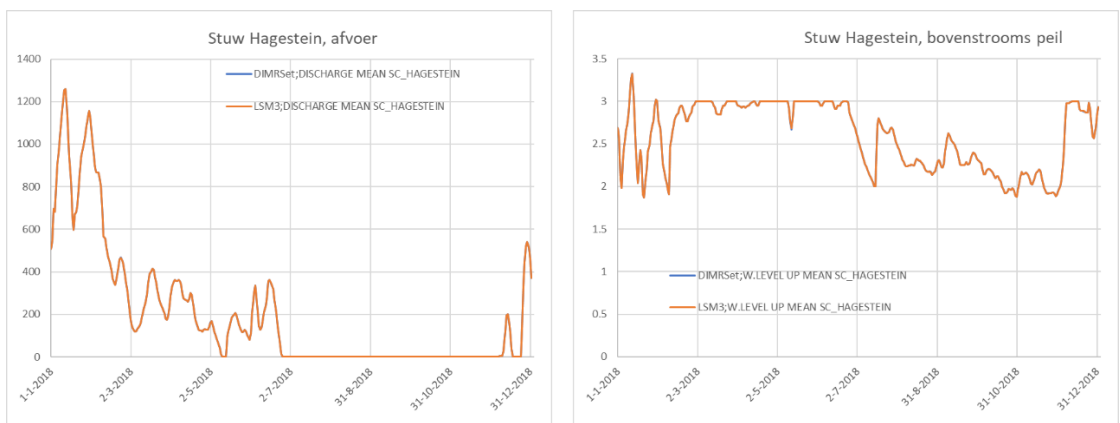
Voor Borgharen en de Zuid-Willemsvaart bij Maastricht lijken de daggemiddelde afvoeren vrijwel identiek. Voor Limmel zijn er wel minieme verschillen te zien in de periode tot juli 2018 (figuur 55), wanneer er wat oscillaties te zien zijn. In de kritieke periode met lage Maasafvoer zijn de debieten wel identiek.



Figuur 56: Bovenstroomse waterstand bij stuw Driel

Het maximale verschil als gevolg van de verschillende software-versies in de bovenstroomse waterstand bij Driel is nog geen 2 millimeter (bij stapgrootte in de volumetabellen van 0.025 m).

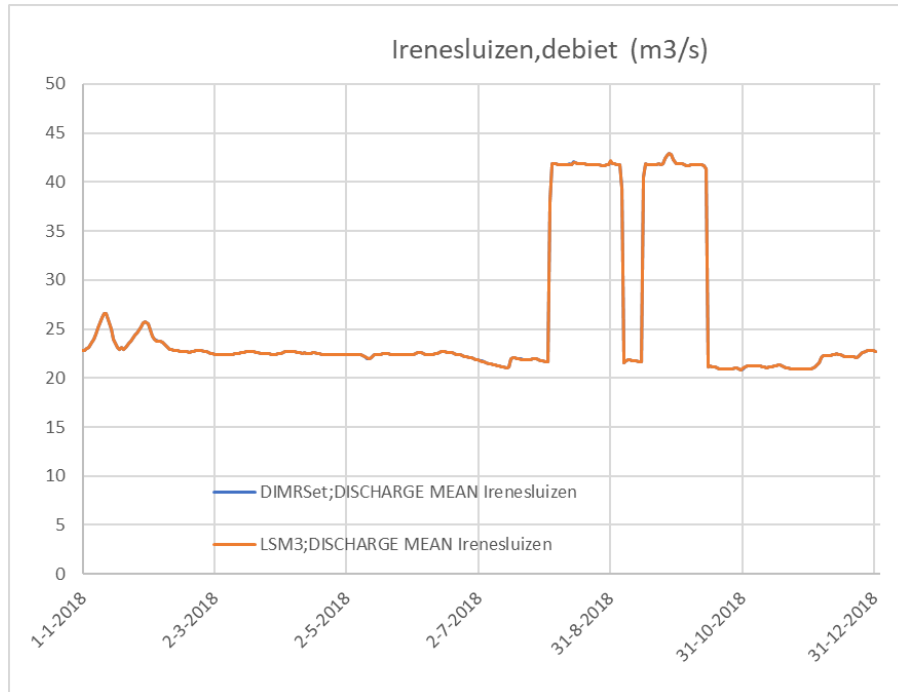
Voor de waterstand bij Nijmegen haven is het maximale verschil 9 millimeter (bij een stapgrootte van 0.1m in de volumetabellen) en 4 millimeter bij een stapgrootte van 0.025m in de volumetabellen. De volumetabellen zijn weliswaar groter bij een kleinere stapgrootte, maar dit kost verder geen extra rekentijd omdat bij een bekend bodemniveau en een bekende vaste stapgrootte direct duidelijk is welke index in de volumetabel gebruikt moet worden. De rekentijd van de testsommen bevestigt dit ook. Daarom is de aanbeveling om een kleine stapgrootte te gebruiken. De volgende figuren vergelijken daarom met de DIMRSet berekening met de kleinst opgegeven stapgrootte van 0.025 m.



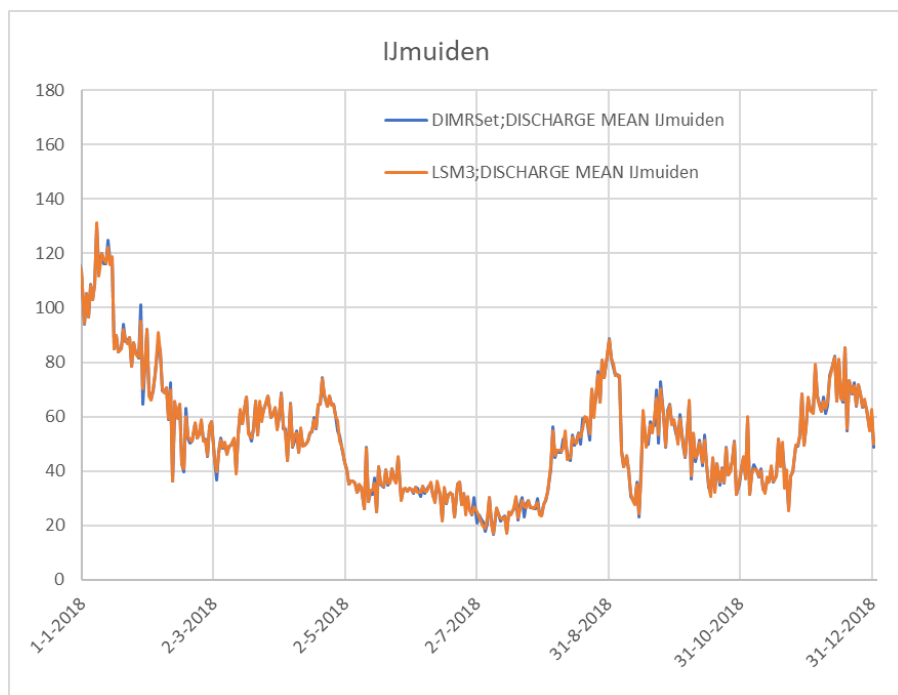
Figuur 57: Debiet en bovenstroomse waterstand bij stuw Hagestein

Bij stuw Hagestein (figuur 57) zijn de resultaten na het aanpassing van de sturing identiek. Het eerdere verschil door de sturing (waarbij in de referentiesom met SOBEK3.7.22 in de periode juli-november een andere openingshoogte voor de omloopriolen optrad, en dus andere afvoeren door de omloopriolen en een ander bovenstrooms peil) is nu verholpen. De volumetabellen aan of uit zetten heeft dus geen effect meer op de resultaten bij Hagestein.

Ook via Driel wordt evenveel aangevoerd, en via de Irenesluis is de afvoer identiek (zie figuur 58).



Figuur 58: Debiet over de Irenesluizen



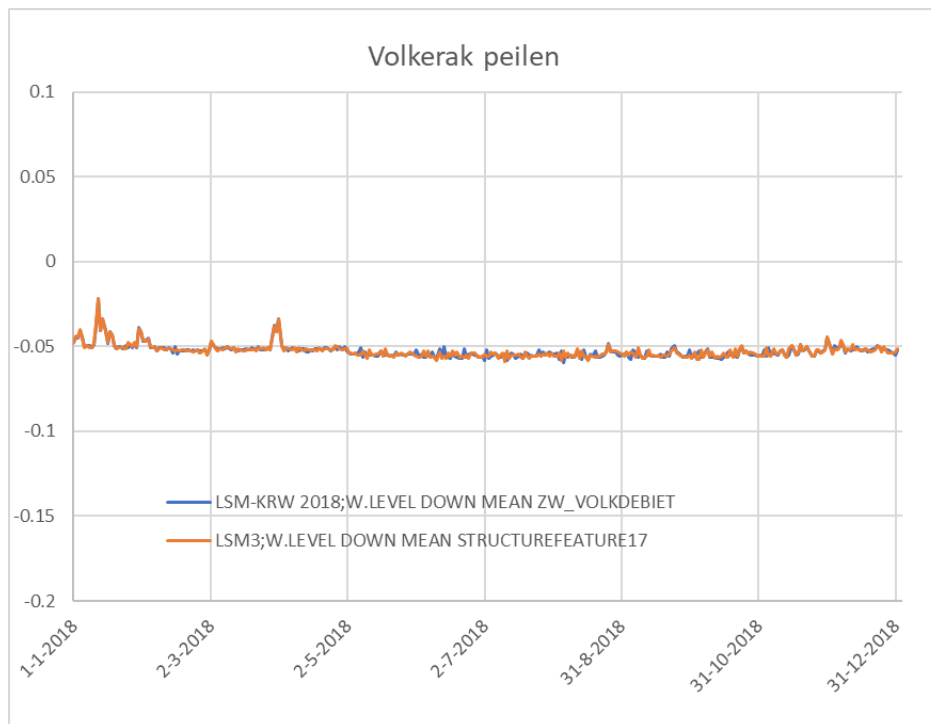
Figuur 59: Debiet bij Ijmuiden

De debieten bij IJmuiden zijn vergelijkbaar voor de SOBEK 3.7.22 versie en de nieuwe DIMRSet versie (figuur 59).



Figuur 60: Daggemiddeld debiet bij de Nieuwe Waterweg, voor de stormvloedkering

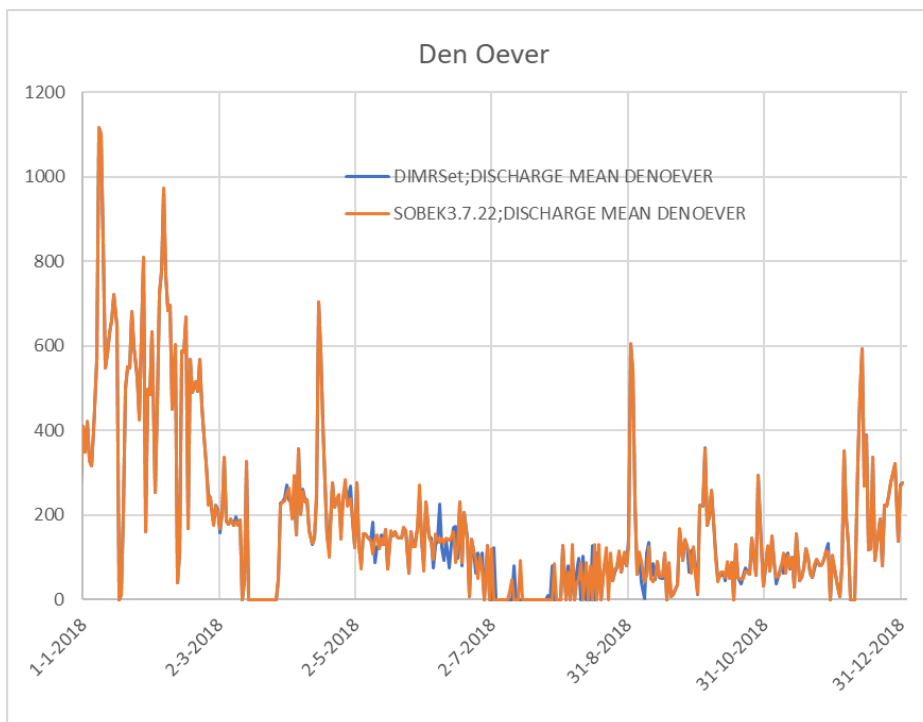
Na de aanpassing van de sturing bij Hagestein blijkt dat de resultaten voor de afvoer op de Nieuwe Waterweg weer vrijwel overeenkomen voor SOBEK 3.7.22 en de DIMRSet versie met gebruik van de versnellingsopties.



Figuur 61: Daggemiddeld peil in het Volkerak, SOBEK3.7.22 en nieuwe DIMRSet

De berekende daggemiddelde peilen in het Volkerak zijn vergelijkbaar (figuur 61).

Bij het IJsselmeer blijken kleine waterstandsverschillen op te treden met uitschieters tot 6mm. Dit zou verklaard kunnen worden door het verschil in afvoer bij Den Oever en ook Kornwerderzand, al kan dat andersom juist ook een gevolg zijn.



Figuur 62: Daggemiddelde afvoer Den Oever, SOBEK3.7.22 en nieuwe DIMRSet

De conclusie is dat het algemene beeld van de 2018 met de nieuwe DIMRSet met gebruik van de versnellingsoptie goed overeenkomt met de SOBEK 3.7.22 versie, en dat de verschillen beperkt zijn. Zoals in paragraaf 5.2 uitgelegd is, kan de versnellingsoptie kleine verschillen geven, deels ook omdat tegelijk met de versnelling een foutje in doublure code is verwijderd. Verder zijn er naast de versnellingsoptie ook enkele andere kleine aanpassingen sinds SOBEK 3.7.22 waardoor kleine verschillen kunnen ontstaan.

6 Conclusies en aanbevelingen

Aanpassingen

Er zijn veel inhoudelijke verbeteringen in LSM3 gerealiseerd. Deze zijn beschreven in paragraaf 2.3. Naast de dit voorjaar al geïdentificeerde punten zijn nog diverse andere verbeteringen zoals beschreven in paragraaf 2.3.13 geïmplementeerd. Hierbij gaat het vooral om allerlei verbeteringen in de sturing van kunstwerken in de regionale netwerken dan wel bij de aansluiting van de regionale netwerken op het hoofdnetwerk.

Verificatie waterbeweging 2018

Er is een verificatiesom voor het droge jaar 2018 gemaakt. Deze is vergeleken met eerdere LSM modelresultaten die met SOBEK2 modellen zijn doorgerekend, te weten een LSM 1.3. obese model (LSM-KRW) en een LSM-Light 1.2 model uit de NWM basisprognoses 2018 (LSM-light).

De resultaten zijn geverifieerd voor het hoofdsysteem (onder beheer van RWS) en de interactie met de regionale netwerken op belangrijke aan- en afvoerlocaties. De resultaten komen in het algemeen redelijk goed overeen.

Voor het gebruik van LSM3 in het NWM (Nationaal Water Model) is het belangrijk dat de koppelingstabel voor de laterale debieten in LSM3, die op basis van LHM resultaten worden ingevuld, wordt nagelopen en gecontroleerd. Bij het onvolledig meenemen van de door LHM berekende lozingen en onttrekkingen in de lateralen van LSM3 kunnen de watervragen of afvoeren vanuit de regio worden onderschat. Dit is waarschijnlijk een belangrijke reden van nu geconstateerde verschillen tussen LSM3 en de SOBEK2 LSM resultaten.

Verificatie Chloride

Door het verschil in de randvoorwaarden voor zowel debiet als saliniteit bij de bovenranden en de laterale debieten is de vergelijking tussen LSM en RMM-VoZO chlorideresultaten voor 2018 nog niet helemaal zuiver. Op basis van een grafische vergelijking voor enkele locaties in het RMM gebied blijkt dat LSM3 qua chloride het algemene patroon van RMM-VoZo goed volgt.

Performance en rekestijd met nieuwe DIMRSet

Het nieuw opgeleverde LSM3 is gedraaid in SOBEK 3.7.22.52202 versie van februari 2021 en vergeleken met de performance van de nieuwe DIMRSet dd. 23 november 2021. Deze DIMRSet bevat een aantal versnellingsopties die naar aanleiding van de performance analyse van dit voorjaar zijn ingebouwd. Ook de rekestijd van een referentiesom voor 2018 in SOBEK2 is vermeld.

Tabel 3: Vergelijking rekestijden LSM3 voor diverse sommen en software versies

Model	Software	Courant	Zout/temperatuur	Rekestijd
LSM light SOBEK2 model	SOBEK 2.13	2.0	zonder	1 uur 51 minuten
LSM3 sobek-lsm3-j18_5-v5	SOBEK 3.7.22	2.0	zonder	3 uur 53 minuten
LSM3 sobek-lsm3-j18_5-v5	DIMRSet 23 nov. 2021	2.0	zonder	1 uur 23 minuten
LSM3 sobek-lsm3-j18_5-v5	DIMRSET 23 nov. 2021	0.9	zonder	2 uur 30 minuten
LSM3 sobek-lsm3-j18_5-v5	DIMRSet 23 nov. 2021	0.9	met	3 uur 7 minuten
LSM3 sobek-lsm3-j18_5-v5	SOBEK 3.7.22	0.9	met	13 uur 48 minuten

Na implementatie van de versnellingsopties in de DIMRSet versie dd. 23 november is LSM3 nu sneller dan het vergelijkbare LSM-light model in SOBEK2. En ten opzichte van SOBEK 3.7.22 is de versnelling ongeveer een factor 2.5. Deze versnelling is dus ook zeer interessant voor alle andere SOBEK3 gebruikers zoals de RWS 1D-modellen voor de grote rivieren en kanalen in beheer bij RWS, voor de FEWS voorspellingsystemen en voor het BOS Maeslantkering.

Voor de rekestijd van LSM3 is het maximum Courant getal een belangrijke factor. Een som voor de waterbeweging (zonder chloride en temperatuur) is met maximum Courantgetal 2.0 in ongeveer anderhalf uur klaar, en met maximum Courantgetal 0.9 in tweeënehalf uur, dus een uur langzamer. En aanvullend nog met chloride en temperatuur kost nog iets meer dan een half uur. Een lager maximum Courantgetal consumeert dus meer rekestijd dan de extra chloride en temperatuurberekening. Echter, de chlorideberekening vereist een maximum Courant getal lager dan 1.0 (omdat hij anders blijkt te crashen), terwijl alleen de waterbeweging (zonder chloride) wel goed gaat bij een maximum Courant getal van 2.0,

De resultaten van LSM3 gedraaid met SOBEK 3.7.22 en met de nieuwe DIMRSet komen voor goed overeen. Een eerder gevonden verschil bij de resultaten van de stuw Hagestein blijkt samen te hangen met de gevoelige sturing van de omloopriolen, en niet zozeer met de geïmplementeerde versnellingsoptie in de rekenkern.

Versienummer

Voorstel is om de laatste versie van het LSM3 model het volgende versienummer te geven: sobek-lsm3-j18_5-v5.

7 Referenties

E. van der Deijl en R. van der Wijk (2020), Jaarsom 2018 Rijn-Maasmonding. Deltares rapport 11203714-006-ZWS-0016, januari 2020.

HKV Lijn in Water, Acacia Water en Berendrecht Consultancy (2021), Validatie en Toetsing LHM 4.1. Deelrapport 3 – Oppervlaktewater. HKV rapport 4313.10, maart 2021.

C. Wesselius, G. Prinsen, LSM2 update rivierschematisaties en uitbreiding met de regionale systemen (2018). Deltares rapport 11202220-011-ZWS-0004, Delft.

C. Wesselius en A. Fujisaki (2019), LSM3 – Berekening waterbeweging_def 2019. Deltares memo 11203714-012-ZWS-0055_v0.1, Delft.

C. Wesselius en A. Fujisaki (2020), Landelijk SOBEK model in SOBEK3 (LSM3), verificatiesom 2018. Deltares rapport 11205258-ZWS-0001_v0.2, Delft.

G.F. Prinsen, LSM3 performance (maart 2021). Deltares memo 11206813-016-ZWS-0002, Delft.

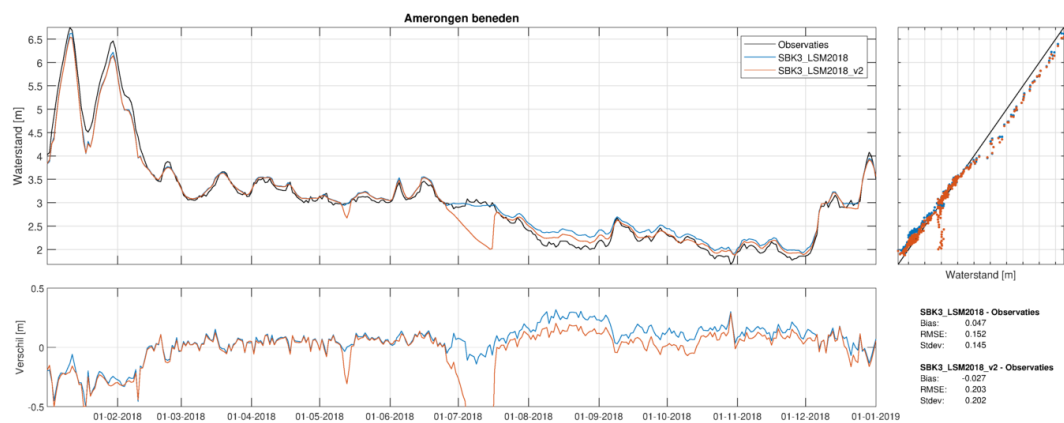
Bijlage A: Resultaten waterstanden

In de volgende figuren wordt het verloop van de waterstanden getoond van alle locaties genoemd in tabel 1 (paragraaf 3.26). In de figuren zijn zichtbaar:

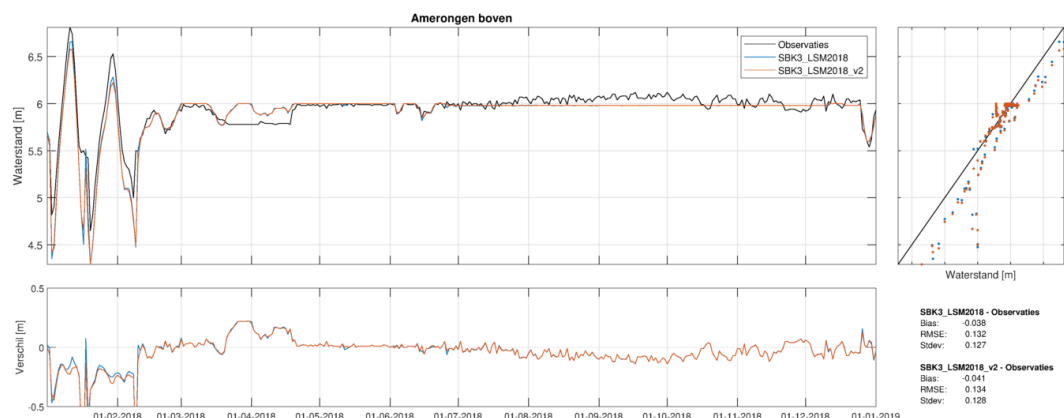
- De metingen, instantane dagwaarden, in zwart;
- De resultaten van sobek-lsm3-j18-5-v2 (september 2020), instantane dagwaarden in blauw en gelabeld als SBK3_LSM2018;
- De resultaten van sobek-lsm3-j18-5-v5 (december 2021), daggemiddelde waarden in oranje en gelabeld als SBK3_LSM2018_v2.

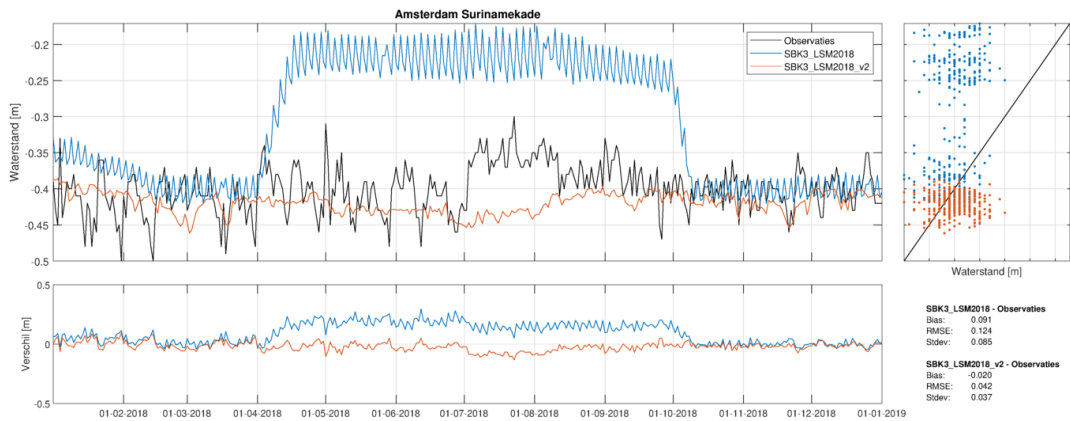
De figuren bevatten naast de metingen en de modelresultaten (bovenste plaatje) ook de verschillen van de modellen met de metingen (onderste plaatje), en rechts naast de plaatjes de kentallen voor bias, root mean square error en standaarddeviaties, en een plaatje waarbij de gemeten waterstanden zijn uitgezet tegen de berekende waterstanden (een h-h figuur)

Bij opvallende plaatjes wordt nog een korte toelichting gegeven.

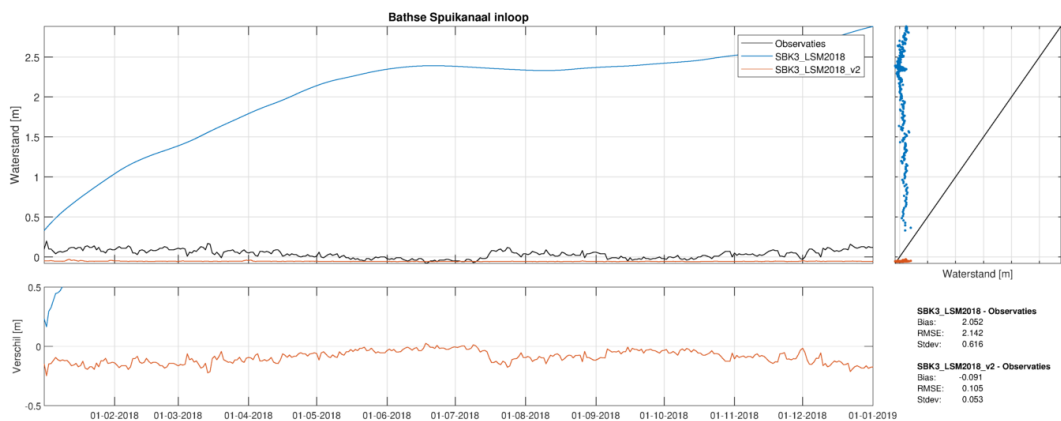
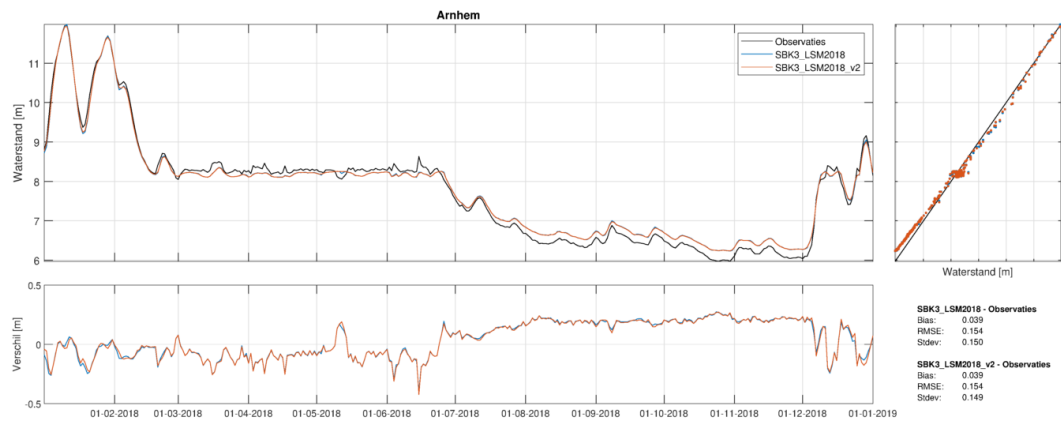


In de nieuwe versie van LSM3 zakt in juli het peil in stuwwand Hagestein (tussen Amerongen en Hagestein) wat uit, dit is al in paragraaf 3.8 toegelicht. Dit geldt ook voor de locatie Culemborg brug en Hagestein boven, waar hetzelfde waterpeil bij lage afvoeren optreedt.

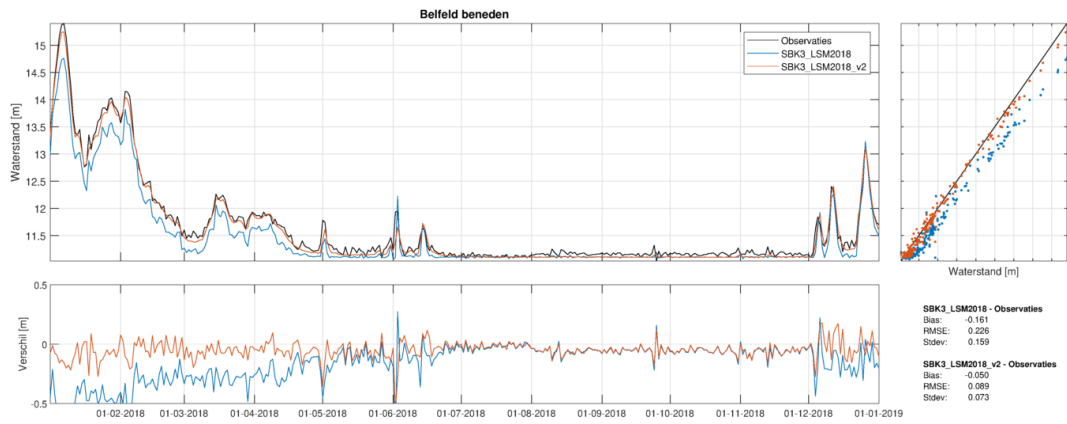




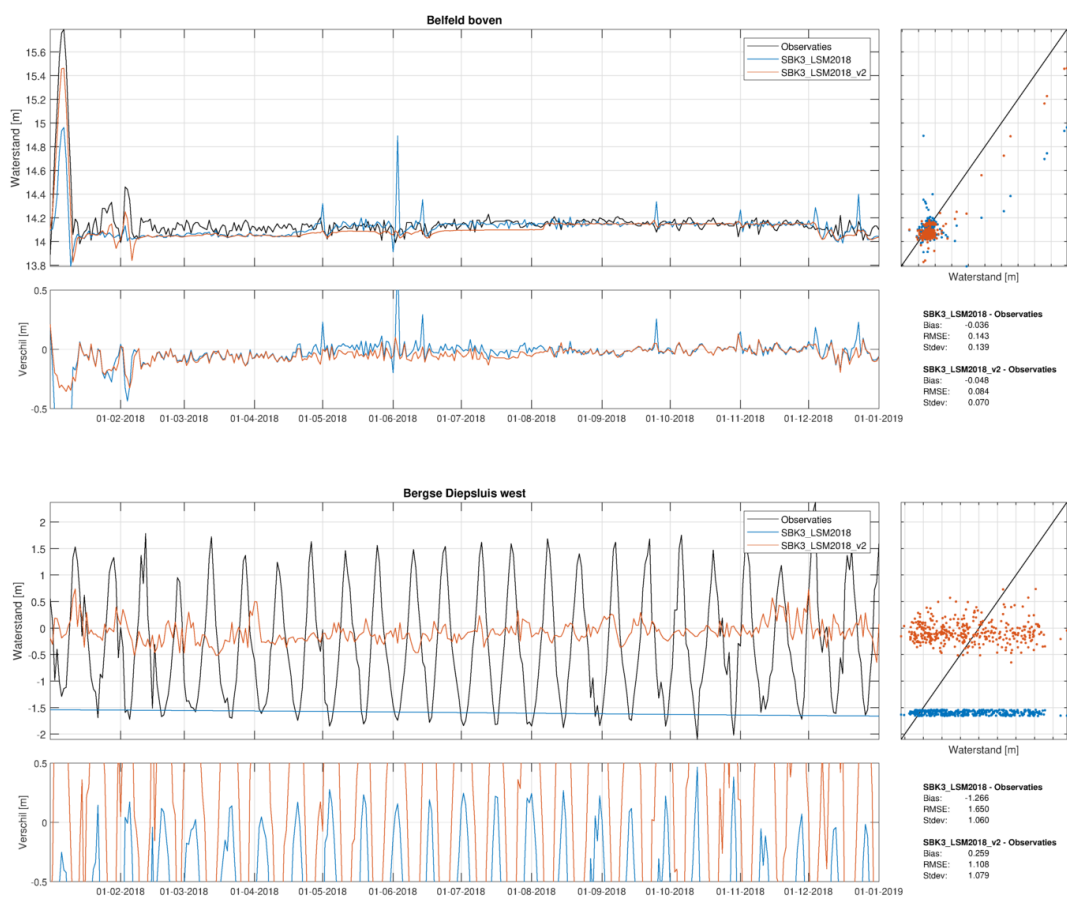
De LSM3 versie van vorig jaar bevatte nog fouten in de schematisatie bij IJmuiden en de Oranjesluizen, waardoor op het ARK en NZK een winter-zomer peilvariatie als in het Markermeer te zien was (blauwe lijn). Dat is dit jaar gecorrigeerd, dus de nieuwe LSM3 resultaten liggen dan ook veel dichterbij de gemeten waterstanden. Dit geldt voor diverse locaties zoals de figuur van Amsterdam Surinamekade hierboven, maar ook voor de locaties Buitenhuizen, Maarssen, Nieuwegein en Weesp West.



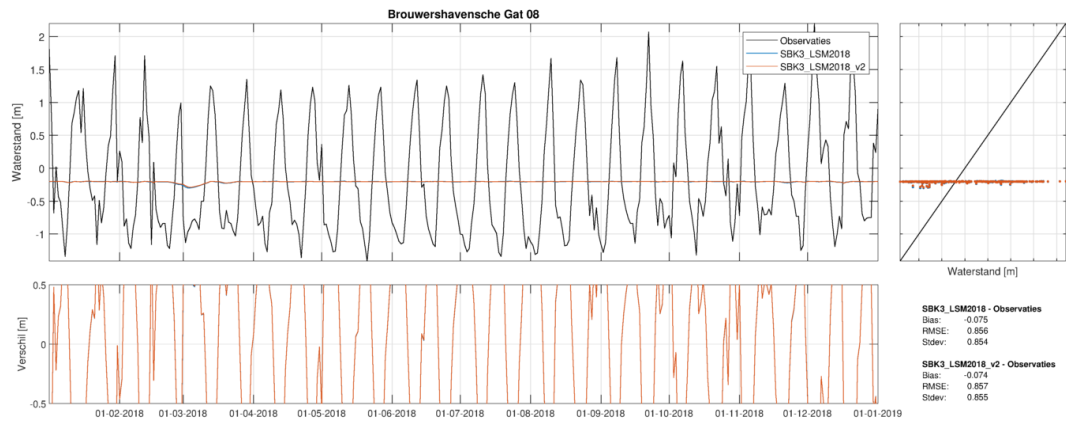
De LSM3 versie van 2020 bevatte nog geen randvoorwaarde op de Westerschelde bij de Bathse spuilsuis, waardoor de waterstand ver opliep. Dat is voorjaar 2021 al gecorrigeerd en geeft betere resultaten.



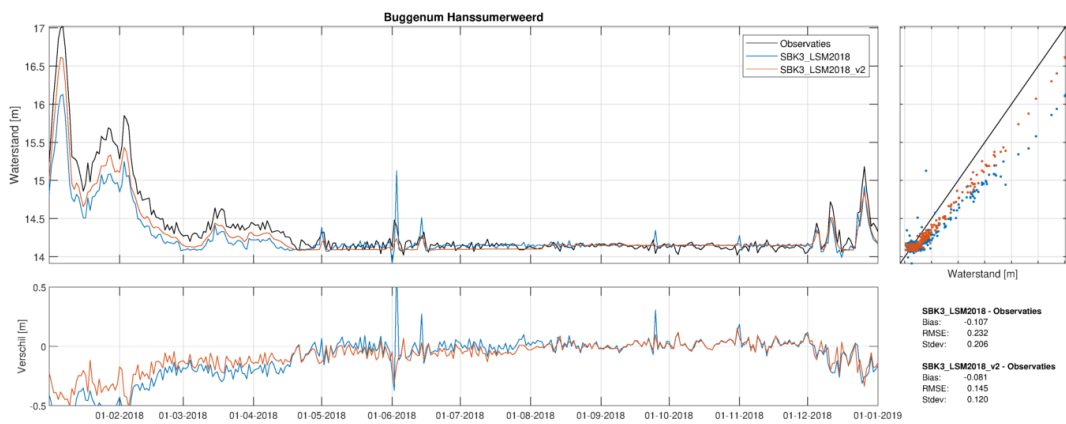
De nieuwe LSM3 versie past duidelijk beter bij de metingen dan de oude versie, vooral in het voorjaar zoals uit de figuur blijkt (daar ligt de nieuwe oranje lijn vrijwel bovenop de zwarte lijn van de metingen).



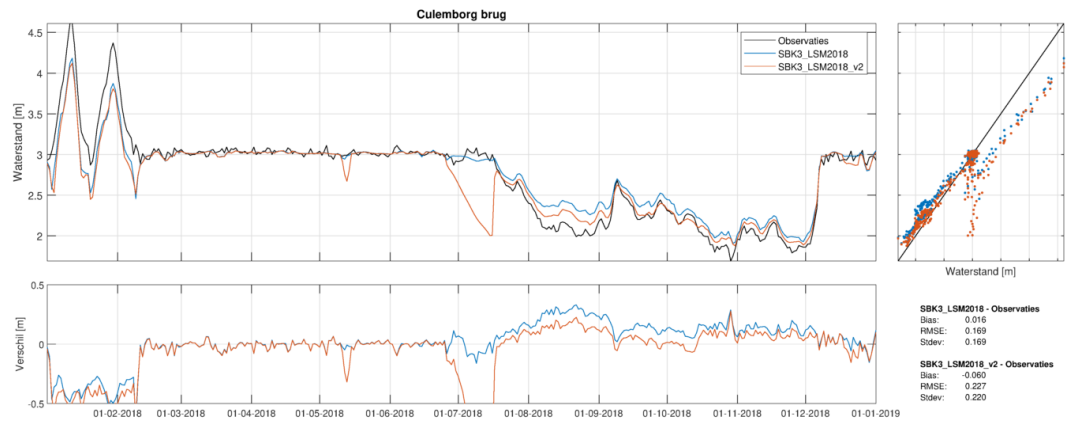
Deze grafiek laat één van de vele locaties zien waarbij getij belangrijk is, en door vergelijking van instantane meetwaarden (in zwart) en daggemiddelde waarden van de nieuwe LSM3 som (oranje) grote verschillen worden gesuggereerd.



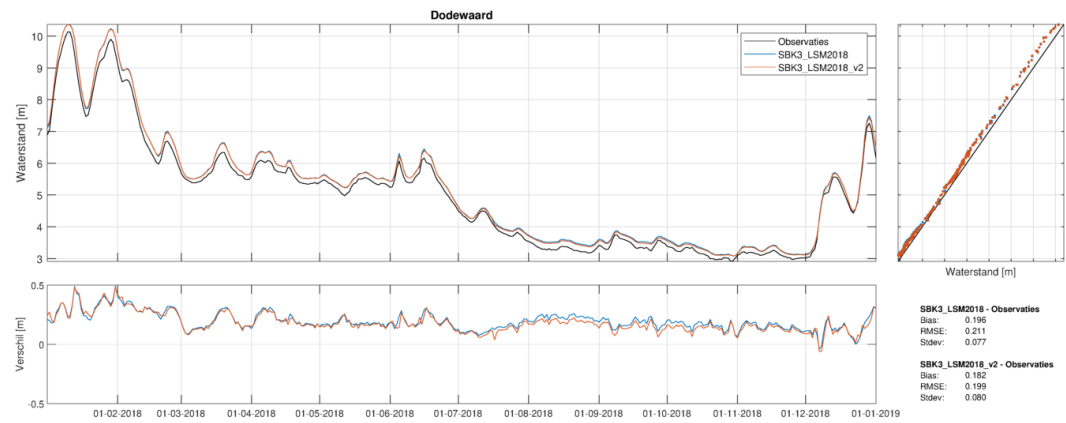
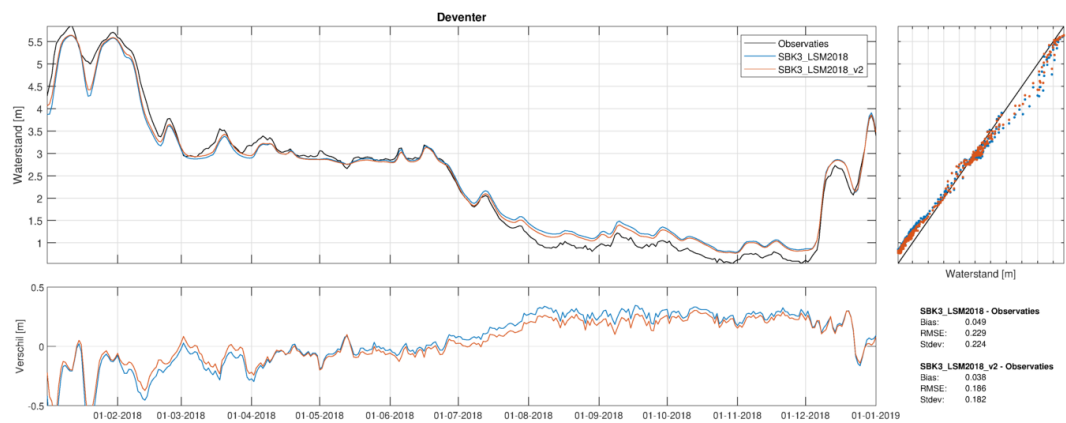
Weer verschil tussen instantane en daggemiddelde waarden op een locatie met getij.

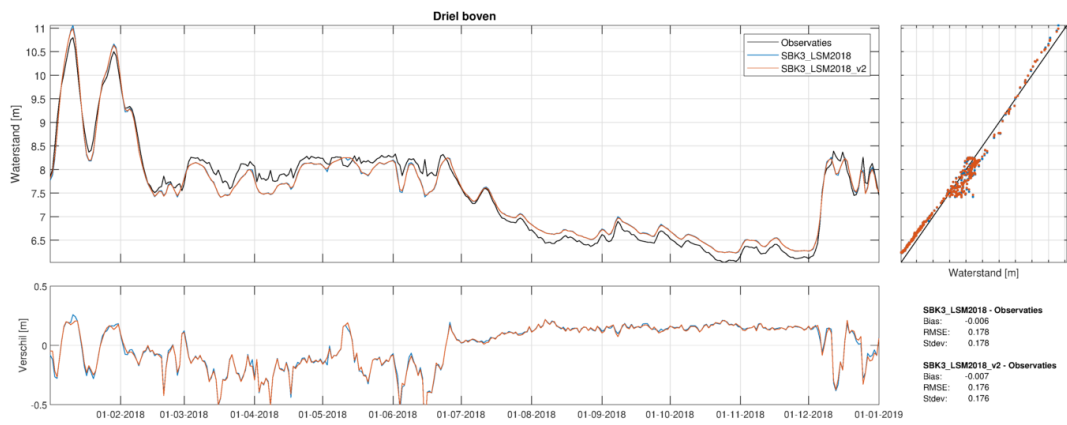
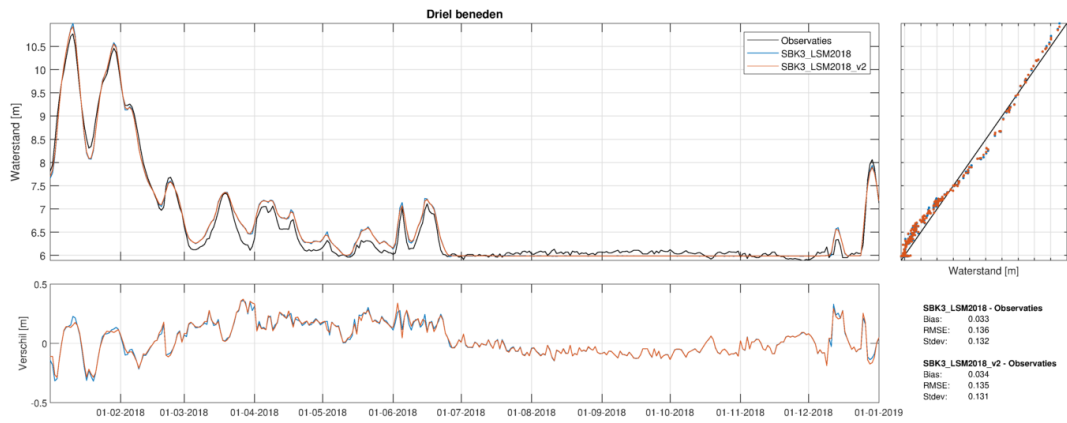
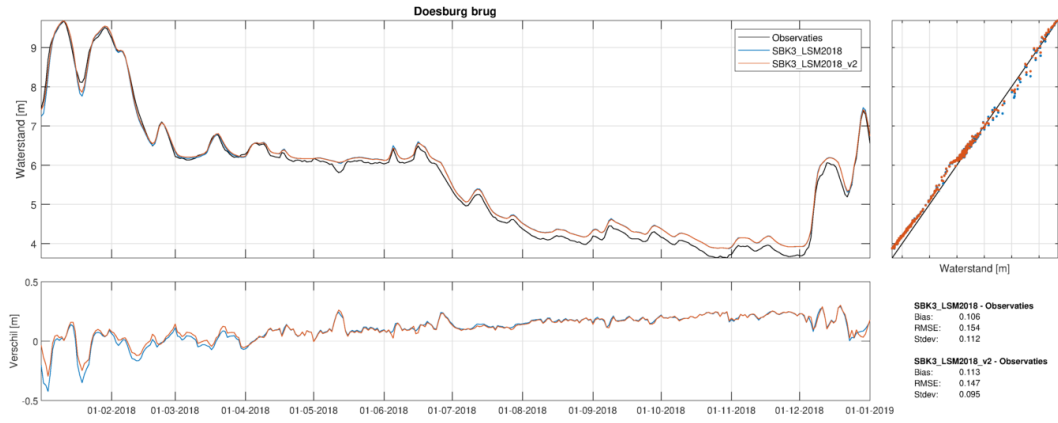


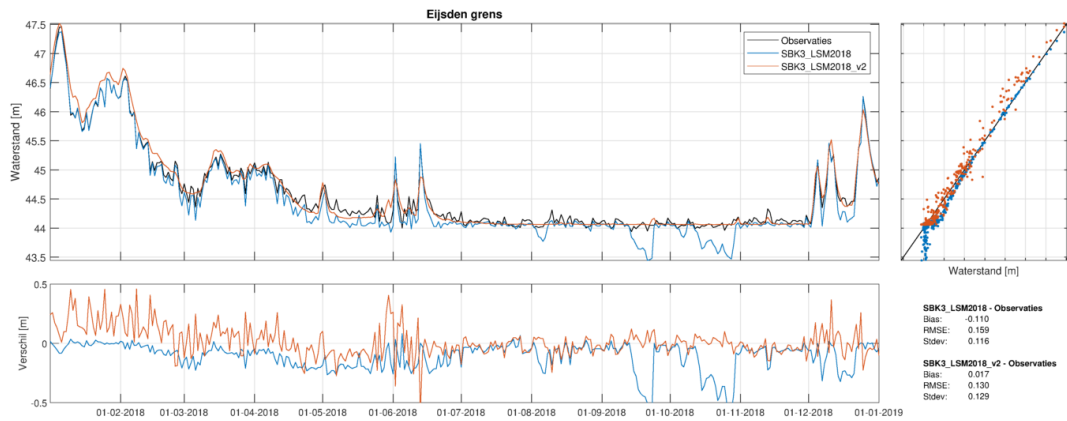
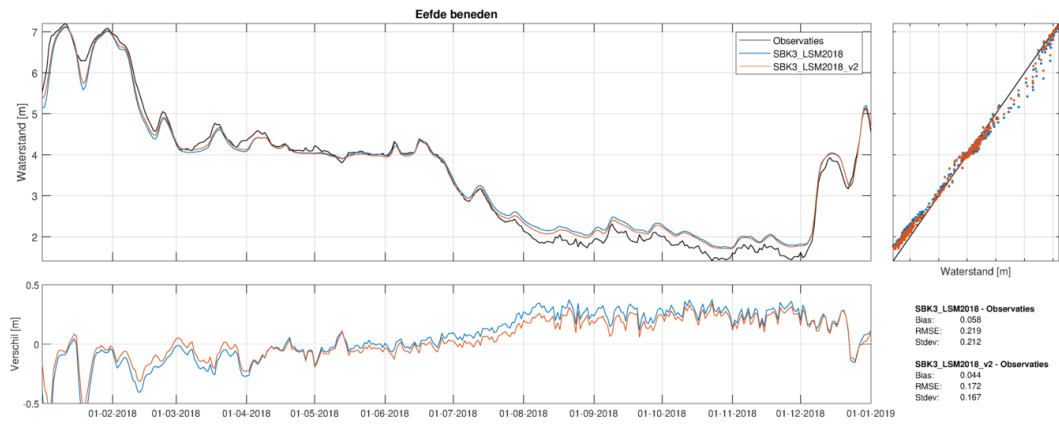
Zie de opmerking bij de figuur van Amsterdam-Surinamekade. Een fout in het LSM model van 2020 die nu is opgelost leidt ertoe dat de nieuwe LSM3 versie (oranje lijn) duidelijk beter is dan de versie van 2020.



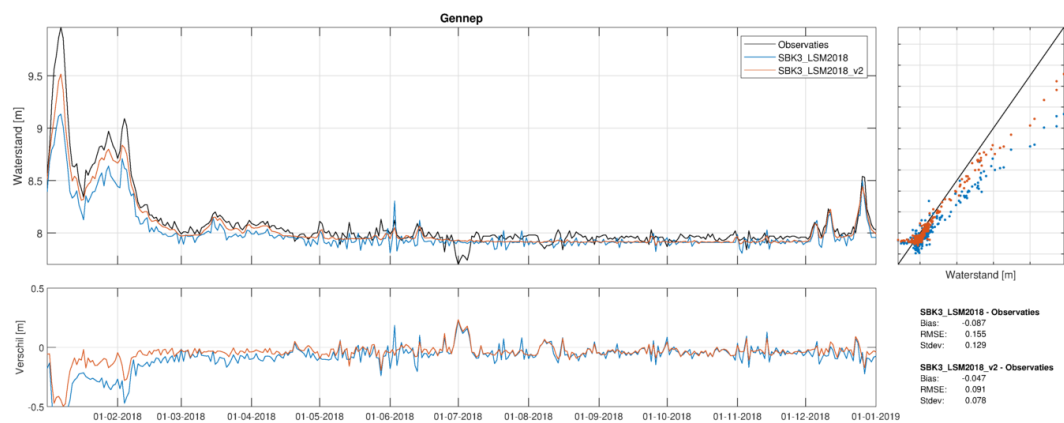
Culemborg brug heeft, bij lage afvoeren, hetzelfde peil als Hagestein-boven (stuwwand Hagestein), zie paragraaf 3.8.

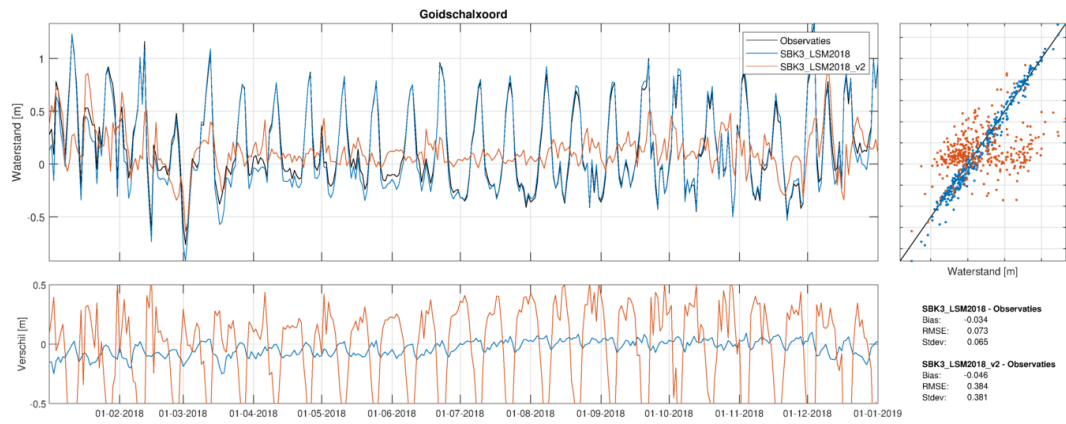




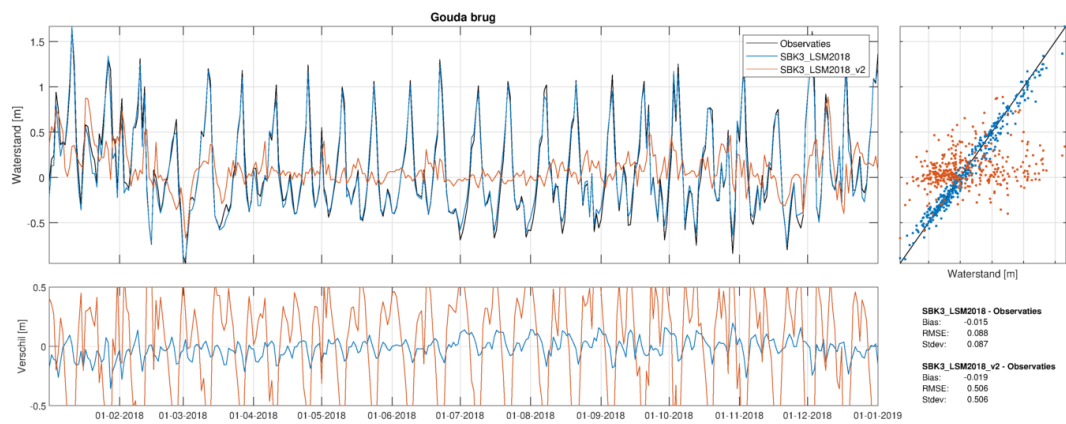


De gecorrigeerde randvoorwaarden en verdeling van de Maasafvoer bij Monsin over de Maas en het Albertkanaal leidt tot een betere match van het nieuwe LSM3 model (in oranje) met de waterstandsmetingen (in zwart) bij Eijsden.

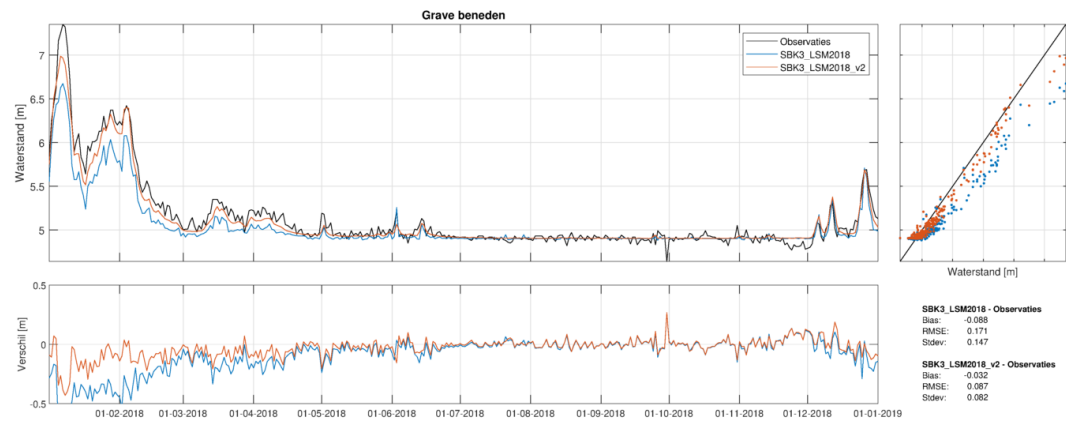




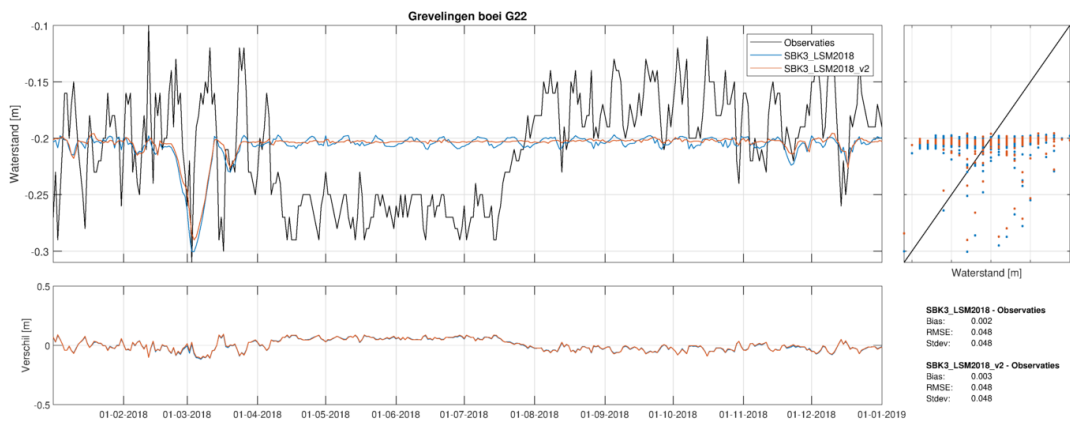
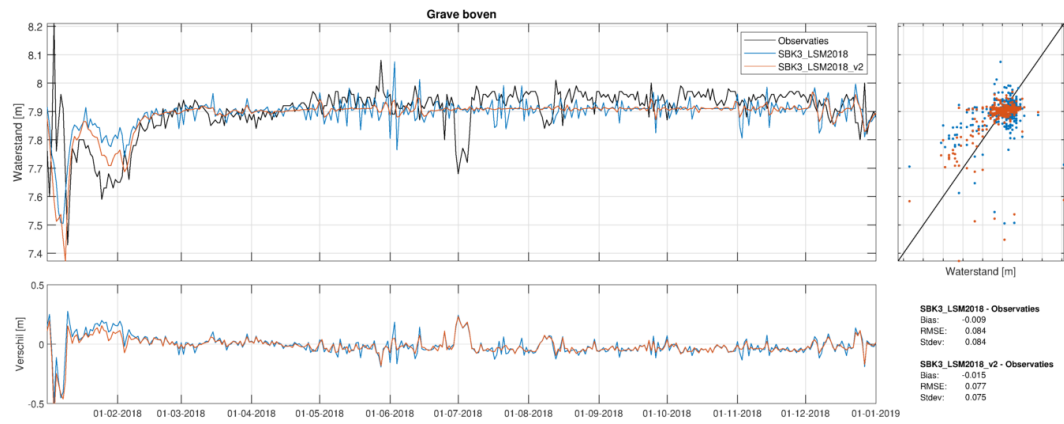
Goidschalxoord is een locatie met getij-invloed.



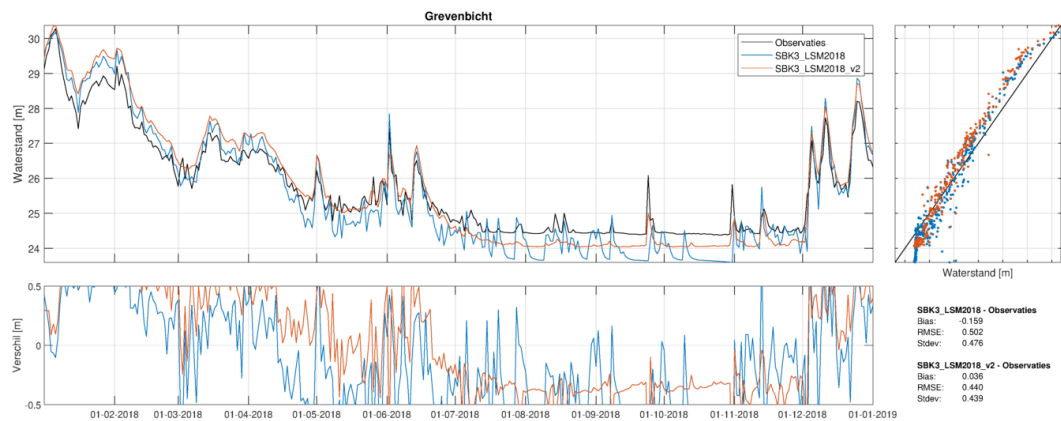
Ook Gouda – Hollandsche IJssel zijde – is een locatie met getij-invloed.



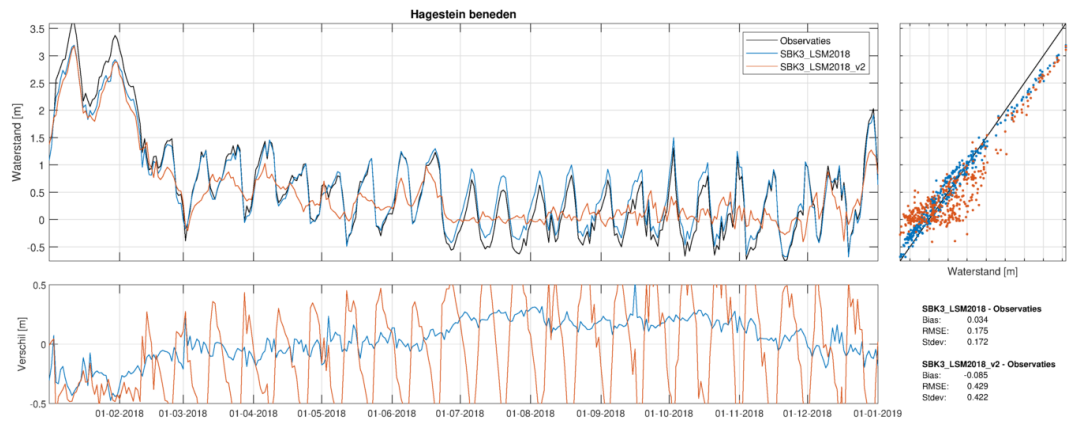
De waterstand bij Grave beneden (Lith boven) is met de nieuwe LSM3 versie weer iets beter dan met de 2020 LSM3 versie, vooral in de eerste vier maanden van 2018 (dus bij wat hogere afvoeren).



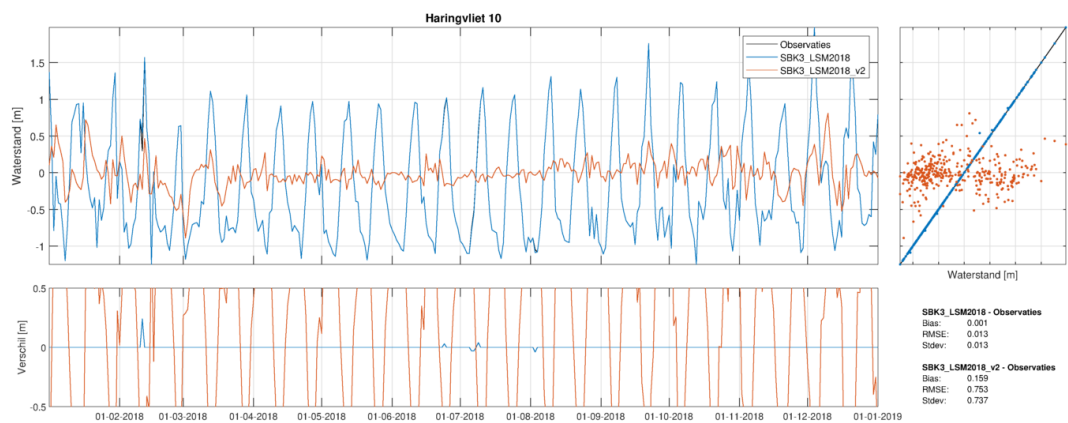
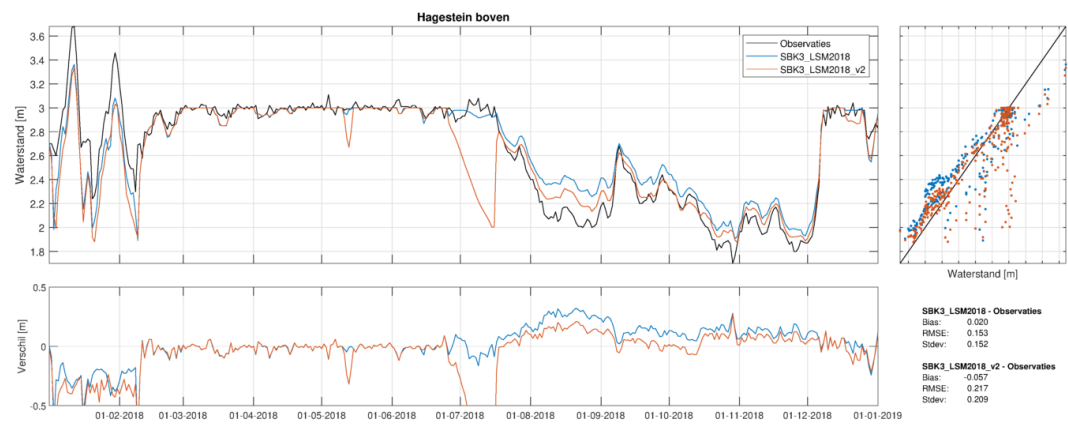
Voor locatie Grevelingen boei 022 is het opvallend dat de modellen het streefpeil van -0.20 vasthouden, terwijl de metingen in april-juli een lager peil lagen zien. Dat kan niet (niet uitsluitend) een eventueel getij-effect zijn, er is mogelijk in de droge zomer 2018 een iets lager streefpeil gehanteerd.



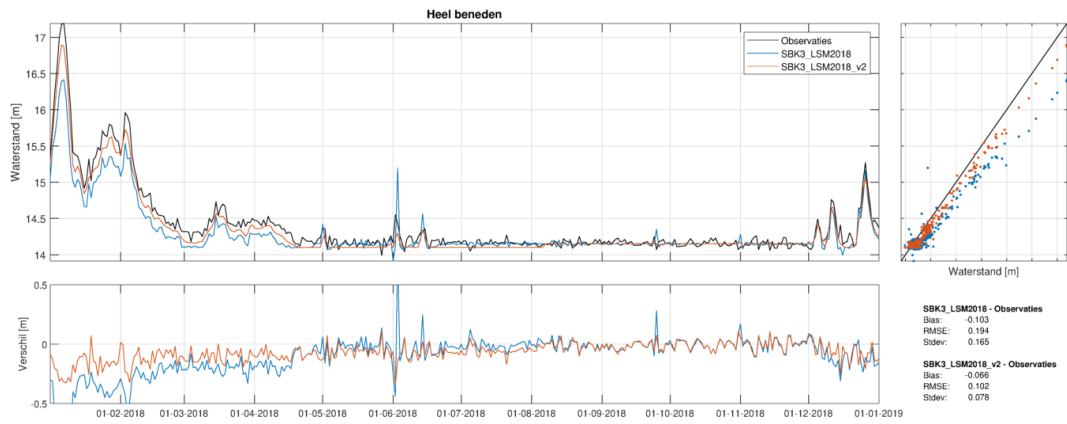
De gemiddelde afwijking van het nieuwe LSM3 is voor Grevenbicht kleiner dan met de LSM3 2020 versie (van -0.159 m naar 0.036 m)



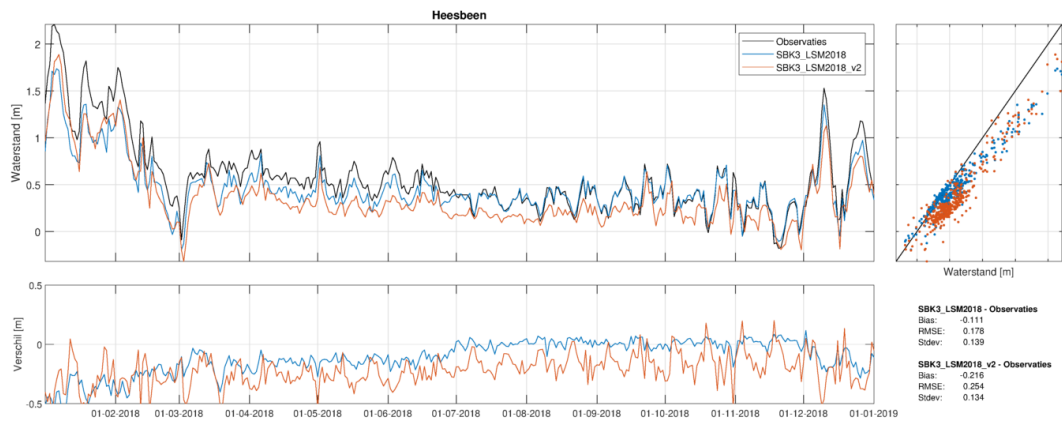
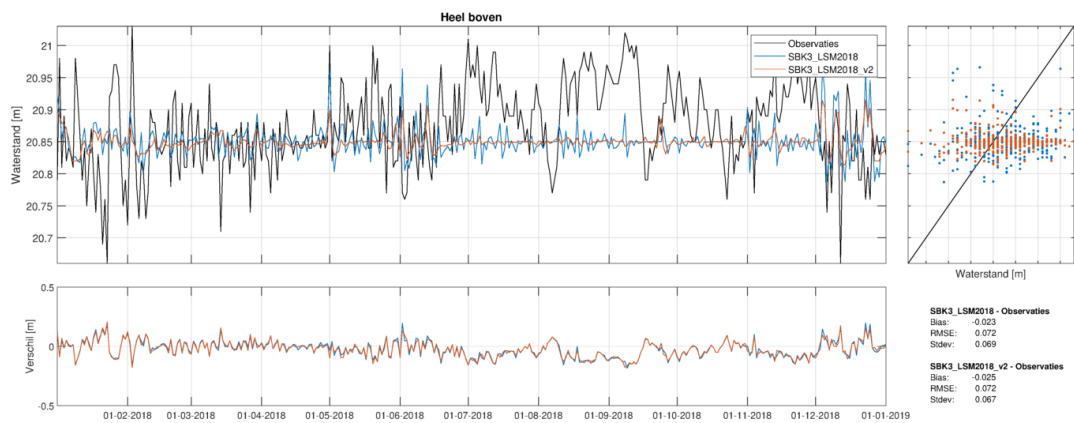
Hagestein-beneden is een locatie onder invloed van het getij, dus zien we flinke verschillen tussen instantane meetwaarden (die flink op en neer gaan) en daggemiddelde berekende waterstanden.



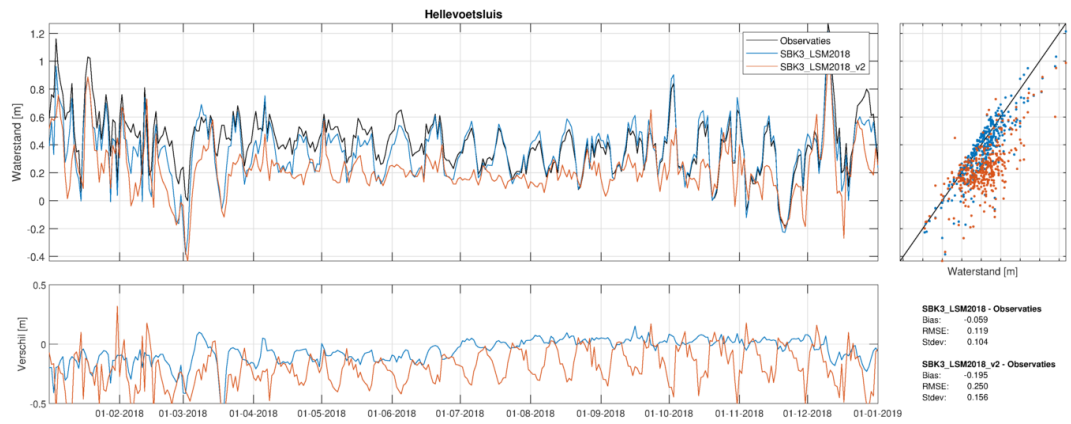
Harinvliet-10 is een getij-locatie.



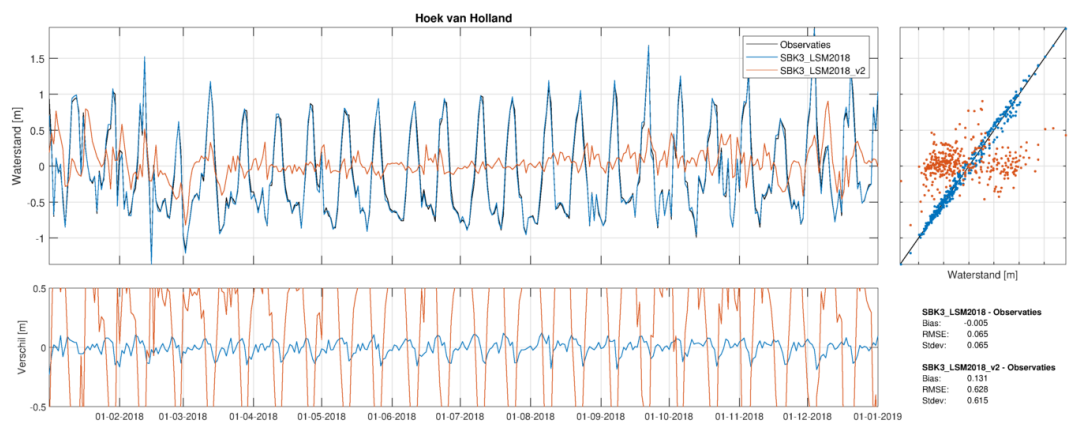
De waterstand benedenstrooms van Heel wordt met LSM3 door aanpassingen qua sturing beter gereproduceerd.



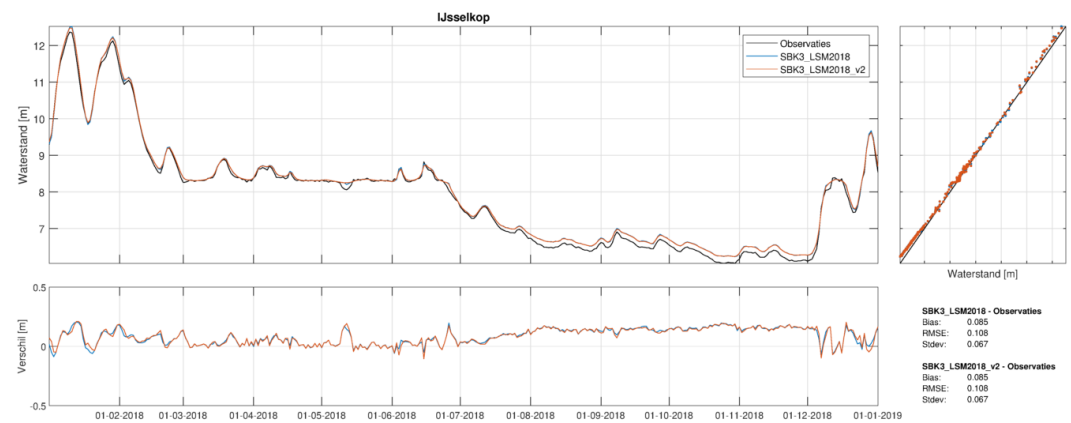
Heesbeen (Bergsche Maas) ligt al in het gebied dat door getij wordt beïnvloed.

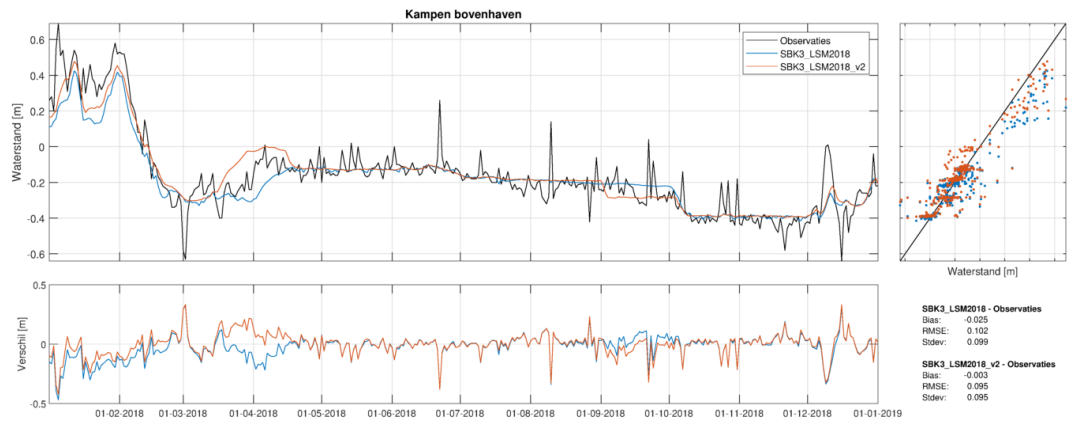


Hellevoetsluis ligt in een (pseudo)getijgebied, omdat de Haringvlietsluizen alleen bij laag water spuien. Verder is er in vergelijking met de 2020 LSM versie meer water naar Volkerak gestuurd waardoor de berekende afvoeren en waterstanden bij Hellevoetsluis met de nieuwe LSM3 versie iets lager uitpakken.

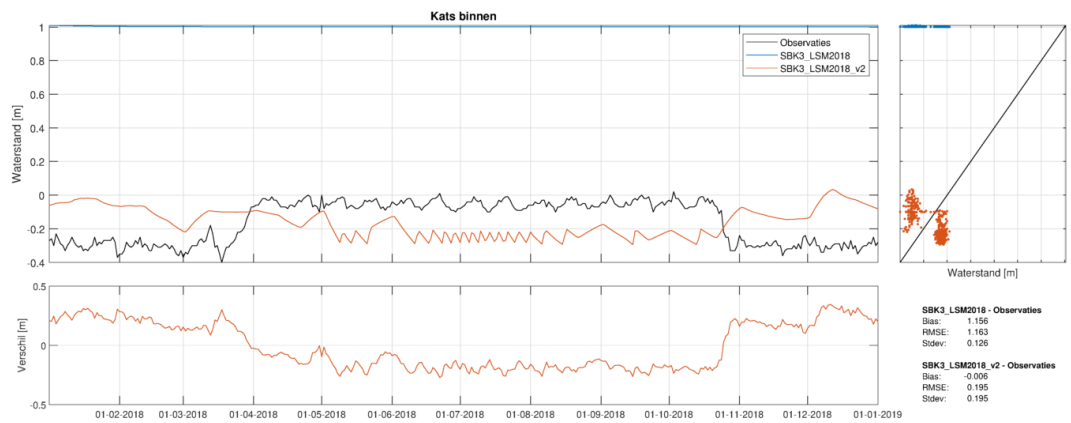
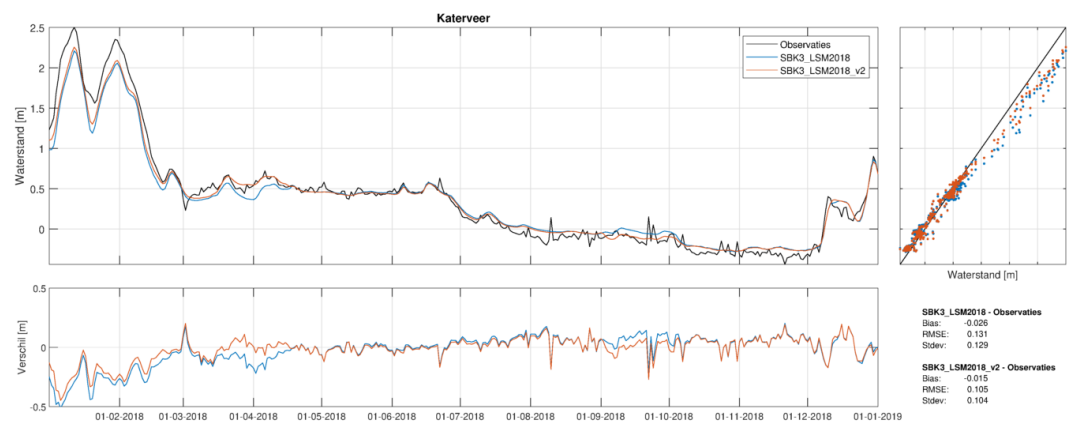


Hoek van Holland is bij uitstek een getij-locatie waar instantane waterstand en daggemiddelde waterstand heel verschillend kunnen zijn.

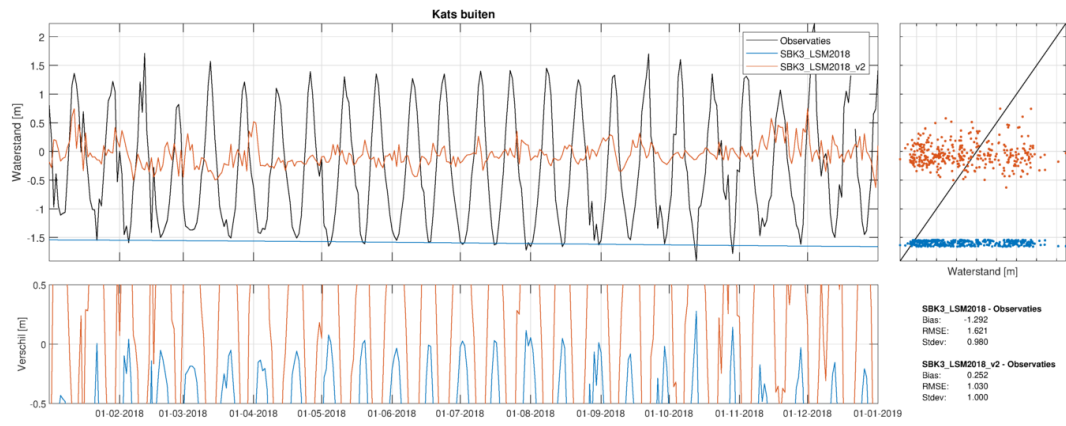




Het verschil in waterstand bij Kampen hangt samen met de implementatie van het nieuwe flexibeler peilbeheer in de laatste LSM3 versie. Dat betekent onder andere een streefpeil eind maart van -0.10 m NAP van het IJsselmeer en dus een hoger peil bij Kampen in die periode. Hetzelfde geldt bv. voor locatie Mond der Vecht.



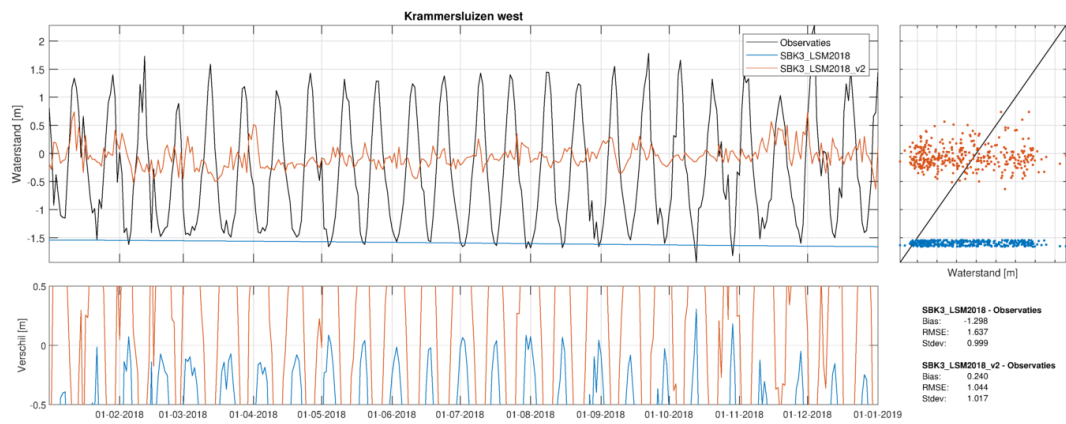
Er ontbrak nog sturing bij Katse Heule (kunstwerk tussen Oosterschelde en Veerse Meer). Deze is in het nieuwe LSM3 model toegevoegd, waardoor deze beter past bij de metingen dan eerdere LSM3 versies. De zomer-winter peilvariatie op het Veerse Meer die uit de metingen blijkt, is nog niet in het model geïmplementeerd.

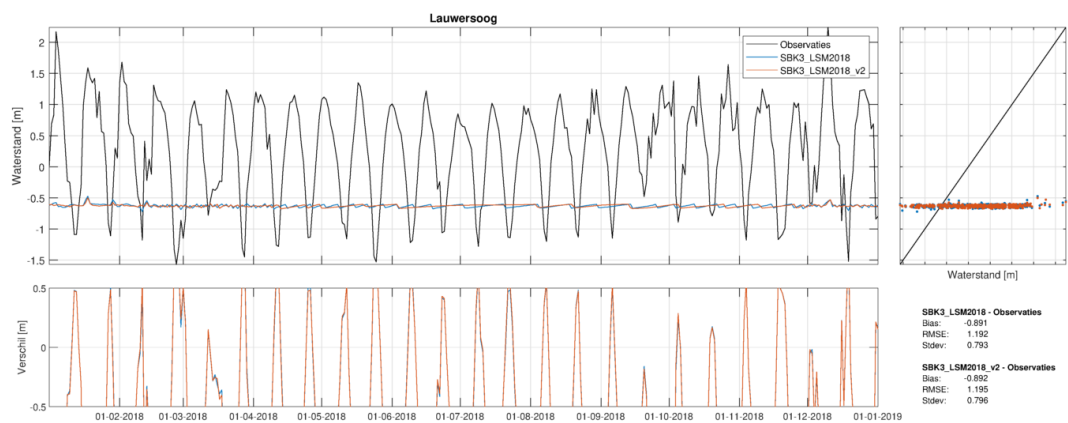
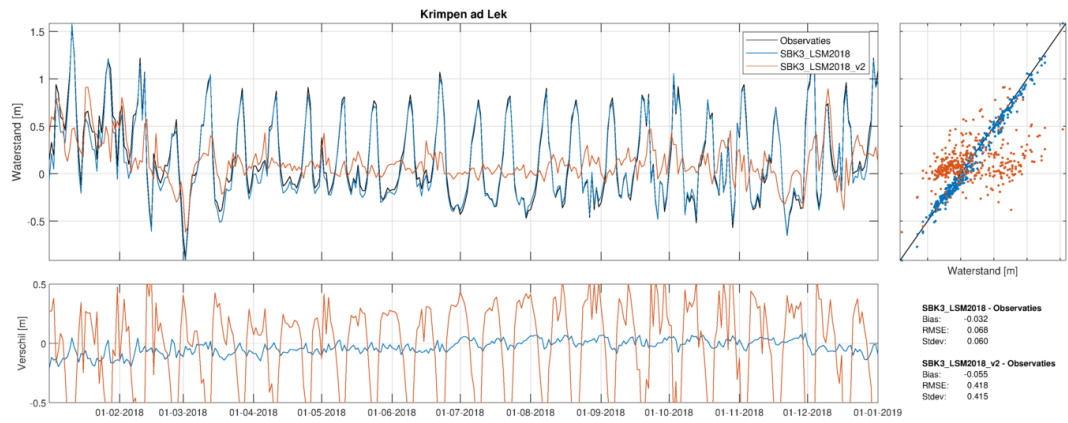
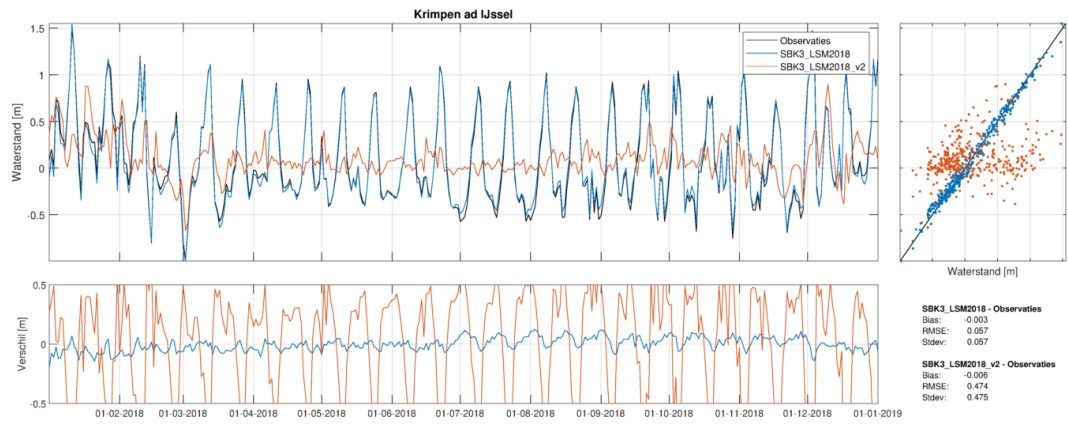


Kats-buiten is het getij op de Oosterschelde.

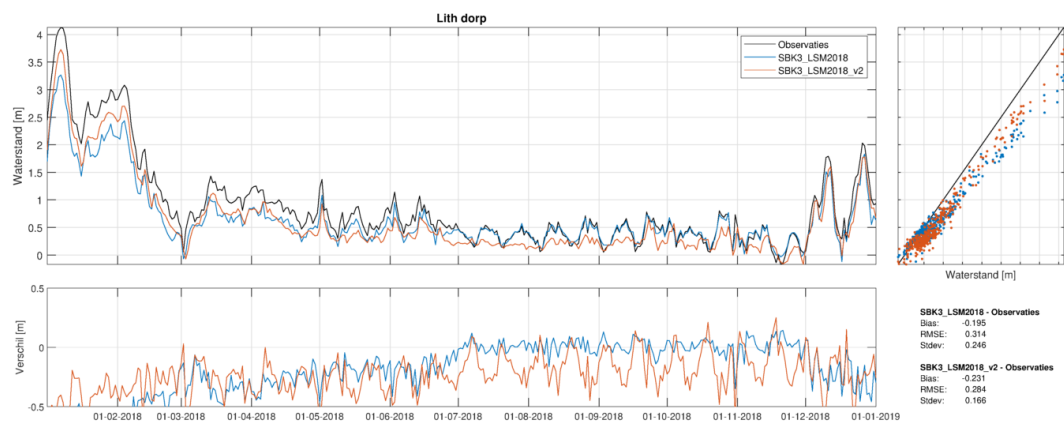
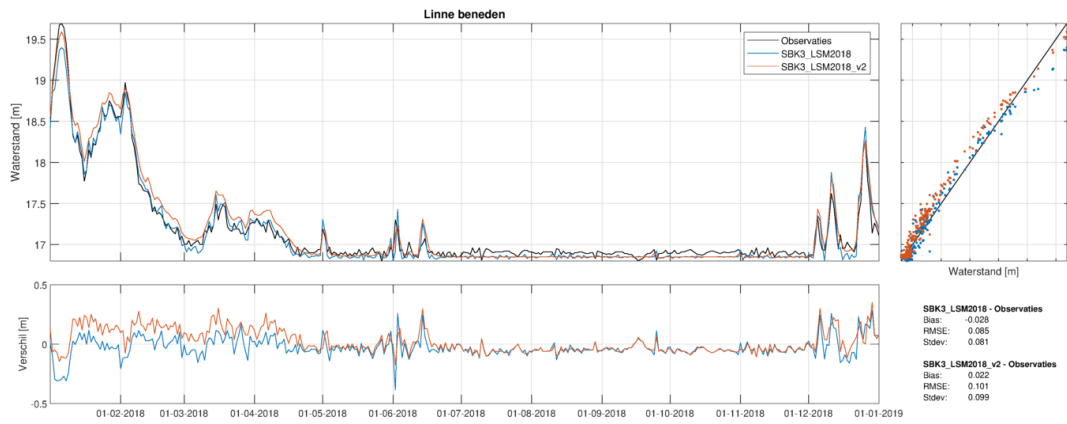


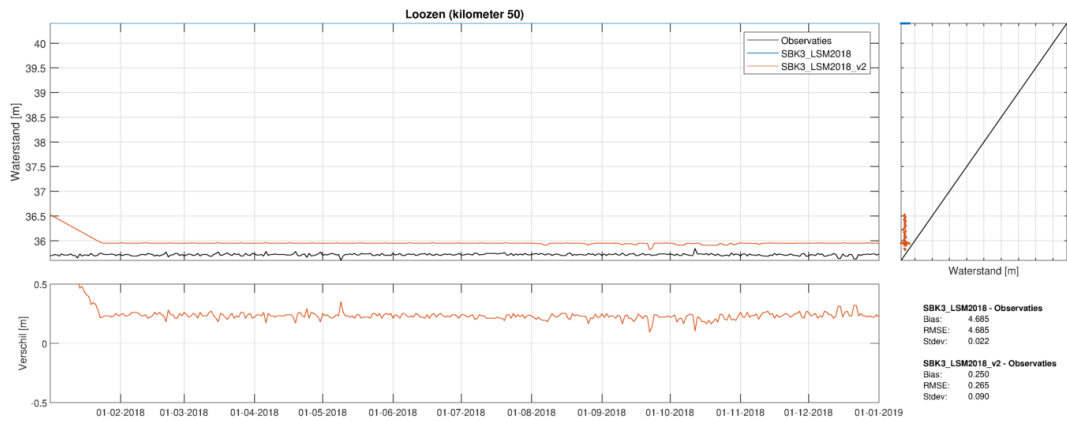
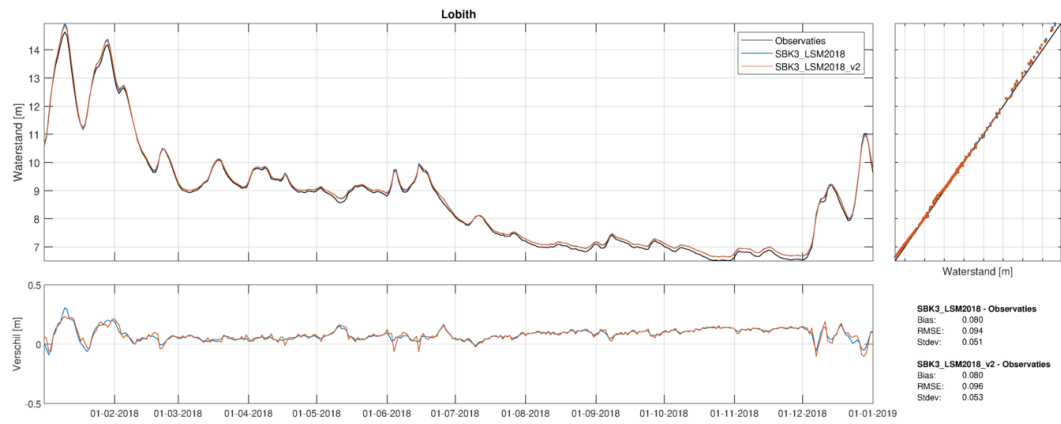
Krammersluizen-buiten is het getij op de Oosterschelde.



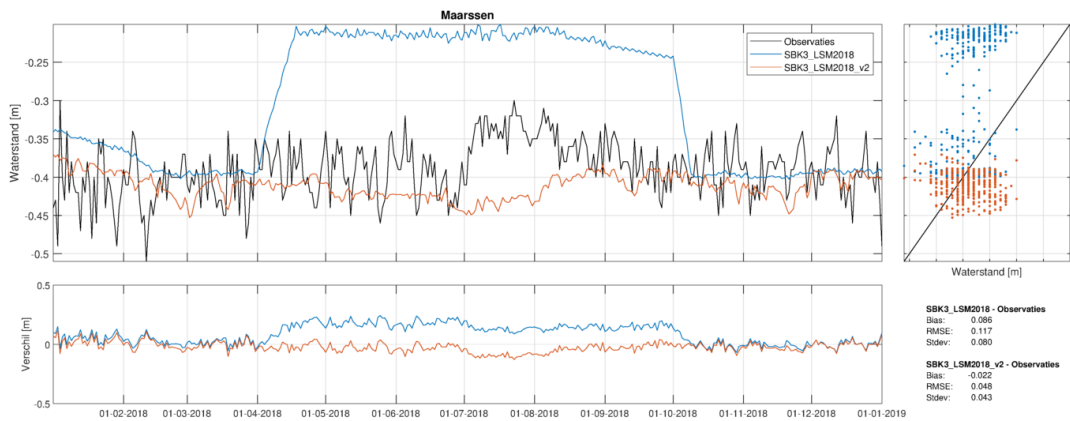


Krimpen aan de IJssel, Krimpen aan de Lek en Lauwersoog zijn alle drie locaties met getij.

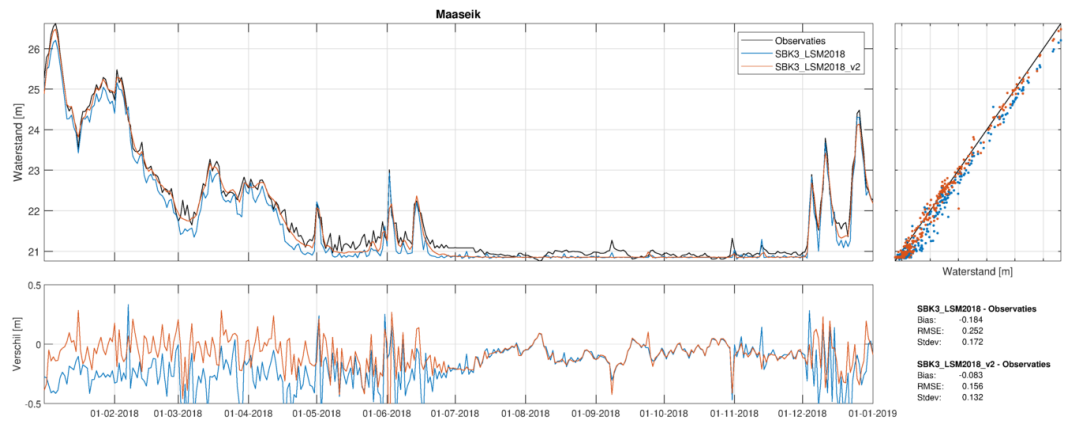




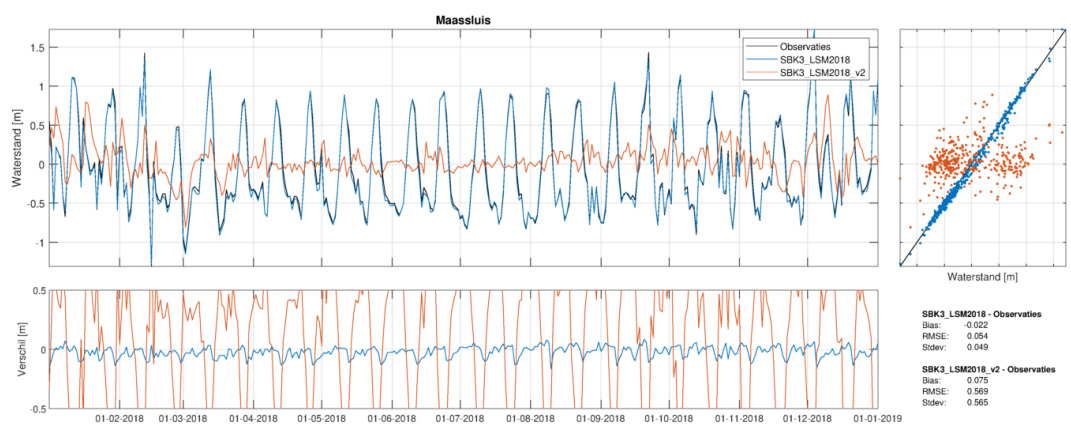
De waterstand bij Loozen (Zuid-Willemsvaart) is in de laatste versie van LSM3 verbeterd door enkele aanpassingen en is nu maar net iets hoger dan de metingen.



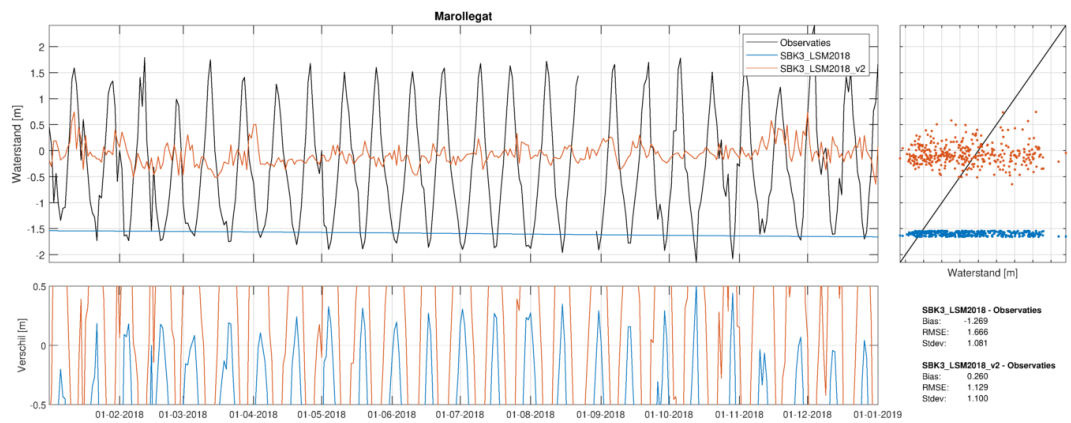
Voor de locatie Maarssen geldt hetzelfde als voor Amsterdam-Surinamekade: door correcties bij IJmuiden en de Oranjesluizen is het peil bij Maarssen in de nieuwe LSM3 versie veel dichterbij de metingen en geen sprake meer van peilopzet in de zomer zoals in de LSM3 versie van 2020.



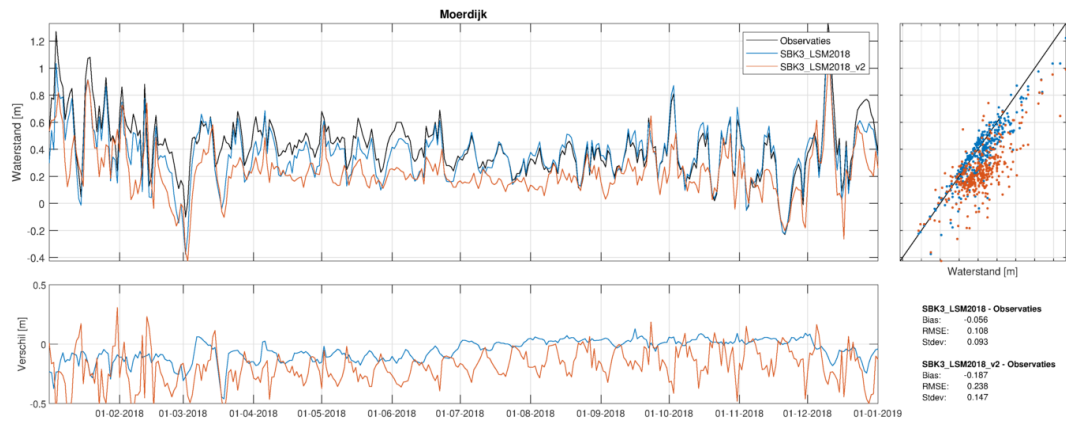
Door verbetering van de randvoorwaarden (Monsin) en waterverdeling bij Maastricht is de waterstand van Maaseik in de nieuwe LSM3 versie duidelijk dichterbij de metingen dan in de 2020 LSM3 versie.



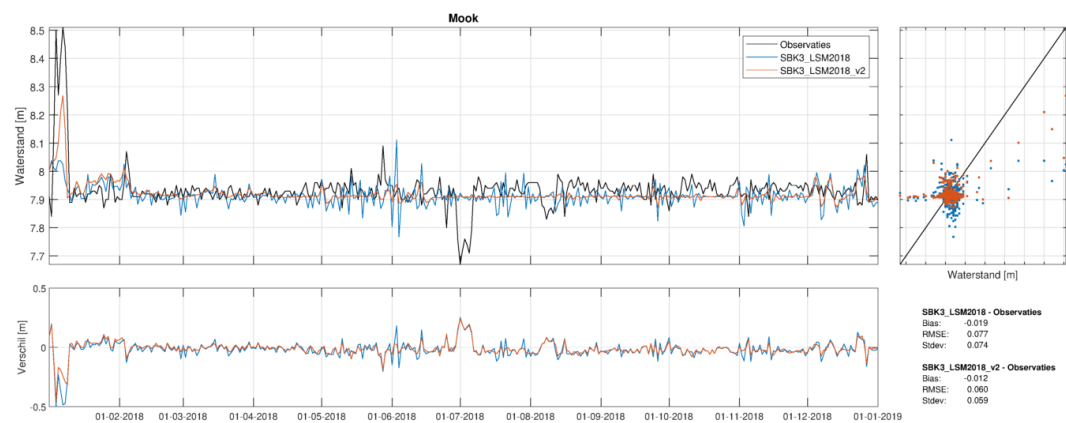
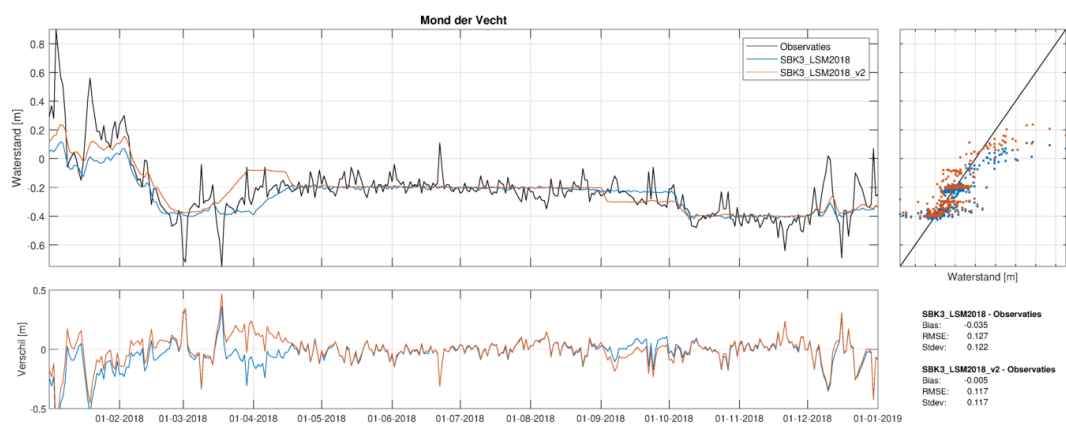
Maassluis is een getij-locatie.

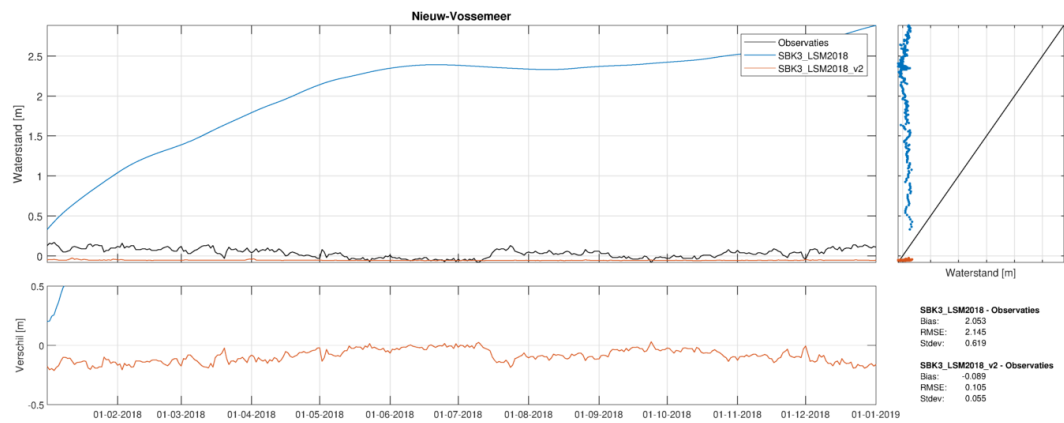
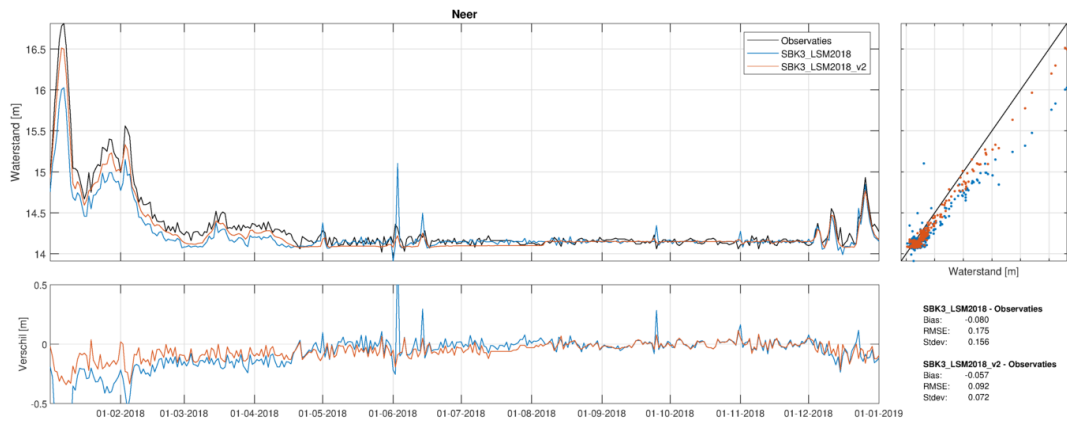


Ook Marollegat is een getij-locatie.

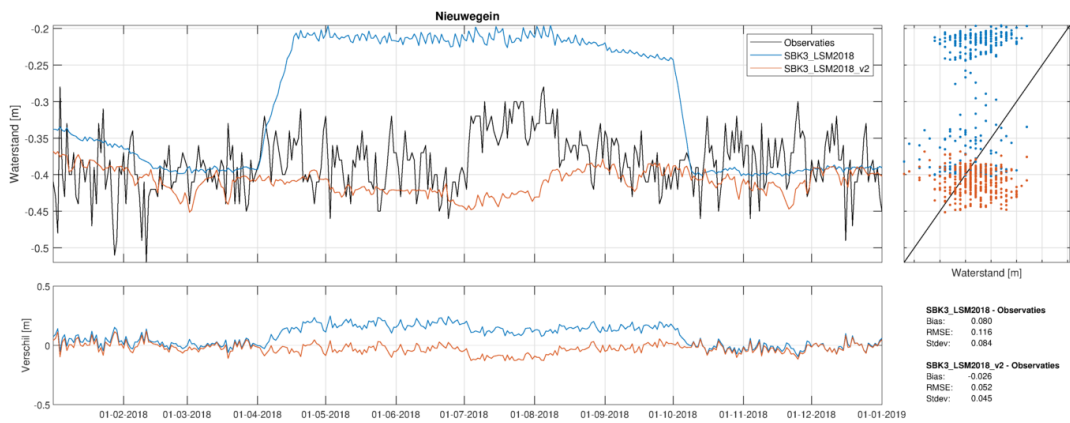


Ook Moerdijk is een (pseudo) getij-locatie, en het verschil tussen instantane waarden (metingen en blauwe lijn LSM3 uit 2020) en daggemiddelde waterstanden (nieuwe LSM3 model, oranje) is duidelijk.

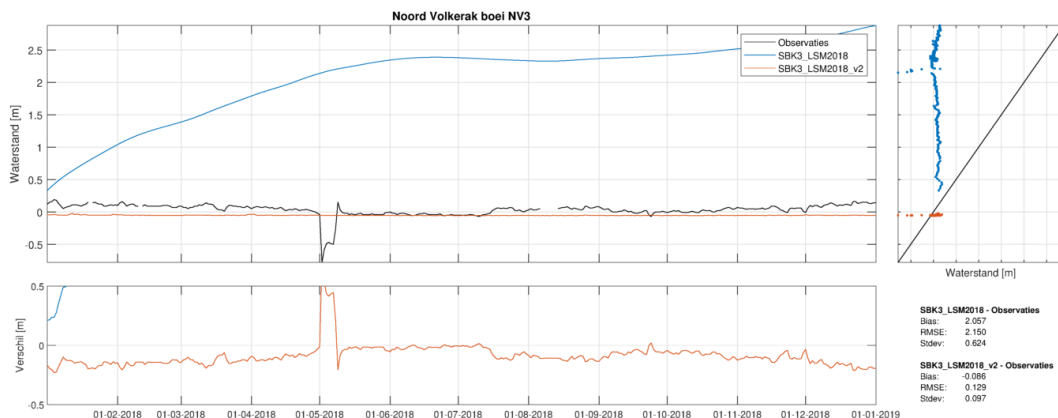
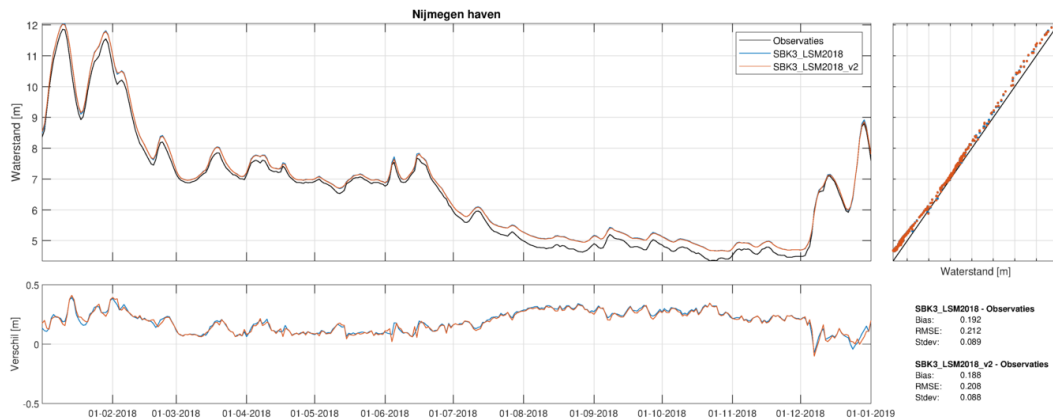




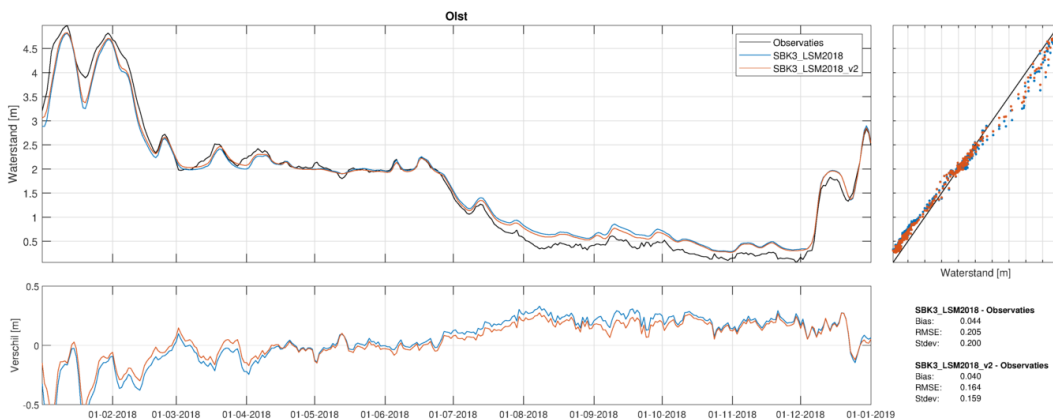
Voor Nieuw-Vossemeer geldt hetzelfde als voor de Bathse spuisluis en Noord-Volkerak: door een ontbrekende randvoorwaarde in de LSM3 versie 2020 liep het peil hoog op, dat is dit voorjaar gecorrigeerd en het nieuwe LSM3 model is dus duidelijk beter dan de versie van vorig jaar.

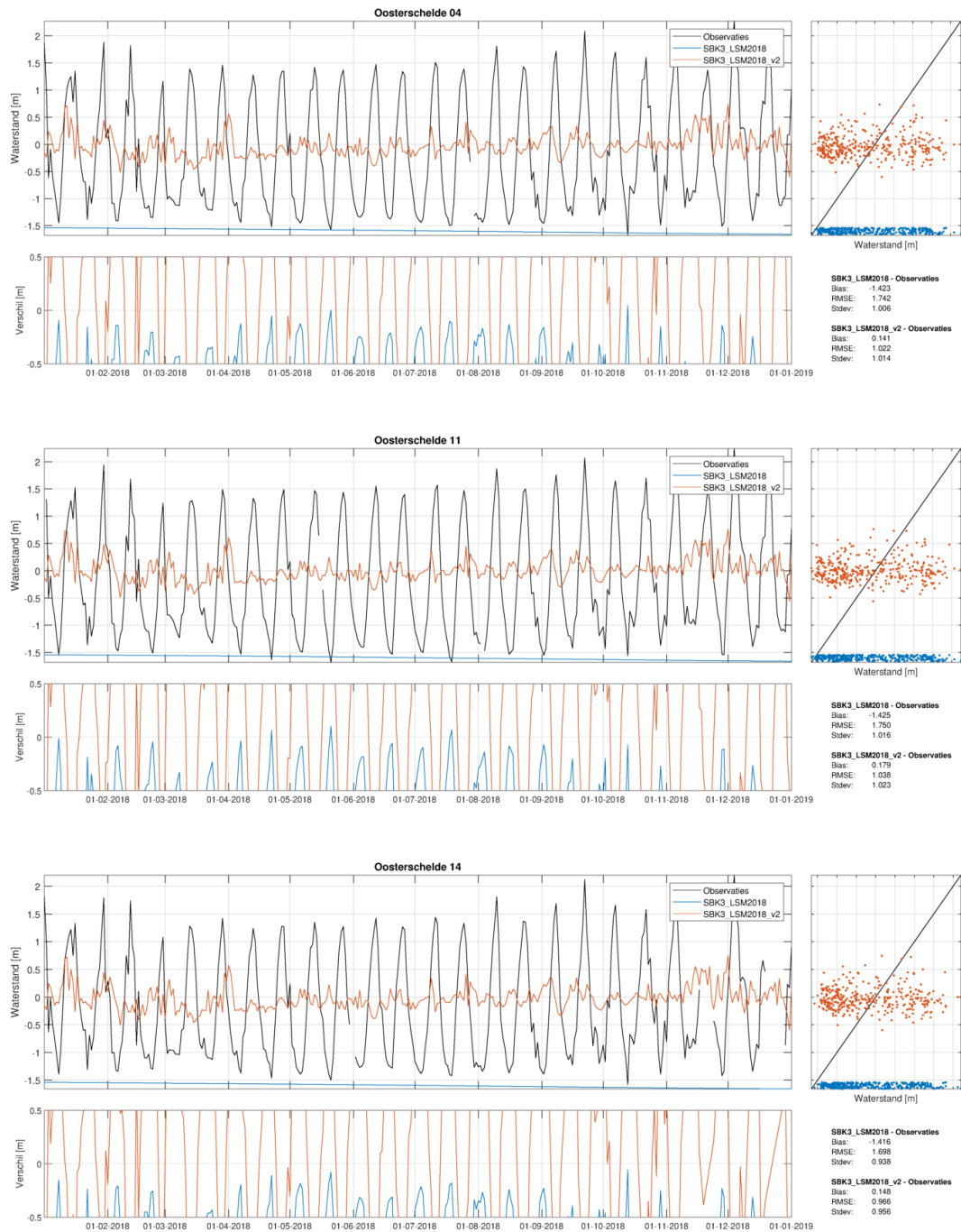


Voor Nieuwegein geldt hetzelfde als voor Maarsse.

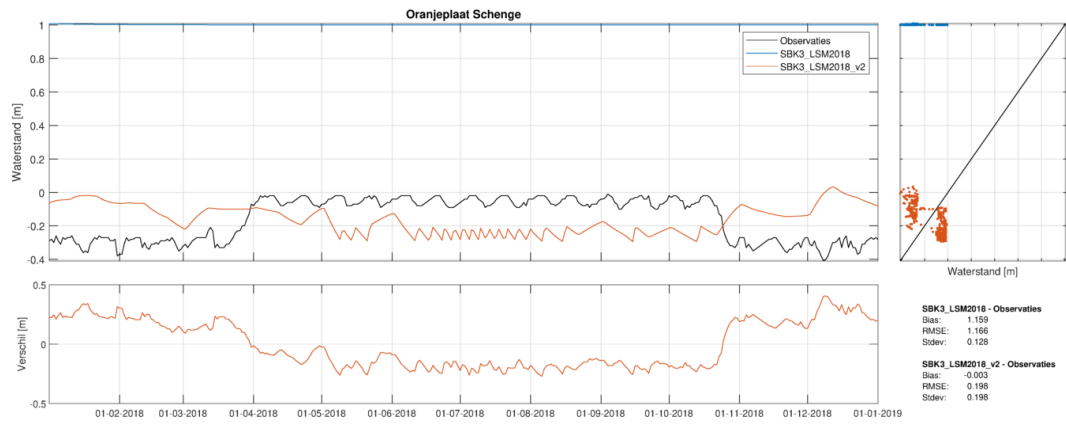


Zie voor Noord-Volkerak de eerdere opmerking bij Nieuw-Vossemeer en Bathse spuisluis.

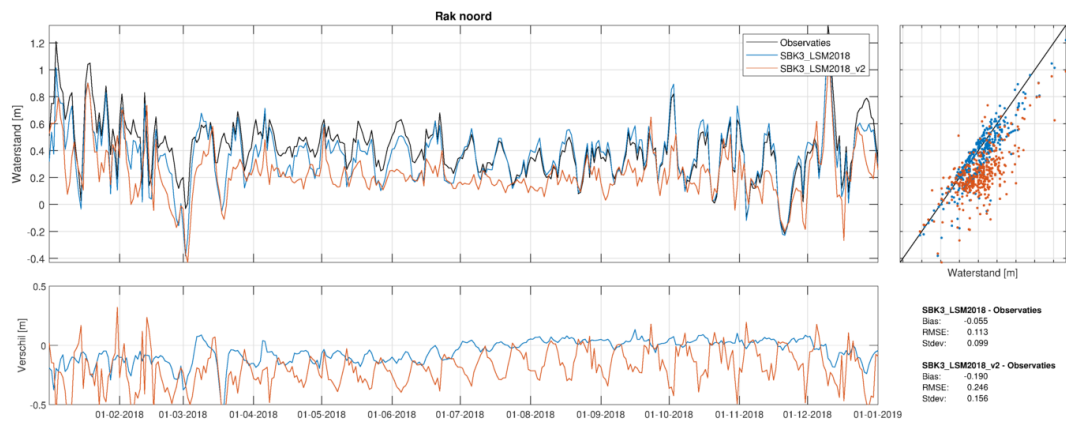
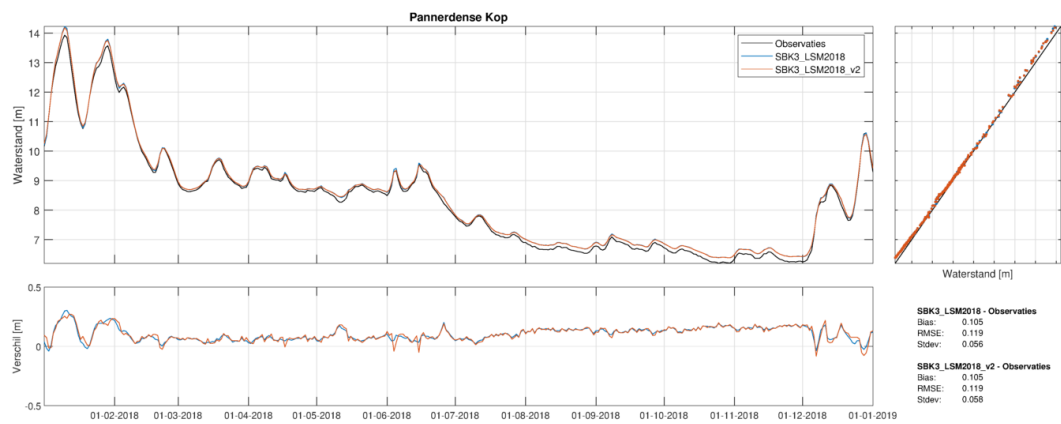




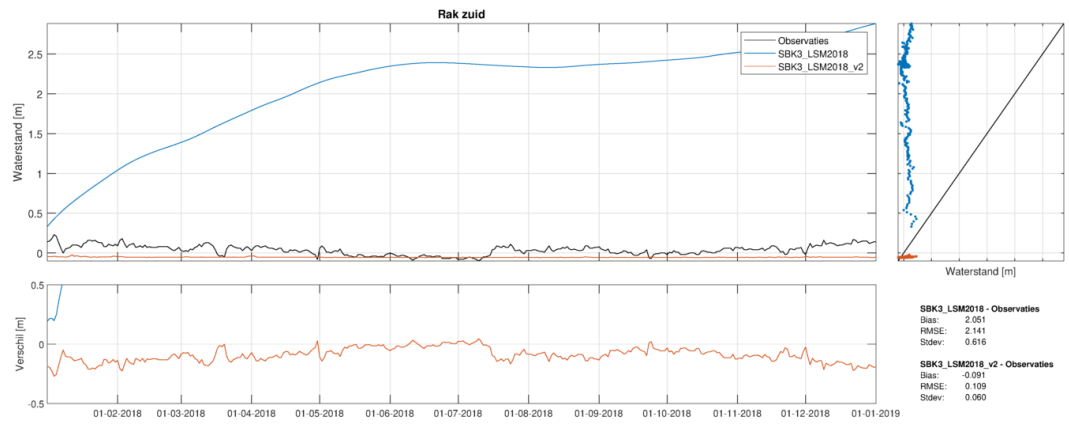
Alle Oosterschelde locaties zijn getijd-locaties. Door het eerder ontbreken van getijd-randen in LSM3 en het nu als resultaat gegeven daggemiddelde zijn er verschillen met de instantane meetwaarden.



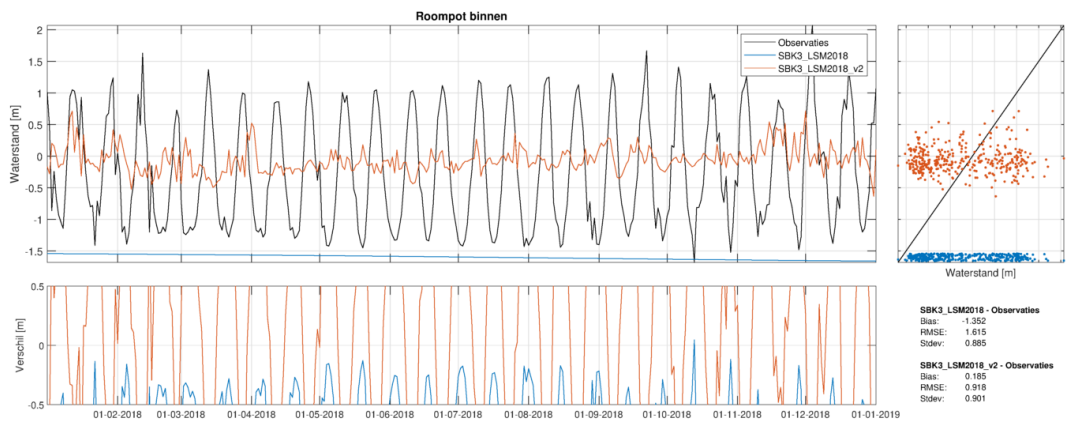
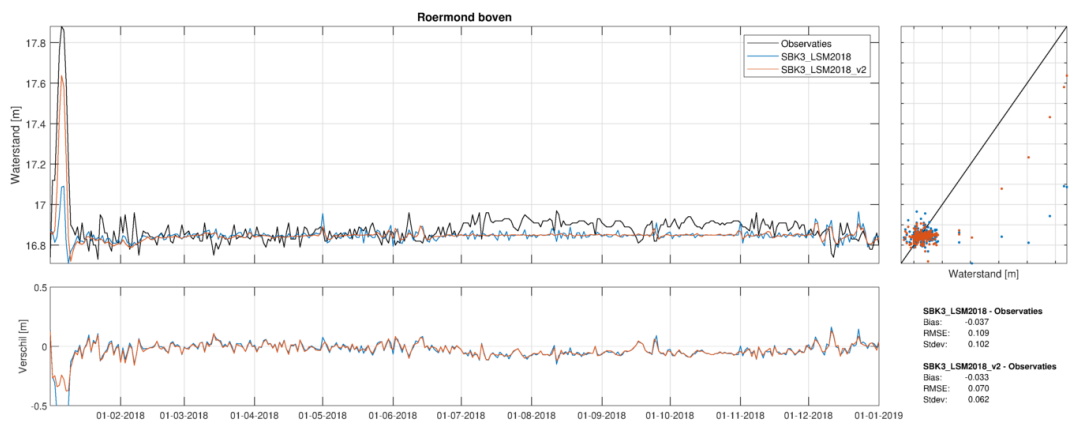
Oranjeplaat Schenge is een locatie in het Veerse Meer. De gemodelleerde waterstand is in LSM3 door het toevoegen van sturing bij Katse Heule beter dan voorheen. Het zomer-winter peilverloop is nog niet geïmplementeerd in LSM3.

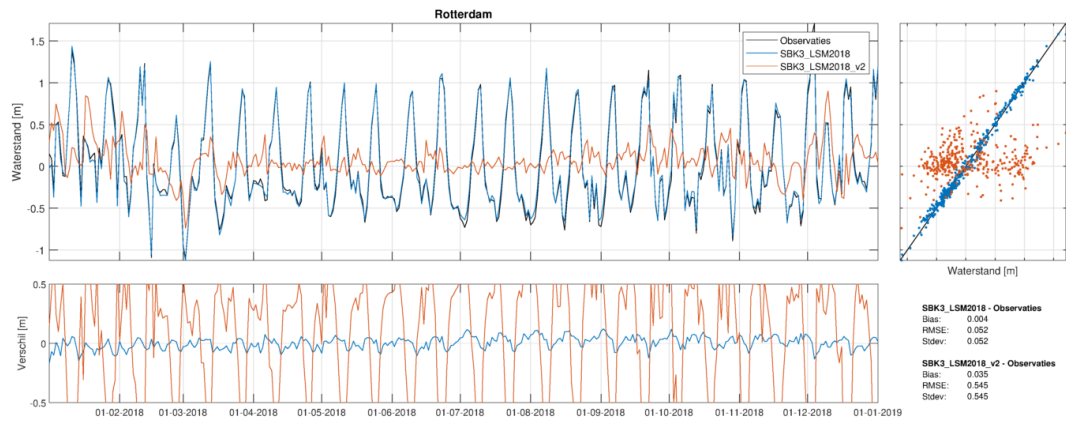
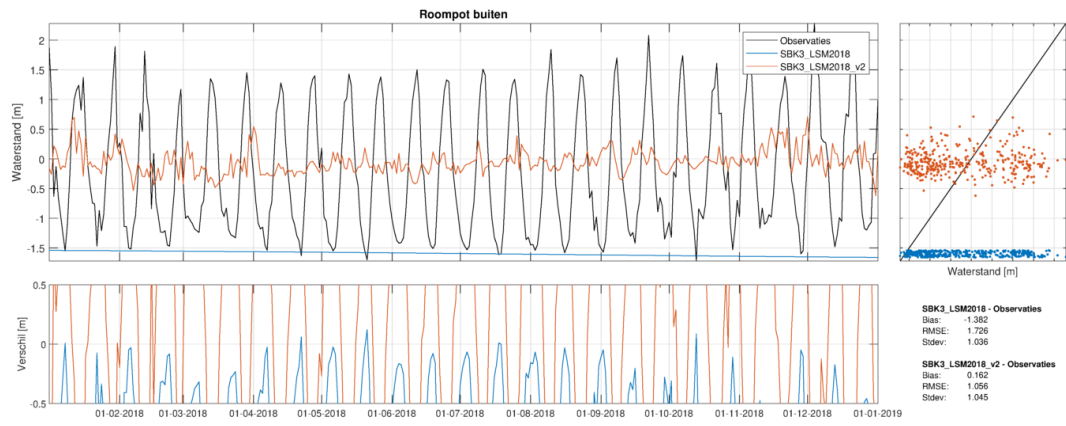


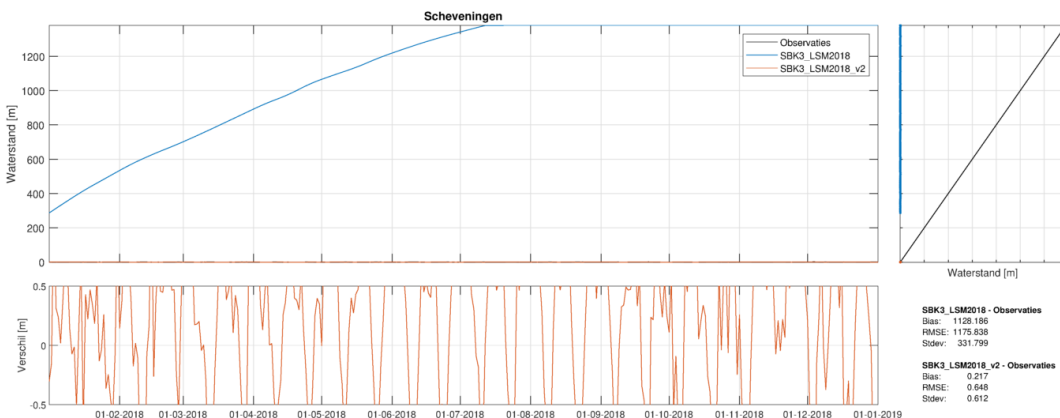
Rak-noord ligt in het Hollands Diep bij het Volkerak, dus in door getij beïnvloed gebied.



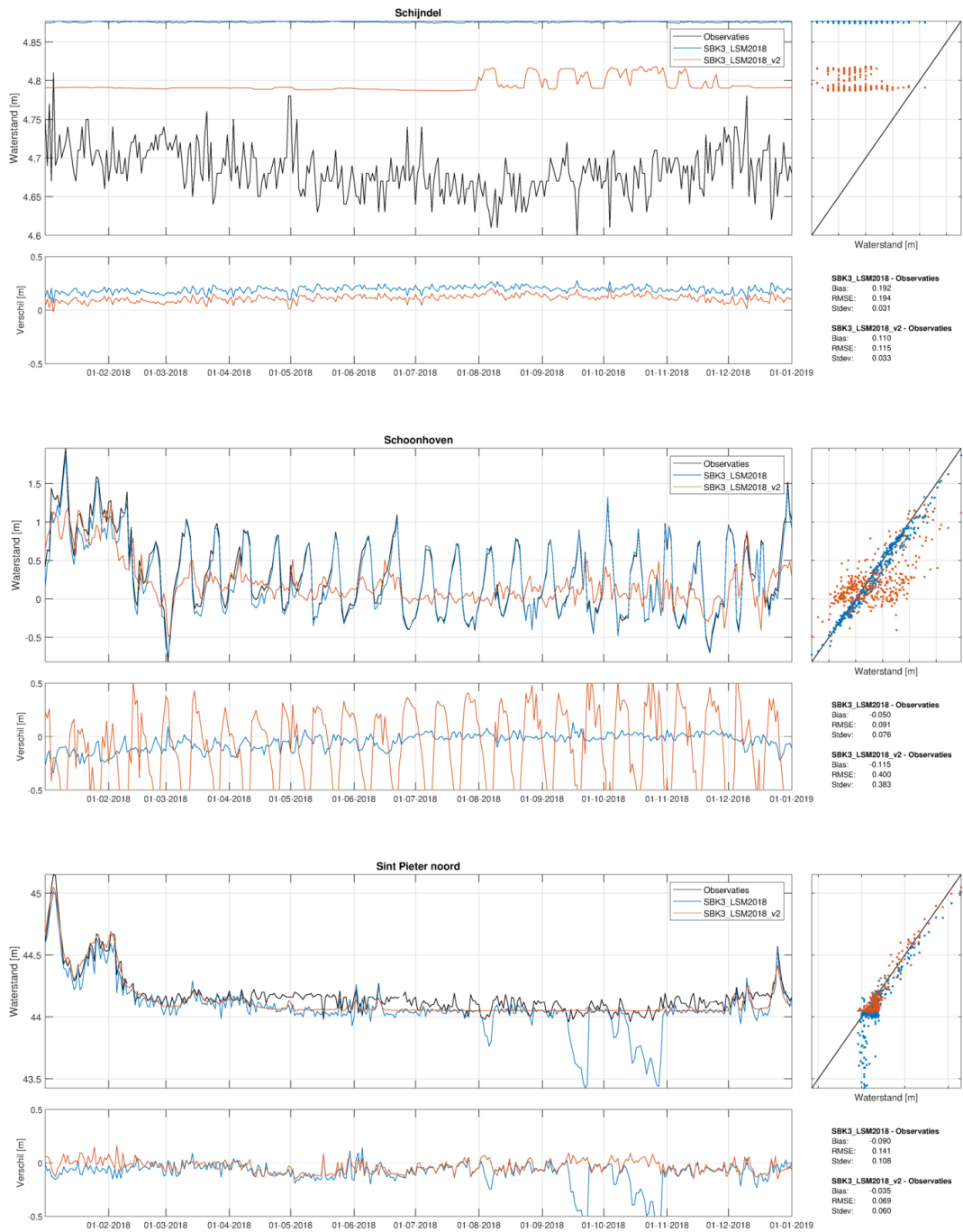
Voor Rak-zuid geldt hetzelfde als voor Nieuw-Vossemeer en Bathse spuisluis: het peil leip in eerdere LSM3 modelversies op omdat de randvoorwaarde ontbrak (en niet geloosd kon worden bij Bath). Dat is in de nieuwe LSM3 versie gecorrigeerd.



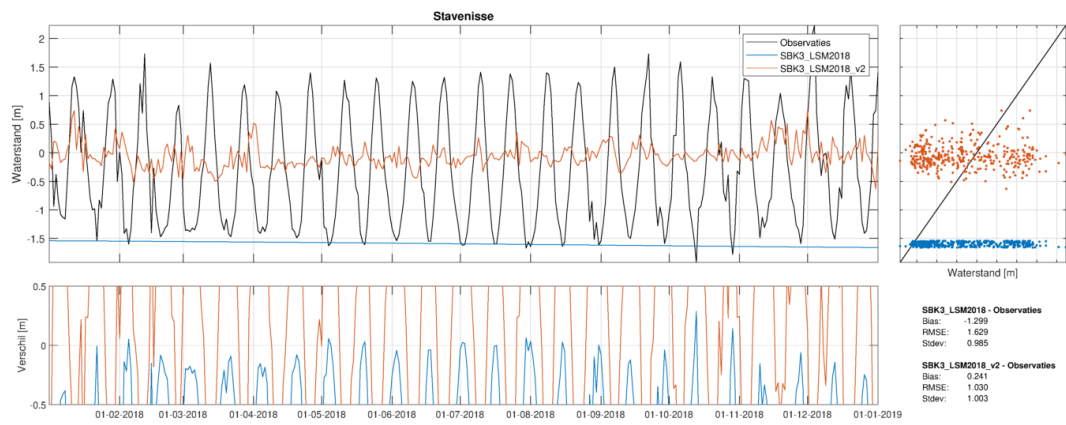
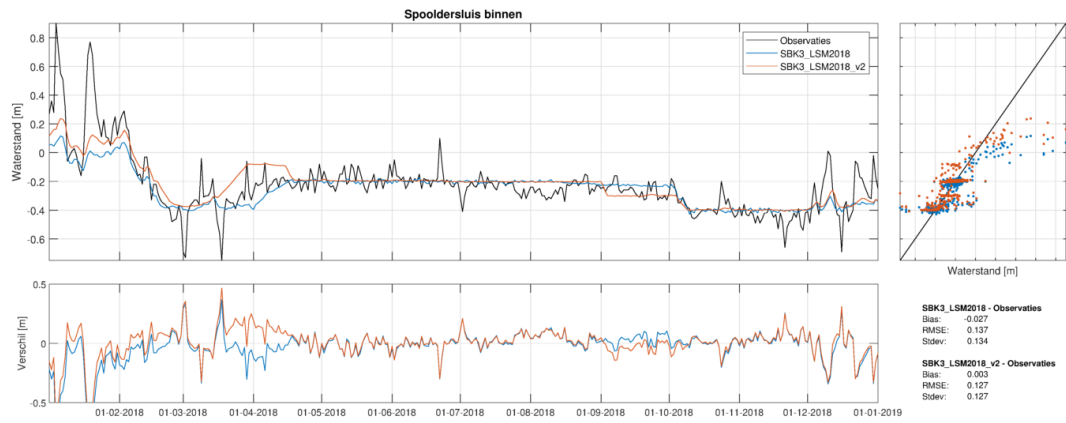
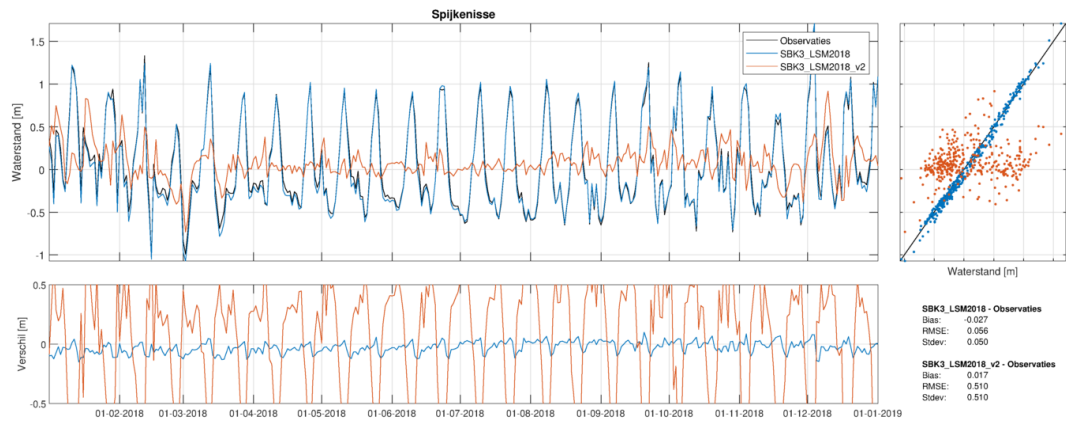


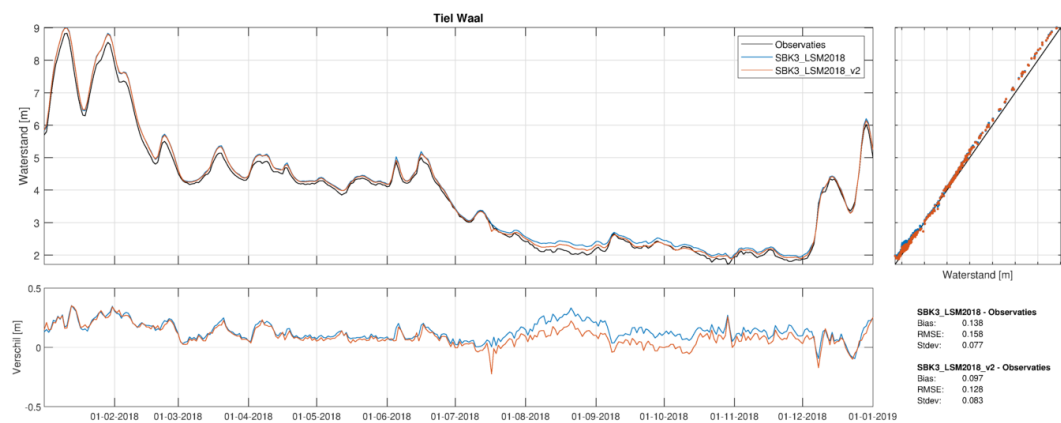
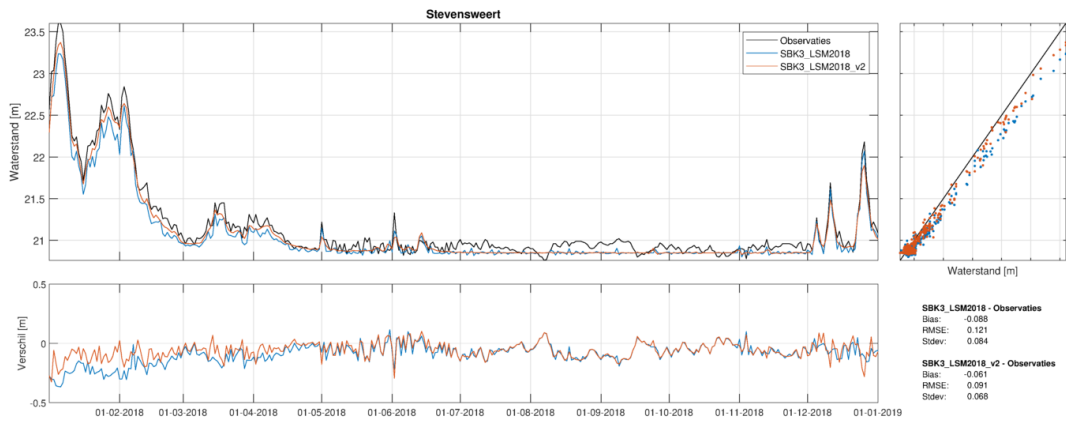
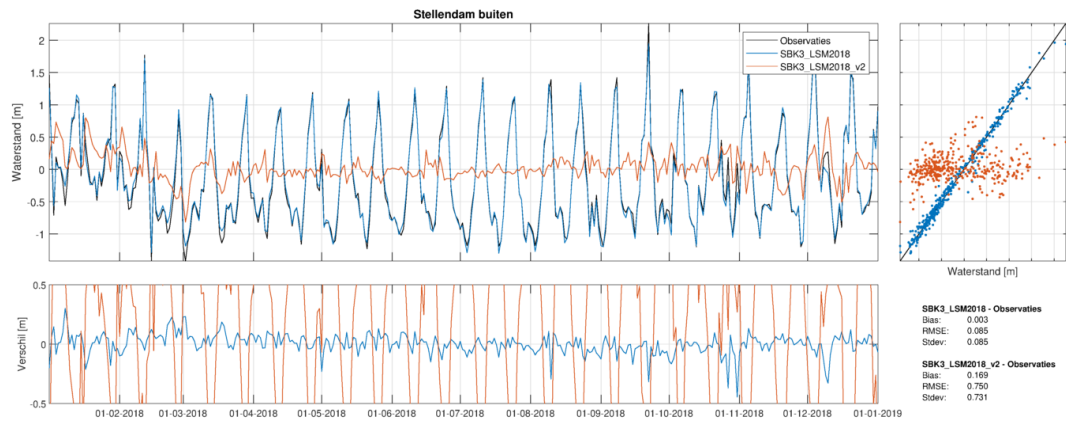


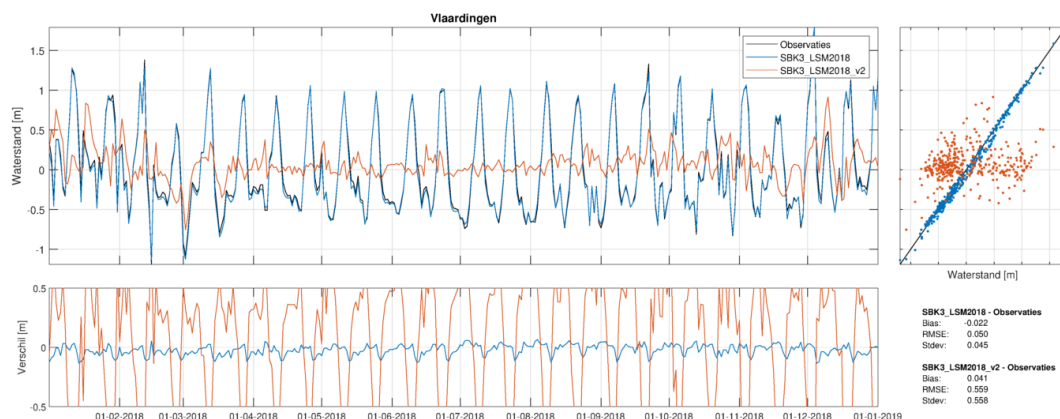
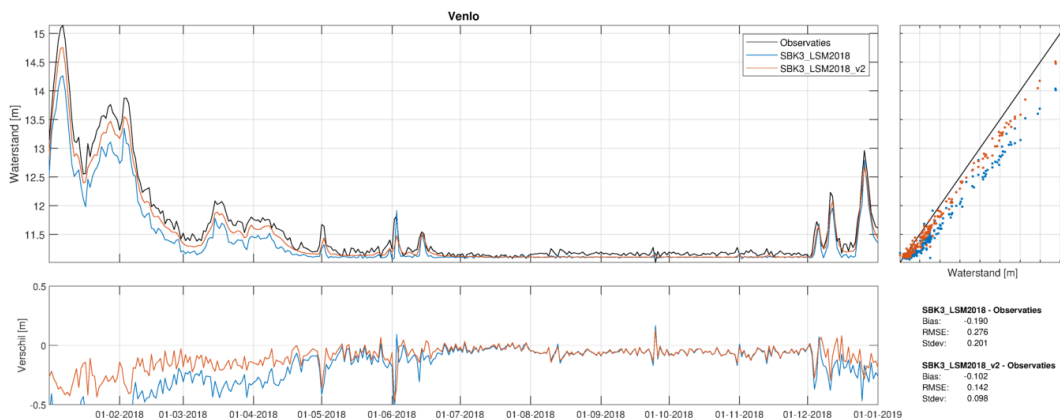
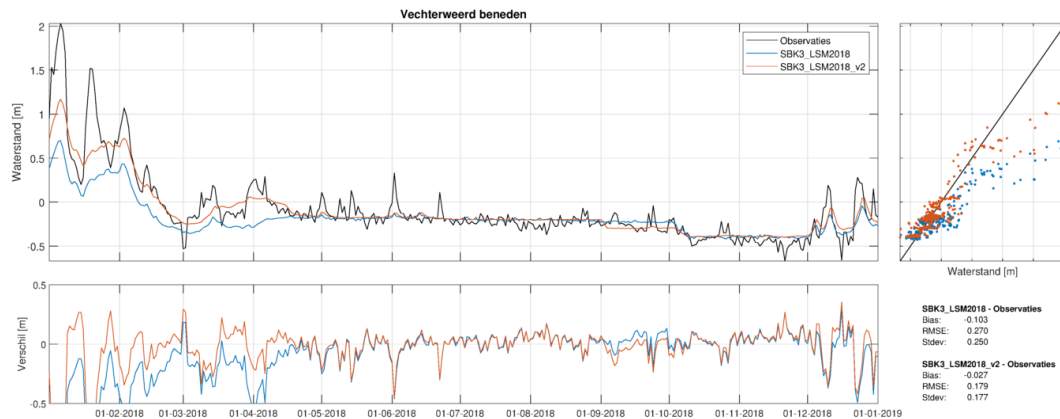
Ook bij Scheveningen is een getijrand toegevoegd in het nieuwe LSM3.

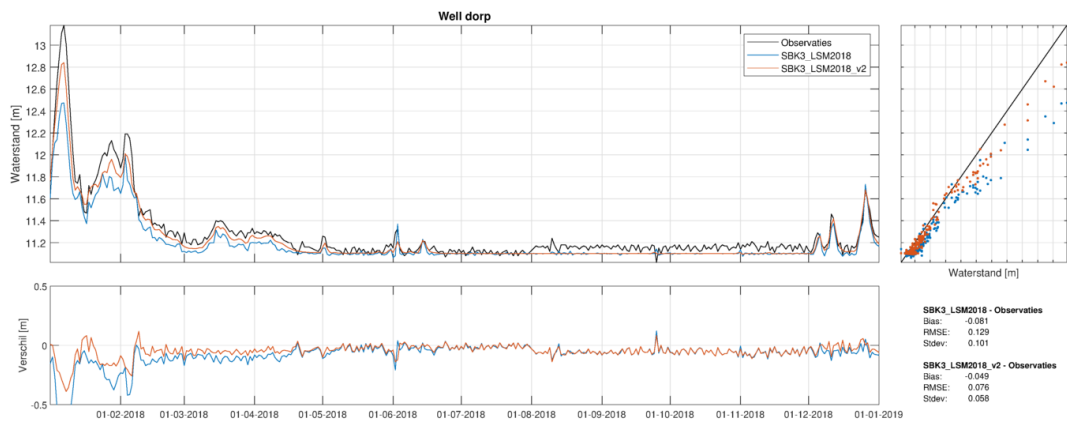
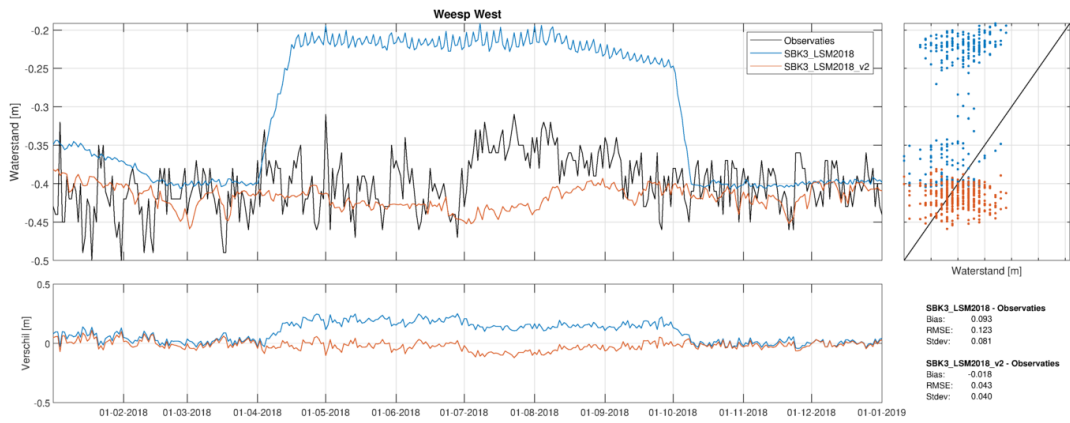
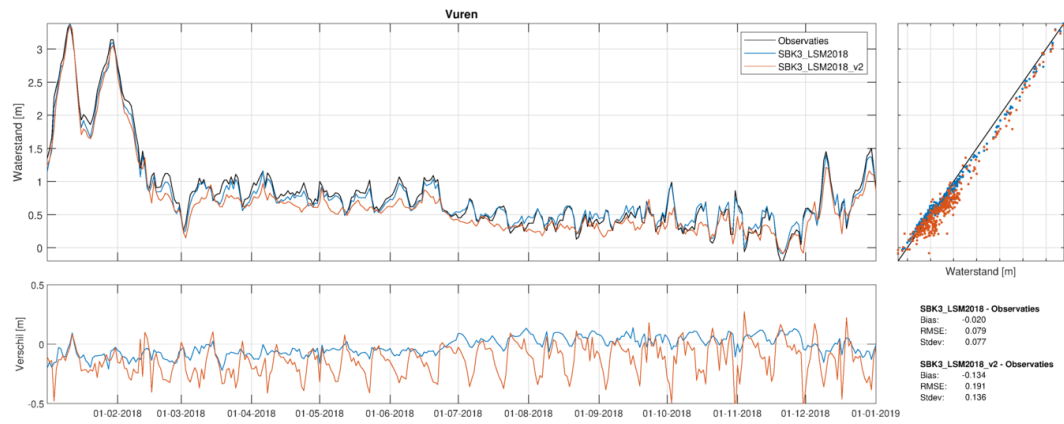


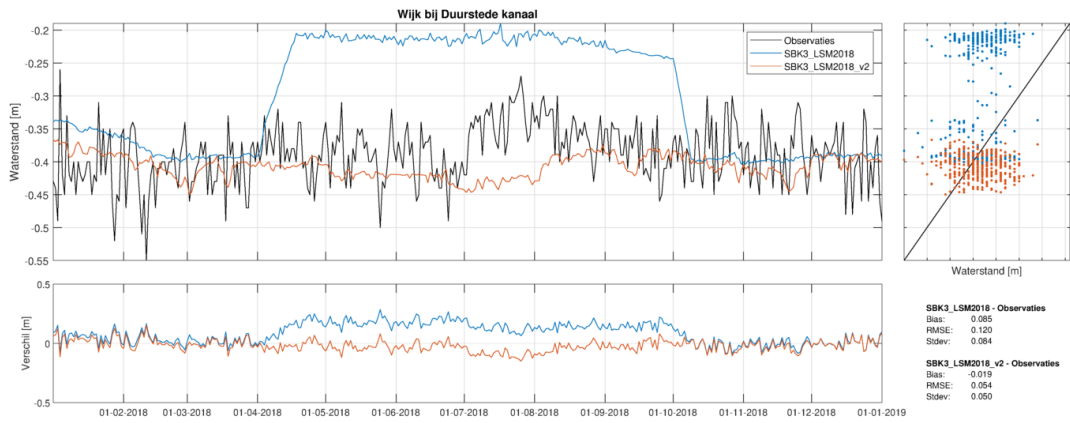
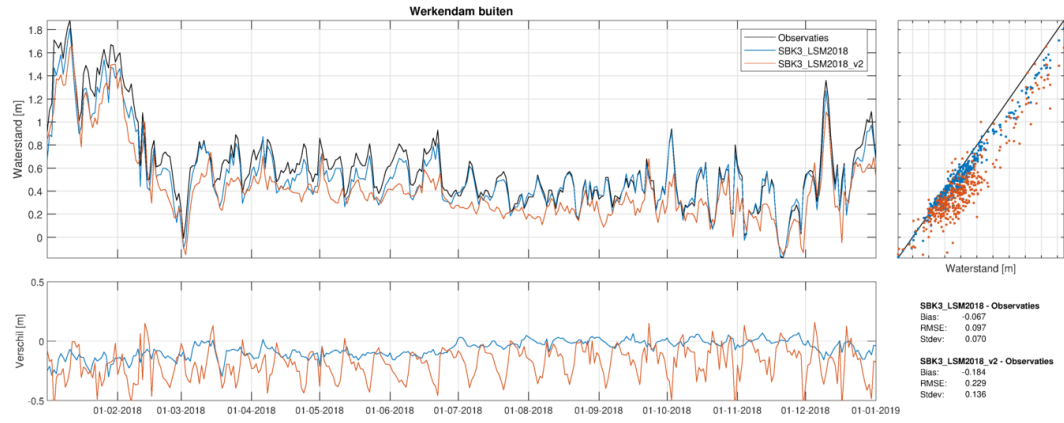
De waterstand bij Sint Pieter Noord is verbeterd ten opzichte van de LSM3 versie van vorig jaar, omdat de randvoorwaarden en de verdeling over Maas en Albertkanaal nu correct zijn.

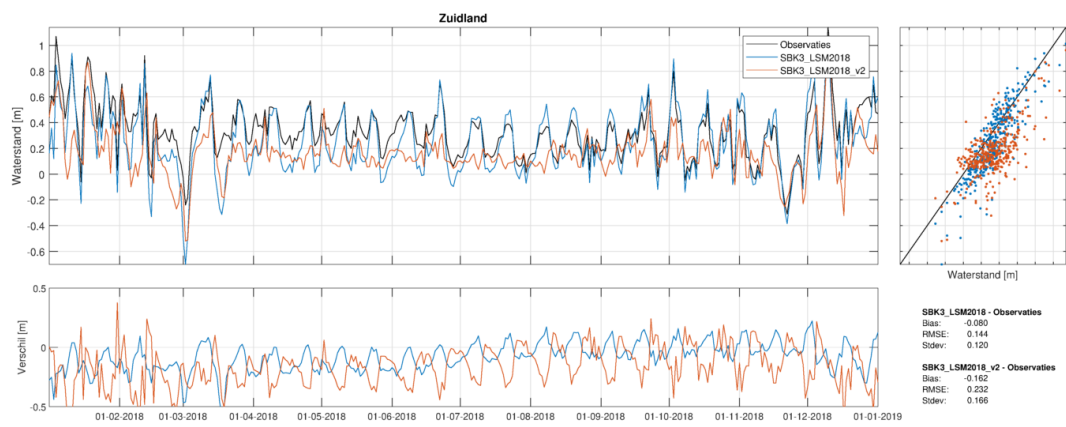
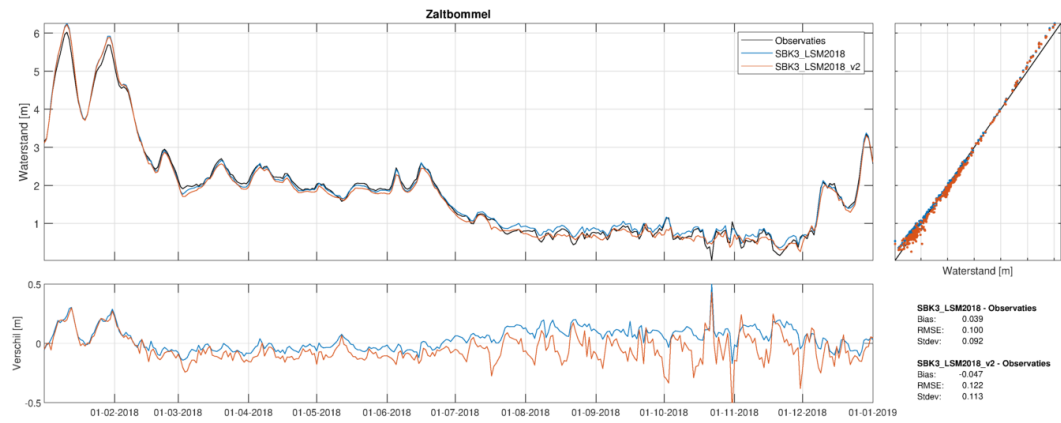
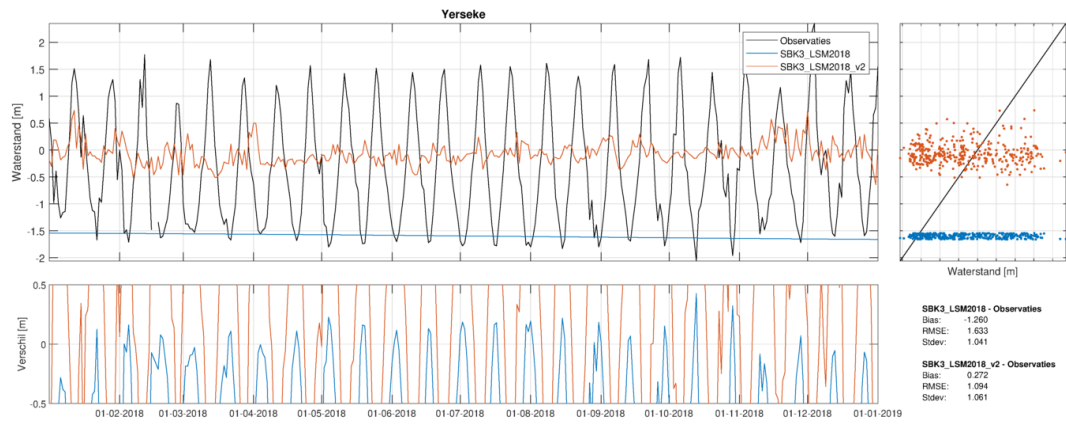


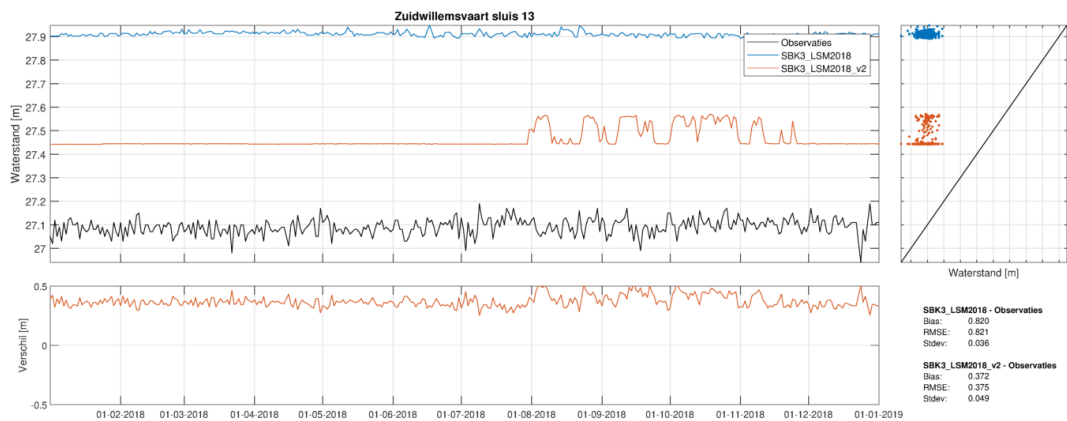
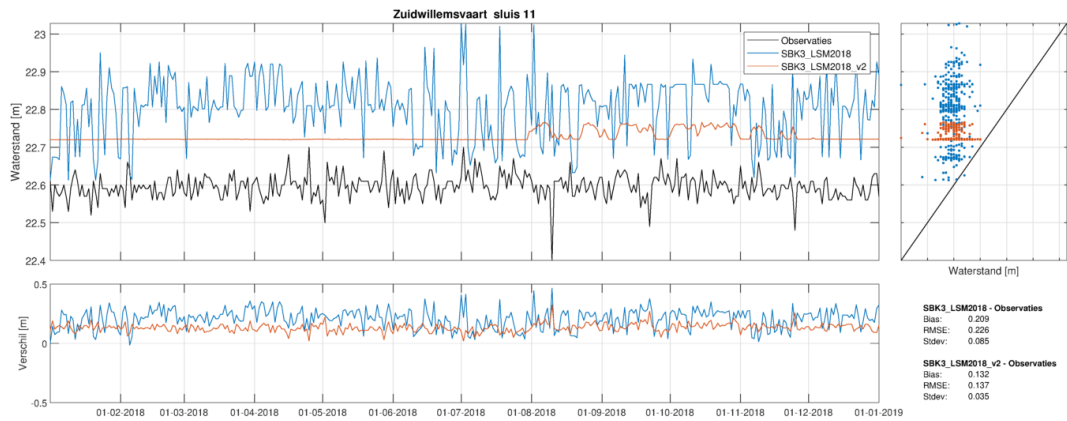
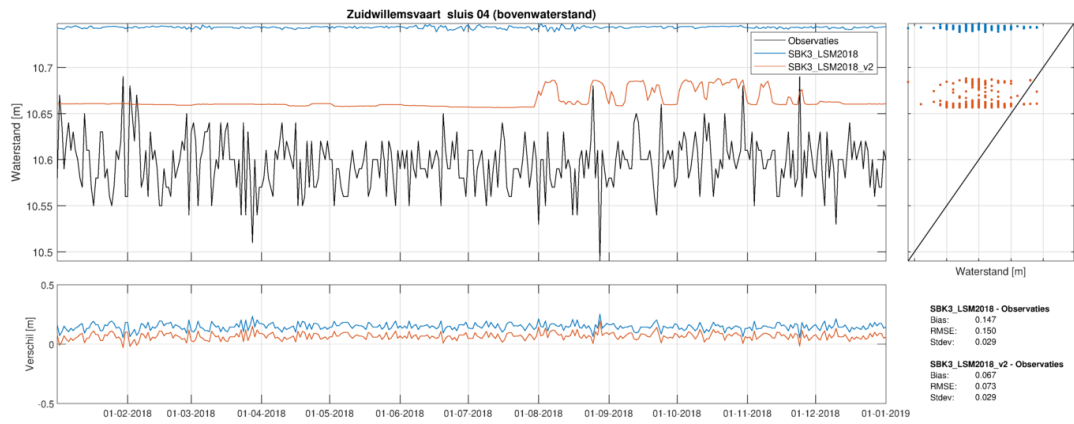


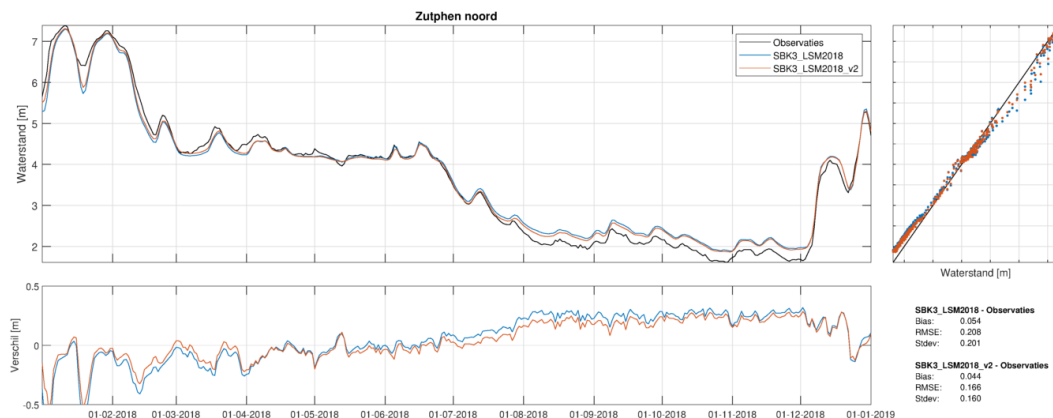
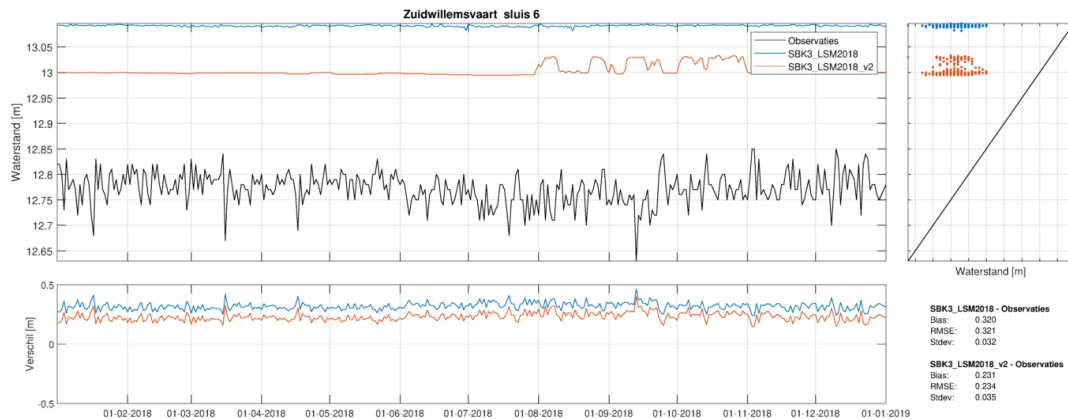












Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl