

KPP 2022 - verificatie van LSM3 voor temperatuur

Hydraulica Schematisaties zoet en zout



KPP 2022 - verificatie van LSM3 voor temperatuur
Hydraulica Schematisaties zoet en zout

Auteur(s)

Sibren Loos

Pascal Boderie

KPP 2022 - verificatie van LSM3 voor temperatuur

Hydraulica Schematisaties zoet en zout

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	de heer M. Scholten
Referenties	
Trefwoorden	LSM3, SOBEK3, temperatuur

Documentgegevens

Versie	0.1
Datum	06-12-2022
Projectnummer	11208053-010
Document ID	11208053-010-ZWS-0005
Pagina's	102
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Sibren Loos	
	Pascal Boderie	

Samenvatting

Er wordt binnen het KPP-project MA07ab 2022 - Hydraulica schematisaties – zoet en zout continu gewerkt aan een samenhangend hydraulisch modelinstrumentarium, waarbij het aantal modelversies zoveel mogelijk wordt beperkt en de modellen zoveel mogelijk worden opgebouwd en ontwikkeld volgens dezelfde technieken en methodes (consistentie) en tevens onderling koppelbaar moeten zijn. Het modelinstrumentarium is faciliterend aan overige KPP-projecten, zoals bijvoorbeeld het Beslissings- en Ontwerp Instrumentarium (BOI), het Nationaal Watermodel (NWM) en de operationele voorspelssystemen (RWsOS-en) en worden ook buiten Rijkswaterstaat gebruikt.

Onderhavige studie [1] betreft een landelijke toepassing voor waterkwaliteit (Landelijk SOBEK Model, LSM). Dit rapport bespreekt de verificatie van LSM3 voor watertemperatuur [2,3] aan de hand van (i) vergelijkbare berekeningen met de zogenaamde light versie van LSM dat op SOBEK2 is gebaseerd [4,5] en (ii) aan de hand van metingen van watertemperatuur.

In LSM3 wordt watertemperatuur door het hydrodynamisch model berekend en is daarmee, net als zout, onderdeel geworden van de stromingsvergelijkingen die SOBEK in 1D oplost [6]. Daarmee draagt watertemperatuur ook bij aan dichtheid gedreven stroming. In de SOBEK2 toepassing (hierna te noemen LTM-light) werd watertemperatuur door het waterkwaliteitsmodel DWAQ offline berekend [7]. De temperatuurmodellen die de uitwisseling van warmte met de atmosfeer bepalen zijn zeer vergelijkbaar want gebaseerd op [8, 9] maar in detail verschillend [10, 12]. Aantal en omvang van de warmtelozingen in beide toepassingen zijn gelijk.

Een eerder (2019) geconstateerd verschil dat LTM-light rekent met gemeten globale zonnestraling terwijl LSM3 gebruik maakt van de theoretische zonnestraling [12] is met issue SOBEK-10938 verdwenen; in Sobek3 kunnen vanaf versie 3.7.26 de meteorologische variabelen, waaronder globale zonnestraling, via een NetCDF-bestand als ruimtelijke en tijdsafhankelijke velden worden opgedrukt.

De modelvergelijking is uitgevoerd voor het kalenderjaar 2018. Randvoorwaarden, forcering en aansturing van de modellen vindt plaats vanuit Delft-FEWS. Validatie met watertemperatuurmetingen is uitgevoerd op de volgende zes locaties: IJsselmeer (Vrouwezand), Lekkanaal (Nieuwegein), ARK (Maarsen), Lek (Kinderdijk), Bergse Maas (Keizersveer) en de Maas (Belfeld) waar meest continue metingen beschikbaar zijn.

LSM3 volgt de jaarlijks variatie (amplitude, timing) voor alle locaties goed. De overeenkomst op basis van grafische beoordeling is goed voor IJsselmeer, Lek en Lekkanaal, voor de twee locaties in de Maas zien we in de zomer een goede fit en in het winterhalfjaar een structurele onderschatting van de metingen van 0.5 á 3.5°C, voor ARK zien we een structurele overschatting in de zomermaanden tot maximaal 2.5°C (een overschatting die we ook in het LTM-light terugzien). Volgens geobjectiveerde GOF indicatoren ([15] is de prestatie van het model goed).

In vergelijking met LTM-light presteert LSM3 voor locaties IJsselmeer, Lek, en Lekkanaal vergelijkbaar ten opzichte van de metingen, waarbij LSM3 vrijwel altijd lagere watertemperaturen berekent dan LTM-light. Voor de locaties in de Maas berekent LSM3 ook lagere watertemperaturen dan LTM-light, en presteert het LSM3 een beetje minder goed.

Voor ARK zien we dat beide modellen de metingen overschatten in de zomerperiode, LTM-light nog iets meer dan LSM3.

Het huidige LSM3 model inclusief temperatuur module lijkt geschikt voor implementatie in het Nationaal Water Mode. Aanbevolen wordt om (vooraf of tijdens de implementatie in NWM):

- 1 een beperkte kalibratie uit te voeren op temperatuurfit van de huidige locaties met gebruikmaking van deze GOF;
- 2 de huidige locatieset uit te breiden met locaties in de Zeeuwse delta;
- 3 de validatie set uit te breiden met gemeten openwaterverdamping en die te vergelijken met verdamping zoals door het temperatuurmodel berekend;
- 4 voor wateren rond warmtelozingslocaties te onderzoeken of er in LSM3 realistische(re) resultaten worden berekend (in vergelijking met het LTM-light);
- 5 (eventueel) naar de numerieke aspecten van LSM3 en LTM-light te kijken door bijv. een LSM3 conservatieve tracer met eenzelfde LTM-light-Delwaq tracer te vergelijken voor een grote warmtelozing.

Inhoud

Samenvatting	4
1 Verificatie temperatuur LSM3	7
1.1 Gebruikte Software en schematisatie	7
1.2 Activiteiten	7
2 Resultaat	16
2.1 Watertemperatuur LSM3 vs. metingen	16
2.2 LSM3 vs. LTM-light	19
3 Conclusies en aanbevelingen	27
3.1 Conclusies	27
3.2 Suggesties voor vervolg	27
3.3 Overwegingen voor gebruik	27
4 Referenties	29
A Verbetering LSM3-temperatuur met update Sobek3-dll	30
A.1 Geconstateerde ontbrekende functionaliteit	30
A.2 Verschillen als gevolg van de opgeloste issues	30
B Aanpassingen in LSM3 waterbeweging	33
B.1 Overzicht activiteiten voor waterbeweging	33
B.2 Verificatie waterbeweging 2018	33
B.3 Resultaten waterstanden	65
B.4 Conclusies en aanbevelingen	101

1 Verificatie temperatuur LSM3

1.1 Gebruikte Software en schematisatie

- Software: SOBEK 3.7.26 ¹
- Schematisatie: SOBEK-lsm3-j18_5-v6

Als uitgangspunt is de eind 2021 opgeleverde versie SOBEK-lsm3-j18_5-v5 gebruikt.. De voor watertemperatuur relevante locaties waar randvoorwaarden op worden gezet (boven-, benedenstreams en lateralen) zijn in principe opgenomen in deze schematisatie, en in deze studie verder gecontroleerd. Een inventarisatie heeft opgeleverd dat niet alle lateralen die in LSM-light aanwezig zijn ook in deze versie zijn opgenomen en dat een aantal warmtelozingslocaties nog ontbreken die wel onderdeel zijn van de LTM-light applicatie waarmee vergeleken is. Verder zijn een nog aantal verbeteringen doorgevoerd voor temperatuur en een aantal andere correcties. Deze update wordt opgeleverd als versie SOBEK-lsm3-j18_5-v6. De aanpassingen voor temperatuur zijn in dit rapport beschreven. De overige aanpassingen (t.b.v. verbeteren van de waterbeweging) in de nieuwe versie SOBEK-lsm3-j18_5-v6 zijn uitgebreid beschreven in Bijlage B. Hieronder zijn de belangrijkste aanpassingen opgesomd:

- Omzetting van enkele open randen naar getijranden met getijrandvoorwaarden (o.a. bij enkele van de randen bij Scheveningen, Den Helder, Oosterschelde) en/of naar randen met kleine rivierafvoeren (Dommel, BovenMark)
- Toevoegen van aparte chloride randvoorwaarden op diverse plekken (enkele Oosterschelderanden, IJmuiden)
- Correctie van enkele tyfouten waardoor enkele laterale debieten niet goed doorkwamen (typisch hoofdletter/kleine letter issues zoals IJsselmeer vs. IJsselmeer)
- Toevoegen van enkele laterale debietlocaties
- Correctie van structure SRW_8901 (type, verwijzing naar cross-sectie definitie)

1.2 Activiteiten

In dit rapport is de verificatie van LSM3 voor temperatuur beschreven. Hiervoor zijn vergelijkingen gemaakt met metingen en LTM-light (een SOBEK2 model). Het doel is om na deze validatie van LSM3 voor temperatuur in het NWM het landelijk temperatuur model (LTM-light) te vervangen door LSM3. Dit rapport geeft aan of het huidige LSM3 model inclusief temperatuur module daar geschikt voor is.

De activiteiten die zijn doorlopen in dit project staan hieronder opgesomd:

- Controleren of in de schematisatie alle warmtelozingen zijn opgenomen;
- Verzamelen meetgegevens en randvoorwaarden temperatuur 2018 (periode 1-12-2017 t/m 1-1-2019);
- Randvoorwaarden temperatuur uit de verzamelde gegevens omzetten naar LSM3 format (met behulp van de Delft-FEWS Dimr adapter);
- Modelberekening LSM3 voor 2018 met temperatuur uitvoeren;
- Verificatie modelresultaat met metingen;
- Modelberekening LTM-light voor 2018 uitvoeren op basis van:

¹ In 3.7.25 was nog een issue geconstateerd, vandaar 3.7.26. Release wordt verwacht januari 2023. De berekeningen in dit memo zijn gebaseerd op D-Flow 1D Version 5.00.024.77172M, Nov 03 2022 en dimrset v2.22.02.76993 (DIMR_EXE Version 2.00.00.141869 (Win64), Oct 13 2022)

- waterbeweging voor 2018 (berekend met LSM-light)
- meteorologische en watertemperatuur randvoorwaarden grotendeels vergelijkbaar met de LSM3 som (zie details in de volgende paragrafen);
- Verificatie modelresultaat LSM3 met de LTM-light som;
- Afstemming met Sobek ontwikkelteam voor het oplossen van geconstateerde issues (SOBEK-50938, SOBEK-50951, SOBEK-51031, zie Bijlage A) in de conceptberekeningen.
- Naar aanleiding van tussentijdse bevindingen opnieuw (iteratief) LSM3 temperatuurberekening maken;
- Rapportage en evaluatie van de resultaten (dit rapport, hoofdstuk 2 en 3).

1.2.1 Randvoorwaarden

Er zijn in totaal 2659 locaties opgenomen in LSM3 waar een watertemperatuur randvoorwaarde voor is opgegeven (te vinden in het modelbestand BoundaryConditions.bc). Opgesplitst naar type randvoorwaarden betreft dit:

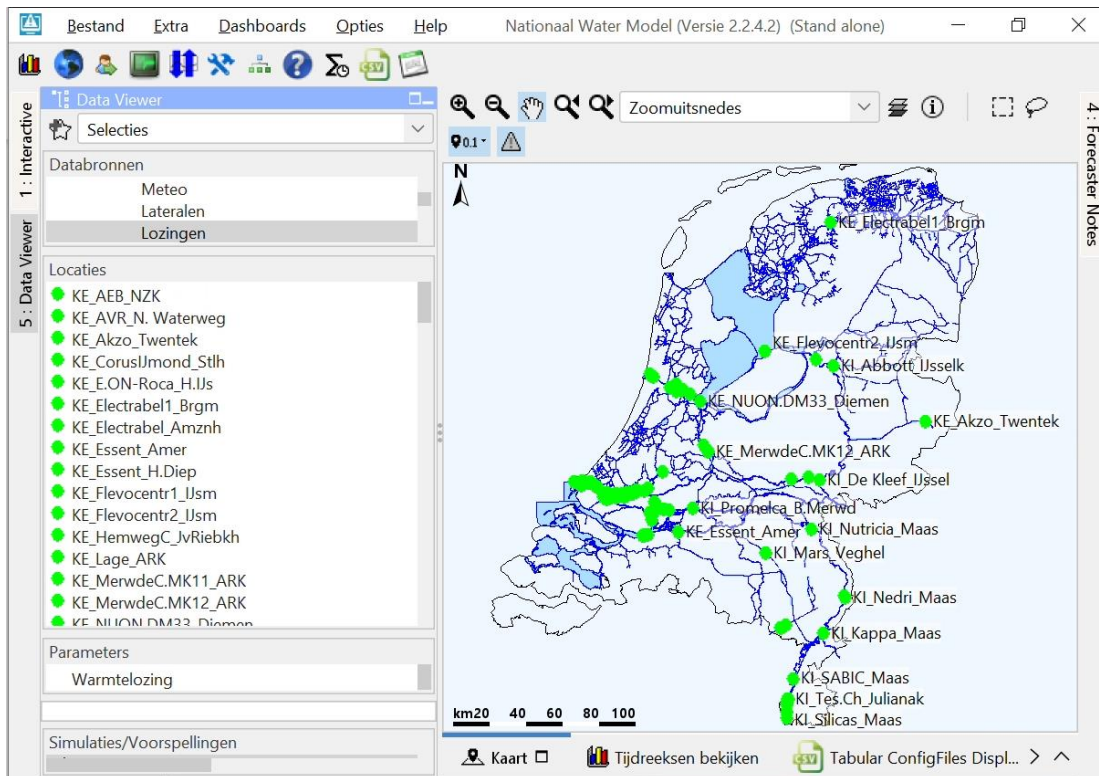
- 44 locaties type [Boundary], waarvan:
 - 3 rivierranden (Lobith, Rijn; Eijsden, Maas; en Emlichheim, Overijsselse Vecht);
 - 3 kleinere rivieren (Boven Mark, Dommel bij Eindhoven, Dommel bij 's-Hertogenbosch);
 - 35 Noordzeeranden;
 - 1 locatie voor de meteorologie forcering;
 - 1 waterstandsrand bij Bathsluis;
 - 1 onttrekkingslocatie bij het Albertkanaal (vanuit de Maas).
- 2615 locaties type [LateralDischarge], waarvan:
 - 3 rivierranden (Niers, Swalm, Roer);
 - 252 neerslag-/verdampingsknopen zijn (LatPrcp*/LatEvap*);
 - 130 warmtelozingslocaties zijn (KI_*/KE_*);
 - 2230 lateralen.

Om de randvoorwaarden klaar te zetten voor 2018 is uitgegaan van de methodiek die ook voor het LTM-light model is gehanteerd. Hiervoor zijn de volgende acties uitgevoerd:

- Meteorologische meetreeksen zijn voor een tiental KNMI stations (De Bilt, De Kooy, Eelde, Eindhoven, Leeuwarden, Maastricht, Rotterdam, Schiphol, Twente, Vlissingen) gedownload via <https://daggegevens.knmi.nl/klimatologie/uurgegevens> voor de periode van 1 dec 2017 t/m 1 januari 2019;
- Watertemperatuur meetreeksen zijn voor een 13-tal locaties opgevraagd en gedownload via <https://waterinfo.rws.nl/#!/nav/bulkdownload/periode-selectie/> voor de periode van 1 dec 2017 t/m 1 januari 2019;
- Correctie (verwijderen uitbijters) van de 'Ongecontroleerde' watertemperatuur meetreeksen uit waterinfo voor de 3 tijdreeksen die als randvoorwaarde voor het model zijn gebruikt (Lobith, Eijsden en Hoek van Holland);
- De verschillende meteorologische en watertemperatuur tijdreeksen zijn gekoppeld aan de LSM3 locatie-id's met behulp van Delft-FEWS en de daarin geïntegreerde Dimr-adapter (LSM3 kan m.b.v. van de Deltares Integrated Model Runner (DIMR) aangestuurd worden); en
- De BoundaryConditions.bc is aangepast zodat een tijdsafhankelijke watertemperatuur forcering kan worden opgedrukt voor alle locaties (i.p.v. een constante watertemperatuur van 12°C)

1.2.1.1 Warmtelozingen

Er zijn 130 warmtelozingen opgenomen in de LSM3 schematisatie, zie Figuur 1.

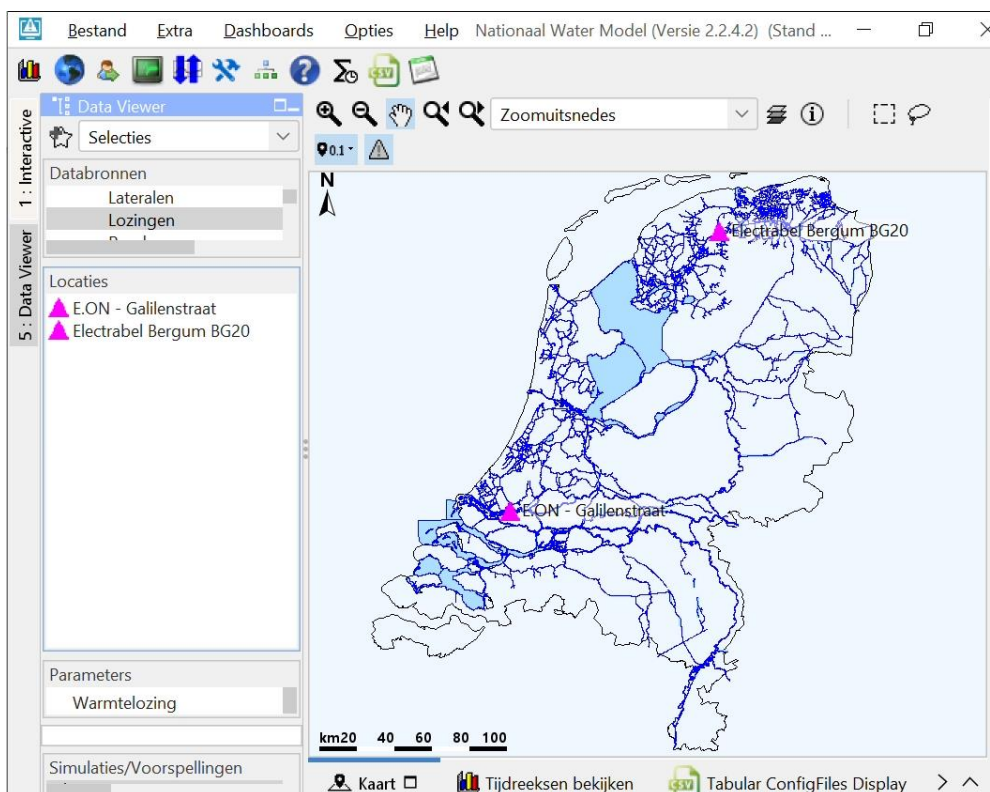


Figuur 1 Warmtelozingslocaties aanwezig in het LSM3.

In vergelijking met het LTM-light model ontbreken er 49 locaties. In onderstaande tabel is de reden hiervan aangegeven. De twee locaties KE_E.ON_Keileh en KE_Electrabel2_Brgm die onderdeel zijn van het LTM-light model en een warmtelast hebben groter dan 0 MW zijn getoond in Figuur 2.

Warmtelozings ID	Praktijk	Reden van ontbreken in LSM3
KI_Dow_Terneuzen	0	locatie in Zeeland (buiten schematisatie LTM-light)
KE_EPZ_Conv_Borssele	0	locatie in Zeeland (buiten schematisatie LTM-light)
KE_Sloe_Vlissingen	0	locatie in Zeeland (buiten schematisatie LTM-light)
KI_Yara1_Sluiskil	0	locatie in Zeeland (buiten schematisatie LTM-light)
KI_Yara2_Sluiskil	0	locatie in Zeeland (buiten schematisatie LTM-light)
KI_ThermPh1_Vlissingen	0	locatie in Zeeland (buiten schematisatie LTM-light)
KI_ZAC1_Vlissingen	0	locatie in Zeeland (buiten schematisatie LTM-light)
KI_Invista_Vlissingen	0	locatie in Zeeland (buiten schematisatie LTM-light)
KI_Heros_Terneuzen	0	locatie in Zeeland (buiten schematisatie LTM-light)
KI_ZAC2_Vlissingen	0	locatie in Zeeland (buiten schematisatie LTM-light)
KI_Rosier_S. van Gent	0	locatie in Zeeland (buiten schematisatie LTM-light)
KI_ThermPh2_Vlissingen	0	locatie in Zeeland (buiten schematisatie LTM-light)
KE_EPZ_Kern_Borssele	0	locatie in Zeeland (buiten schematisatie LTM-light)
KI_Cargill_Sas	0	locatie in Zeeland (buiten schematisatie LTM-light)
KI_Friesland Campina te Veghel	20	Niet opgenomen in LTM-light
KI_Tata Steel Nederland Tubes	3.96	Niet opgenomen in LTM-light
KI_AGC_Gemeenteh	0	Warmtelozing = 0 MW
KI_Air Liq_Britttnh	0	Warmtelozing = 0 MW
KI_Biopetrol_Botlkh	0	Warmtelozing = 0 MW
KE_C.Gelderlnd_Waal	0	Warmtelozing = 0 MW
KE_Centrale_IJssel	0	Warmtelozing = 0 MW

Warmtelozings ID	Praktijk	Reden van ontbreken in LSM3
KE_Clauscentrale_Ms	0	Warmtelozing = 0 MW
KE_CorusVelsen_Stlh	0	Warmtelozing = 0 MW
KE_DongeC_Geertrdnb	0	Warmtelozing = 0 MW
KI_Dura_N. Maas	0	Warmtelozing = 0 MW
KE_E.ON_Edisonbaai	0	Warmtelozing = 0 MW
KE_E.ON_Europah	0	Warmtelozing = 0 MW
KE_E.ON_Keileh	160	Onbekend
KE_Electrabel2_Brgm	267	Bergum heeft 2 units BG10 en BG20, maar 1 overgenomen
KE_Enecogen_Beerk	0	Warmtelozing = 0 MW
KE_Flevocentr_IJsm	0	Warmtelozing = 0 MW
KI_Friesland_Twentk	0	Warmtelozing = 0 MW
KI_GieterIJ_IJssel	0	Warmtelozing = 0 MW
KI_Huntsmn_Brittn.h	0	Warmtelozing = 0 MW
KI_Keppel_N. Watrwg	0	Warmtelozing = 0 MW
KE_NUON.DM34_Diemen	0	Warmtelozing = 0 MW
KE_NUON_Maas	0	Warmtelozing = 0 MW
KI_Organic_Chemieh	0	Warmtelozing = 0 MW
KI_Ovako_Noord	0	Warmtelozing = 0 MW
KI_OVG_N. Maas	0	Warmtelozing = 0 MW
KI_Padmos_Haringvlt	0	Warmtelozing = 0 MW
KI_Rdam_GW_N. Maas	0	Warmtelozing = 0 MW
KI_Rdam_Wiltonh	0	Warmtelozing = 0 MW
KI_Schouten_Afg. Ms	0	Warmtelozing = 0 MW
KI_van Brink_Waalh	0	Warmtelozing = 0 MW
KE_VelsenC.V24_bnnk	0	Warmtelozing = 0 MW
KI_Vestia_Voorh	0	Warmtelozing = 0 MW
KI_Vogelenz_NdrriJn	0	Warmtelozing = 0 MW
KE_Essent_Amer/Dong	0	Warmtelozing = 0 MW

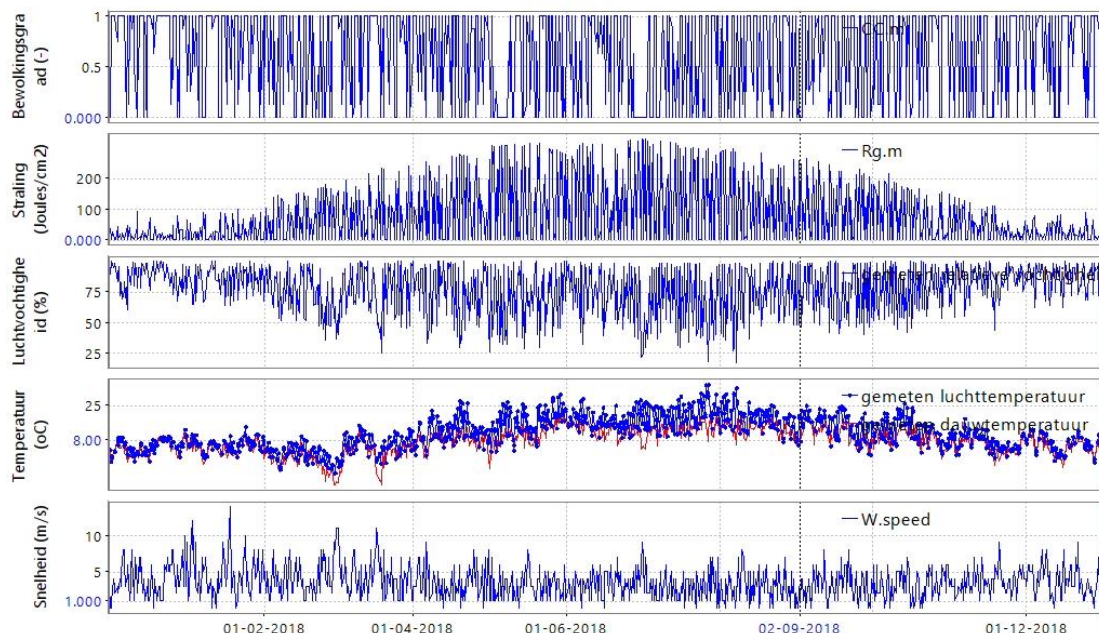


Figuur 2 Warmtelozingslocaties in LTM-light die ontbreken in LSM3 waar een warmtelast >0MW op staat; E.ON – Gallienstraat = KE_E.ON_Keileh, Electrabel Bergum BG20 = KE_Electrabel2_Brgm.

1.2.1.2 Meteorologie

Voor de benodigde meteorologische variabelen (*wind_speed*, *wind_from_direction*, *air_temperature*, *humidity*, en *cloudiness*) is een KNMI meetreeks opgedrukt. In de BC (Boundary Conditions) bestand van Sobek3 kan maar 1 locatie voor de meteorologische forcering worden opgelegd (*model_wide*). Naar aanleiding van deze studie is een software ontwikkeling uitgevoerd om ook ruimtelijke velden op te kunnen leggen in Sobek3. Dit is vanaf SOBEK 3.7.26 mogelijk via NetCDF-bestanden. Door gebruik te maken van 10 KNMI stations zijn de ruimtelijk variërende meteorologische velden samengesteld (op basis van 'closest distance'), welke als randvoorwaarde op het LSM3 zijn opgedrukt.

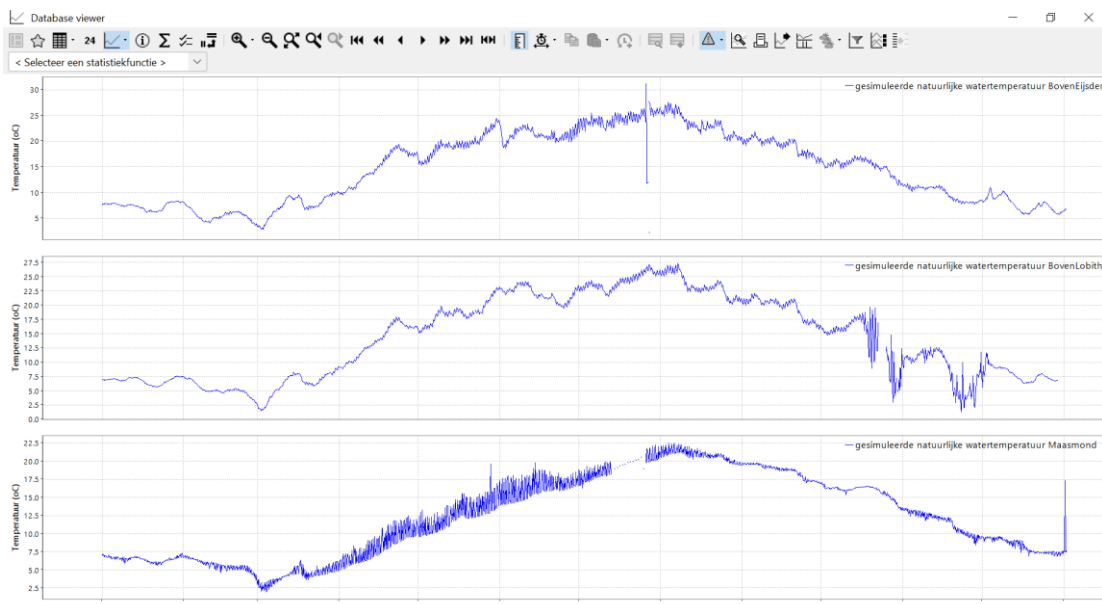
De Bilt



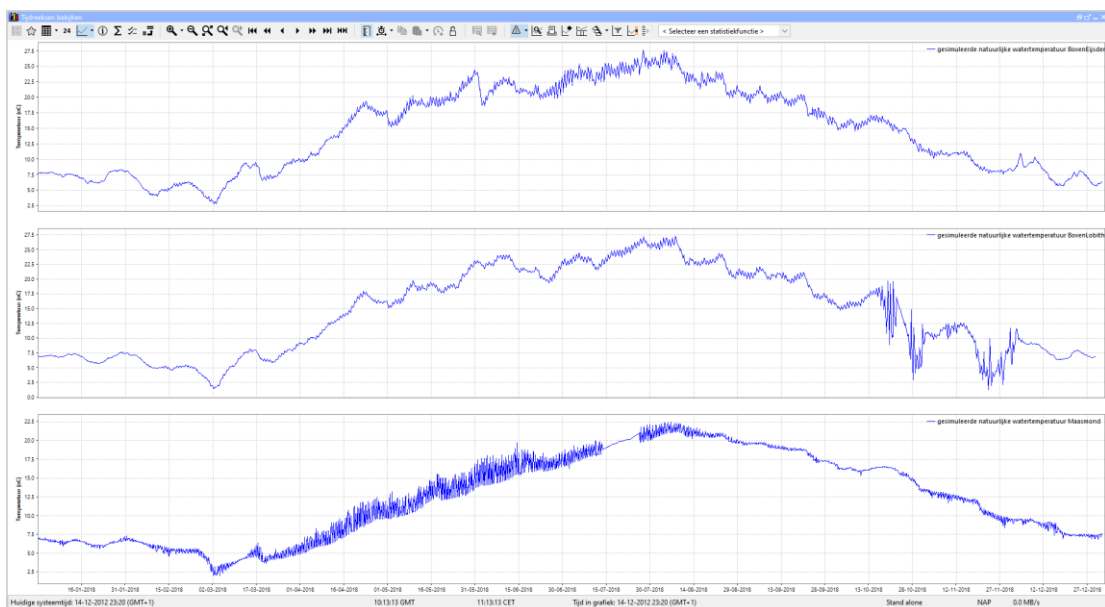
Figuur 3 Meteorologische meetreeksen die als randvoorwaarde zijn opgedrukt op het model; hier is 1 van de 10 locaties (De Bilt) getoond als voorbeeld.

1.2.1.3 Rivier- en Noordzeeranden

Voor de modelranden zijn de meetreeksen afkomstig uit Waterinfo (Figuur 4) gebruikt na een minimale correctieslag om de grootste uitbijters uit de reeksen te verwijderen en te vervangen door geïnterpoleerde waarden (Figuur 5). De gemeten watertemperatuur bij Lobith (LOBHVN) is gebruikt voor de modelranden Lobith en Emlichheim. De gemeten watertemperatuur bij Eijsden (EIJSPNTN) is gebruikt voor de modelranden Eijsden en rivieren waarvoor we geen metingen hebben en waarvan we veronderstellen dat de karakteristiek met de Maas overeen komt: Bathsluis, Boven Mark, en de twee randen voor de Dommel. De gemeten watertemperatuur bij Hoek van Holland (HOEKVHLD) is gebruikt voor alle 35 Noordzeeranden.



Figuur 4 Ongecontroleerde meetreeksen voor locaties Eijsden (boven), Lobith (midden) en Hoek van Holland zoals beschikbaar in Waterinfo.



Figuur 5 Gecorrigeerde en geïnterpoleerde tijdreeksen voor Eijsden, Lobith en Hoek van Holland.

In Figuur 5 is voor locatie Lobith te zien dat de gemeten watertemperatuur vanaf half oktober 2018 sterke korte termijn variaties vertoont. De verklaring daarvoor is dat de waterniveaus onder de 7m zakken waardoor de sensor kennelijk luchttemperatuur registreert in plaats van watertemperatuur. De watertemperatuur van Lobith is dus vanaf 17 okt 2018 ongeschikt om het model mee te forceren. Voor de validatie hebben we daarom deze periode buiten beschouwing gelaten.

1.2.1.4 Lateralen en neerslag-knopen

De watertemperatuur voor de LSM3 lateralen zijn bepaald op basis van verschillende regio's die middels een bakjesmodel (zoals ook gebruikt in LTM-light) zijn gesimuleerd; 1 bakje per KNMI station, zie Tabel 1 / Figuur 6.

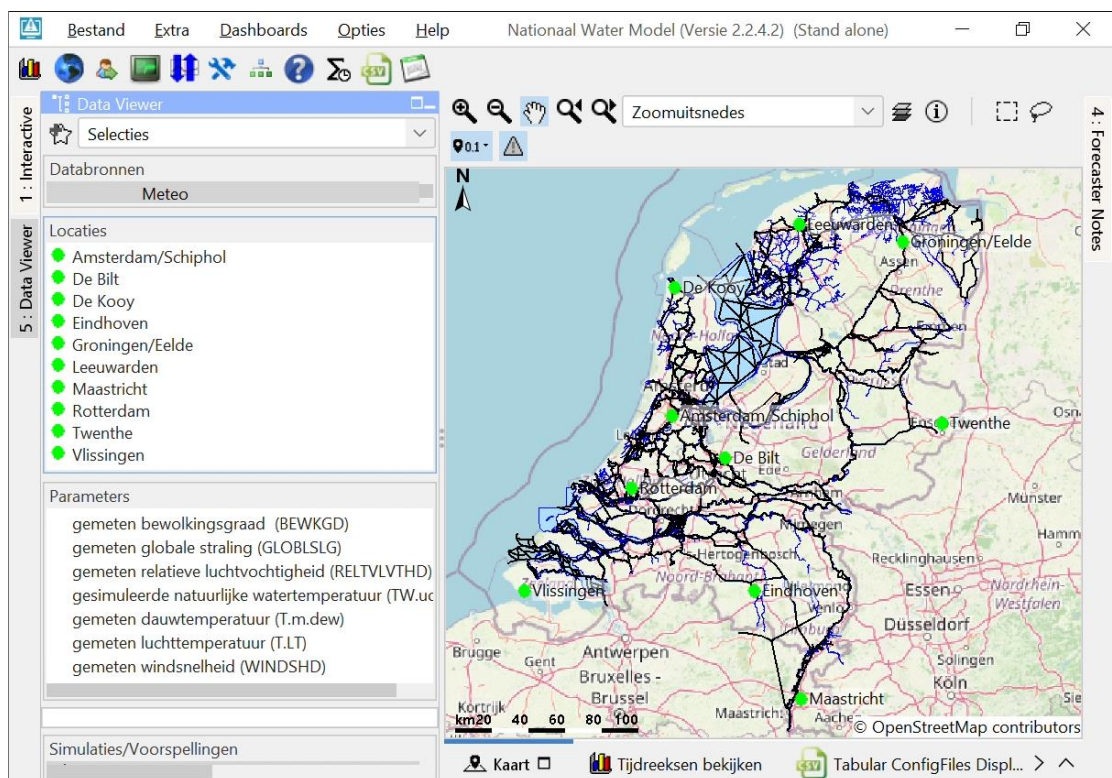
Met behulp van de 'closest distance'-methode zijn de LSM3 lateralen opgedeeld in tien regio's (gelinkt aan de tien KNMI stations), en daarmee gekoppeld aan de regionale bakjes.

Tabel 1 Tien KNMI stations waarvoor in het bakjesmodel een apart bakje is gebruikt

STN	LON(east)	LAT(north)	ALT(m)	NAME
#235	4.781	52.928	0.50	DEKOOY
#240	4.790	52.318	-4.40	SCHIPHOL
#260	5.180	52.100	2.00	DEBILT
#270	5.752	53.224	1.50	LEEWARDEN
#280	6.58	53.12	3.2	EELDE
#290	6.891	52.274	34.50	TWENTHE
#310	3.596	51.442	8.00	VLISSINGEN
#344	4.447	51.962	-4.80	ROTTERDAM
#370	5.377	51.451	20.30	EINDHOVEN
#380	5.762	50.906	114.00	MAASTRICHT

De rivieranden Niers, Swalm en Roer zijn ook op deze manier meegenomen, d.w.z. dat de berekende watertemperatuur voor het meest dichtbijgelegen bakje is gebruikt, in dit geval Maastricht of Eindhoven.

De neerslag-knopen zijn ook met behulp van de 'closest distance'-methode gekoppeld aan de tien KNMI stations, maar in plaats van de gesimuleerde watertemperatuur uit het bakjesmodel is hier de gemeten dauwpunttemperatuur van de KNMI stations opgedrukt. De dauwpunttemperatuur is realistischer dan de luchttemperatuur omdat dit de temperatuur is waarbij de lucht met waterdamp verzadigd is. De benadering is gelijk aan LTM-light.



Figuur 6 De tien KNMI stations (groene punten) geprojecteerd op het LSM3 netwerk (zwarte lijnen).

1.2.2 Meetgegevens validatie

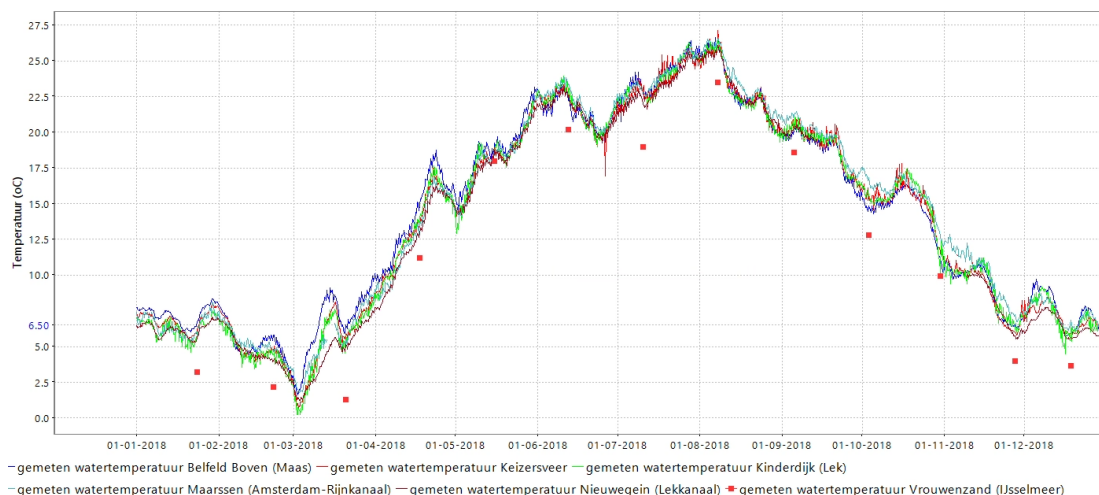
Via <https://waterinfo.rws.nl/#!/nav/bulkdownload/periode-selectie/> zijn voor 14 locaties meetreeksen aangevraagd voor de periode 01-12-2017 t/m 01-01-2019.

- BELFBVN (Belfeld boven) – validatie;
- EIJSPTN (Eijsden ponton) – randvoorwaarde;
- HARVSS (Haringvlietsluizen) - niet gebruikt;
- HOEKVHLD (Hoek van Holland)- randvoorwaarde;
- KAMPN (Kampen) - niet gebruikt;
- KEIZVR (Keizersveer) – validatie;
- KINDDLKOV (Kinderdijk aan de Lek) – validatie;
- LOBHVN (Lobith haven) – randvoorwaarde;
- LOBPTN (Lobith ponton) - niet gebruikt;
- MAARSSN (Maarssen) – validatie;
- MARKMDN (Markermeer midden) - niet gebruikt;
- NIEUWGN (Nieuwegein) – validatie;
- VELWMDN (Veluwerandmeren) - niet gebruikt;
- VROUWZD (Vrouwezand, IJsselmeer) – validatie.



Figuur 7 Overzicht van watertemperatuur locaties beschikbaar via Waterinfo. De 14 locaties waarvoor meetreeksen zijn aangevraagd zijn in geel weergegeven.

Van deze 14 locaties (zie Figuur 7) zijn er 3 gebruikt als modelrandvoorwaarde (EIJSDPTN, LOBHVN en HOEKVHLD) en 6 andere locaties voor de validatie. De overige 5 locaties zijn niet gebruikt omdat deze een zeer lage (in de winter maandelijks, in de zomer 2-wekelijks) meetfrequentie hebben. Vrouwezand (met ook een lage meetfrequentie) is wel meegenomen in de analyse omdat dit een interessante locatie is om de modelresultaten aan te toetsen, omdat dit een soort ijklocatie is, waar de invloed van warmtelozingen nagenoeg verwaarloosbaar is en een goed inzicht verkregen kan worden in de opbouw van de stralingsbalans. Het valt op dat alle vijf de validatie locaties die continu bemeten worden een aanzienlijk hogere watertemperatuur hebben dan Vrouwezand (2 °C). Mogelijke verklaringen zijn: (1) het meest noordelijk gelegen meetpunt is het koudst, (2) thermische verontreinigingen beïnvloeden de continue bemeten locaties (wat in ieder geval niet onwaarschijnlijk is voor de Maas en de kanalen), (3) verschil in meettechniek of meetdiepte (4) meer openwater verdamping op het IJsselmeer.



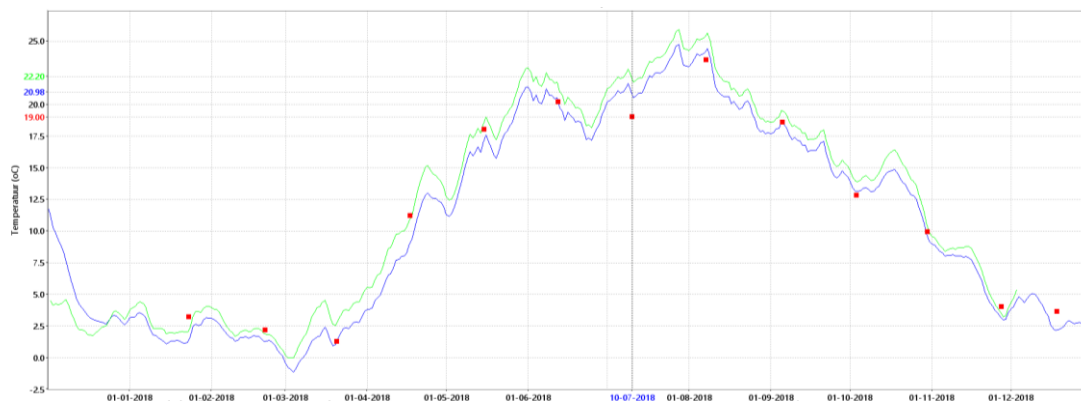
Figuur 8 De zes meetlocaties die gebruikt zijn om het watertemperatuur model in LSM3 te valideren; voor het IJsselmeer (rode vierkant) is de meetfrequentie van circa 4 wekelijks een stuk lager dan voor de andere stations (1x per 10 minuten).

2 Resultaat

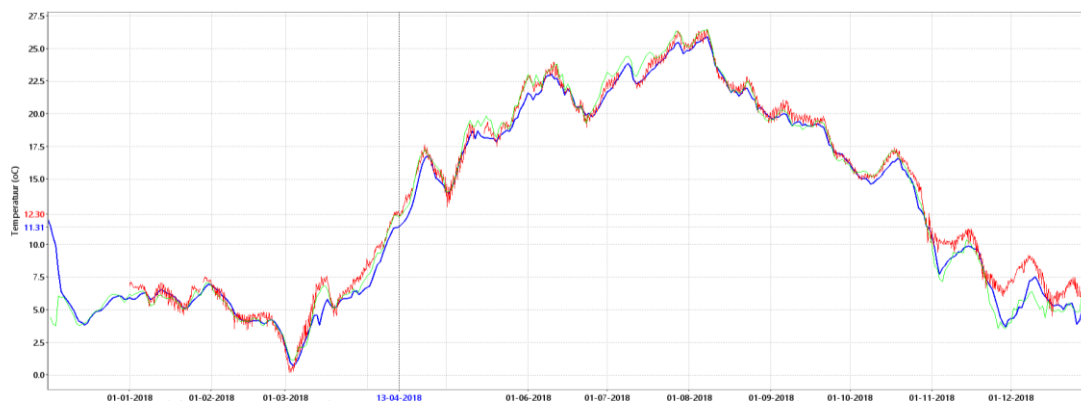
2.1 Watertemperatuur LSM3 vs. metingen

In onderstaande figuren wordt de door LSM3 gesimuleerde watertemperatuur vergeleken met metingen op zes locaties. Voor locatie IJsselmeer (Vrouwezeand) zijn minder frequente ('s winters maandelijks, 's zomers twee wekelijks) metingen beschikbaar, voor de andere locaties continue metingen. De waterdiepte waarop de continue metingen plaatsvinden is ons onbekend. Locatie IJsselmeer is relevant omdat de uitwisseling met de atmosfeer de dominante factor is voor de watertemperatuur. Daarmee is de locatie geschikt om dit onderdeel van het instrument te valideren. Bovendien is in het verleden [4,5] voor deze locatie aangetoond (voor periode 2001-2004) dat het temperatuurmodel van LTM-light en Delft3D (de basis voor LSM3) goed presteren [5]. Op de overige locaties wordt de watertemperatuur mede beïnvloed door de bijdrage vanuit de randen, lateralen en lozingen.

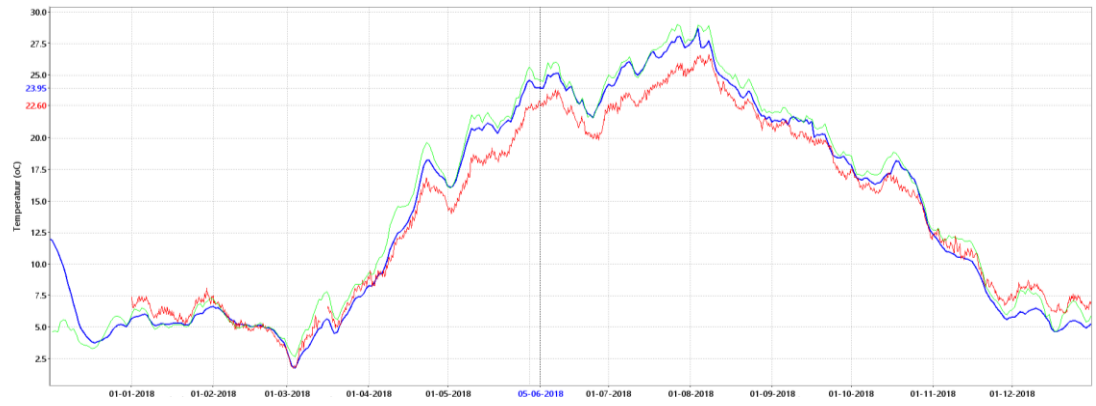
LSM3 volgt de jaarlijkse variatie (amplitude, timing) voor alle locaties goed. De overeenkomst op basis van grafische beoordeling is goed voor IJsselmeer, Lek en Lekkanaal (Figuur 9, Figuur 10 en Figuur 12). Voor de twee locaties in de Maas zien we in de zomer een goede fit en in het winterhalfjaar een structurele onderschatting van de metingen van 0.5 á 3.5°C (Figuur 13 en Figuur 14). Voor ARK (Figuur 11) zien we een structurele overschatting in de zomermaanden tot maximaal 2.5°C (een overschatting die we ook in het LTM-light terugzien).



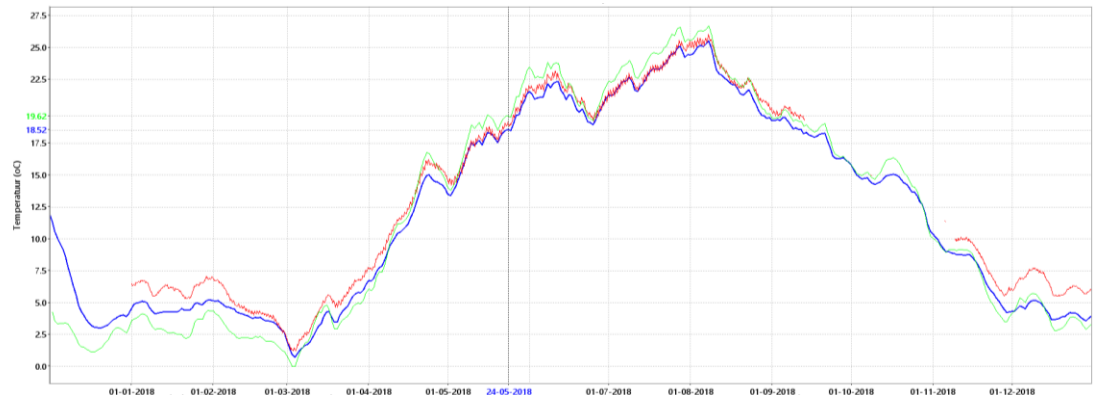
Figuur 9 Gemeten (rode vierkanten) en gesimuleerde (groen=LTM-light, blauw=LSM3) watertemperatuur (°C) voor locatie IJsselmeer (Vrouwezeand).



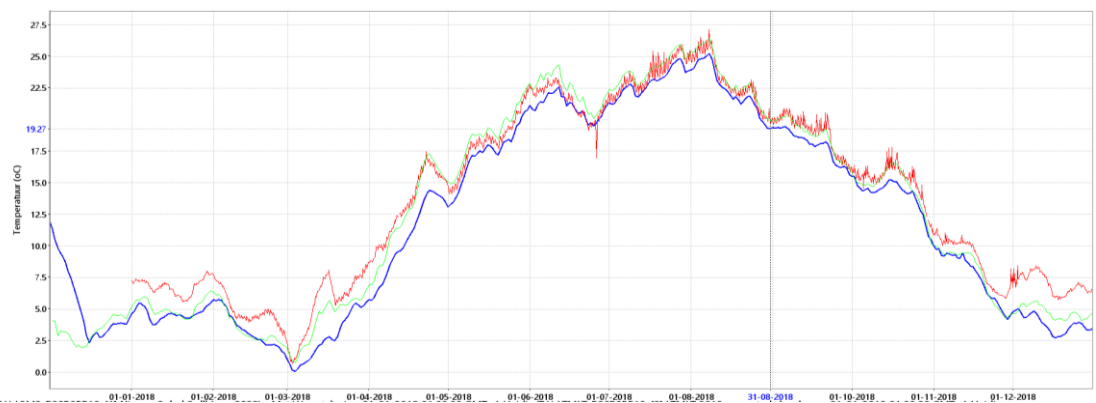
Figuur 10 Gemeten (rode lijn) en gesimuleerde (groen=LTM-light, blauw=LSM3) watertemperatuur (°C) voor locatie Lek (Kinderdijk)



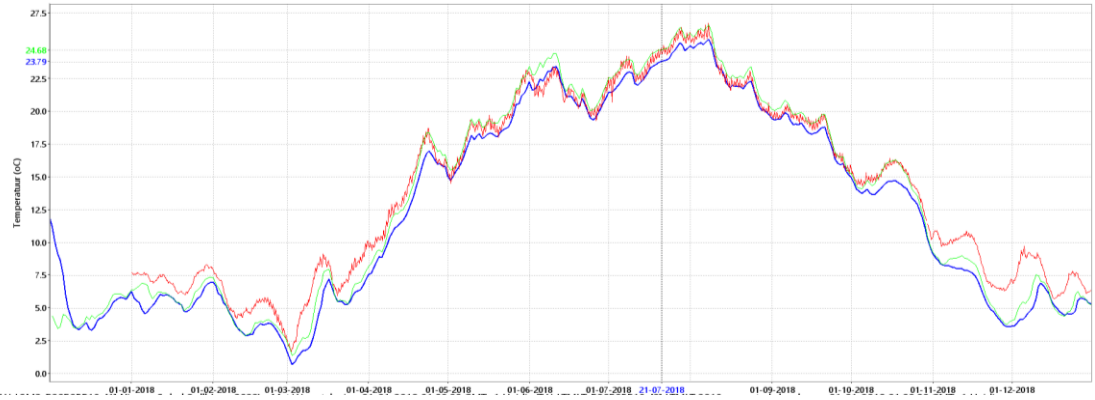
Figuur 11 Gemeten (rode lijn) en gesimuleerde (groen=LTM-light, blauw=LSM3) watertemperatuur (°C) voor locatie Amsterdam Rijnkanaal (Maarsse)



Figuur 12 Gemeten (rode lijn) en gesimuleerde (groen=LTM-light, blauw=LSM3) watertemperatuur (°C) voor locatie Lekkanaal (Nieuwegein)



Figuur 13 Gemeten (rode lijn) en gesimuleerde (groen=LTM-light, blauw=LSM3) watertemperatuur (°C) voor locatie Bergse maas (Keizersveer)

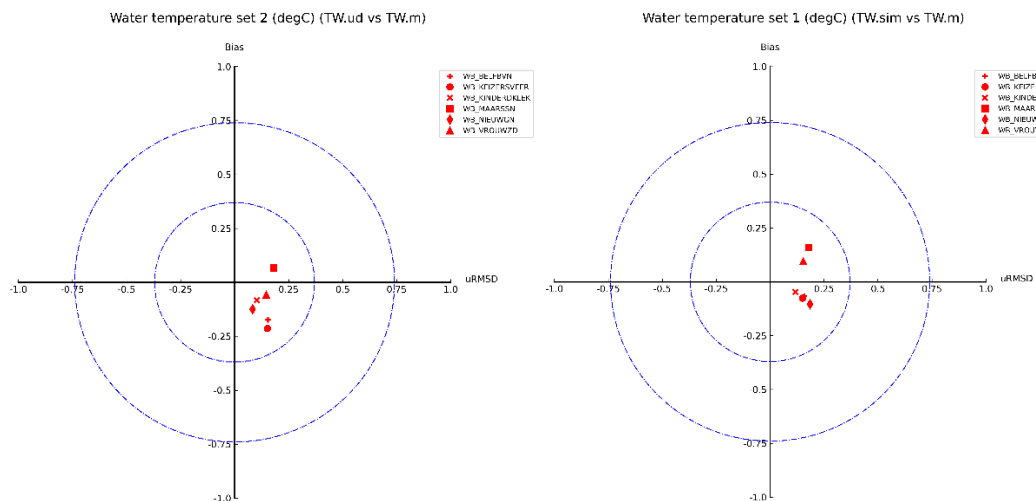


Figuur 14 Gemeten (rode lijn) en gesimuleerde (groen=LTM-light, blauw=LSM3) watertemperatuur (°C) voor locatie Maas (Belfeld boven)

Figuur 15 laat met een target diagram zien dat beide modellen (LTM-light en LSM3) een goede performance hebben. LSM3 (links) heeft t.o.v. LTM-light (rechts) wat meer negatieve bias terwijl de spreiding gelijkwaardig is. Voor locaties Vrouwezand en Maarssen presteert LSM3 wat beter, voor de Maas (Belfeld en Keizersveer) onderschat LSM3 de te temperatuur meer dan LTM-light.

Target diagram: op twee assen staat de genormaliseerde afwijking tussen model simulatie (M) en (veld)meting (O) zien. Zowel bias (y-as) als de rmsd (x-as) zijn gedeeld door de standaardafwijking van de observaties (dus genormaliseerd). Bias is een maat voor structurele afwijking (gemiddelde van model minus gemiddelde van observaties) en rmsd is het gemiddelde van het verschil tussen de residuen (individuele data min hun gemiddelde) van model en observaties, een maat voor de spreiding van de afwijking. Waarden buiten de (niet getoonde) cirkel door de maximale as-waarden (± 1) zijn "slecht". Waarden binnen de grootste cirkel (0.74) zijn "goed" [15], hoe dichterbij het centrum van het diagram hoe beter model en observaties overeenkomen.

Positieve waarden van de bias geeft aan dat model gemiddeld hoger is dan de observaties, een positieve rmsd geeft aan dat de standaardafwijking van het model groter is dan die van de metingen.



Figuur 15 Prestatie van LSM3 (links) en LTM-light (rechts) ten op zichten van de metingen (de zes locaties in figuren 9 t/m 14) voor het jaar 2018.

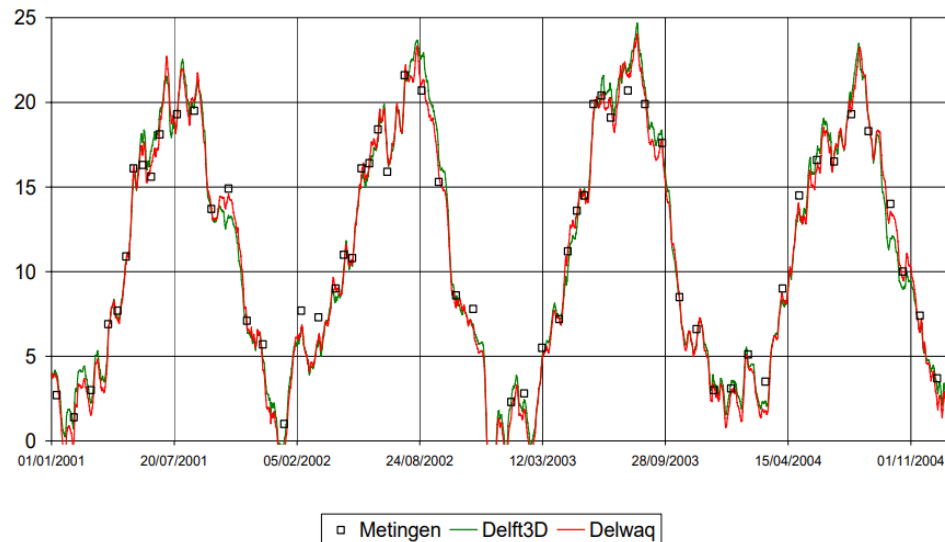
Het relatief grote verschil tussen gemeten watertemperatuur op locatie Vrouwezand (IJsselmeer) de andere meetlocaties zoals geconstateerd in 1.2.2 (Figuur 8) wordt netjes door de modellen gereproduceerd. Dat betekent dat meteorologie en warmtelozingen het verschil verklaren.

2.2 LSM3 vs. LTM-light

2.2.1 Watertemperatuur op meetlocaties

Voor de vergelijking maken we gebruik van dezelfde figuren als in paragraaf 2.1 (Figuur 9 t/m Figuur 14).

In vergelijking met LTM-light presteert LSM3 voor locaties IJsselmeer (Figuur 9), Lek (Figuur 10) en Lekkanaal (Figuur 12) vergelijkbaar ten opzichte van de metingen, waarbij LSM3 vrijwel altijd iets lagere watertemperaturen berekent dan LTM-light (die wat aan de hoge kant zat). Het valt op dat voor deze locaties de opwarming in de periode april-juni in LSM3 trager verloopt dan in LTM-light waardoor LSM3 de metingen ook enigszins onderschat in die periode. Als referentie is in Figuur 16 de prestatie van het Landelijk temperatuurmodel [4, 5] weergegeven. Het is opvallend dat het verschil van de twee verschillende stralingsmodellen (Delwaq en Delft3D, ingebouwd in Delwaq) destijds heel gering was. Bij het huidige verschil tussen LTM-light en LSM3 valt op dat LSM3 structureel lagere watertemperaturen berekent.

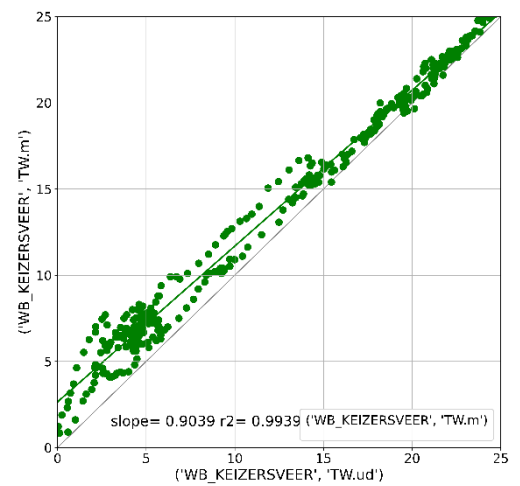
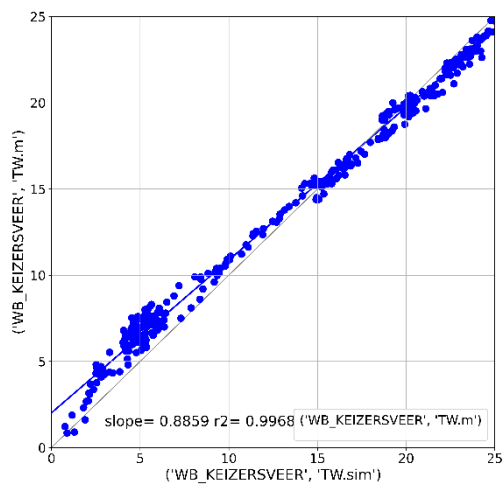
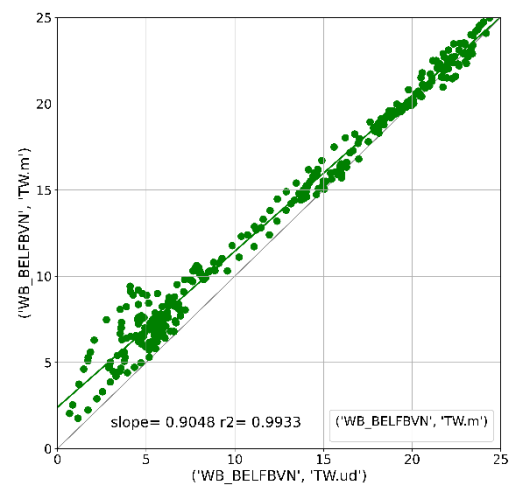
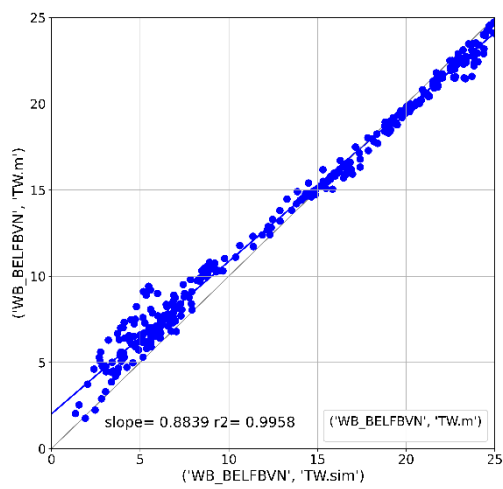
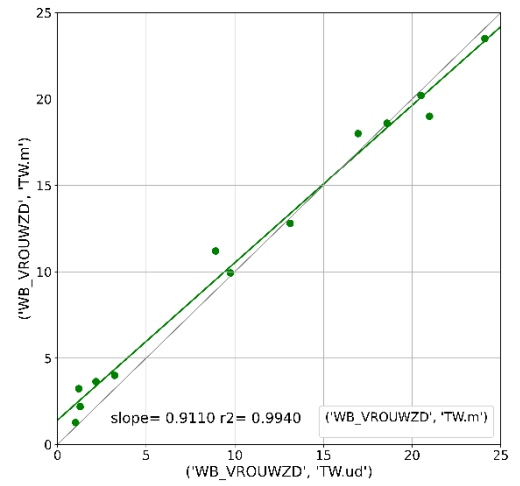
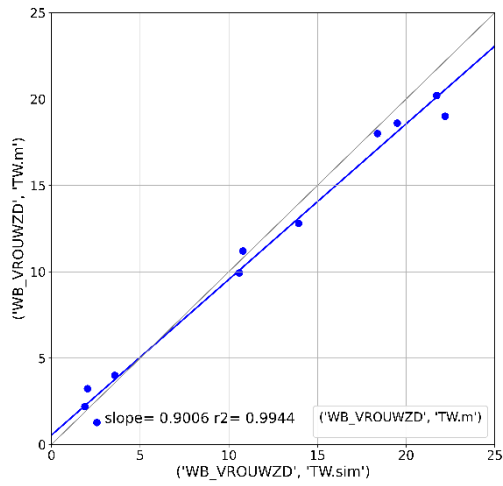


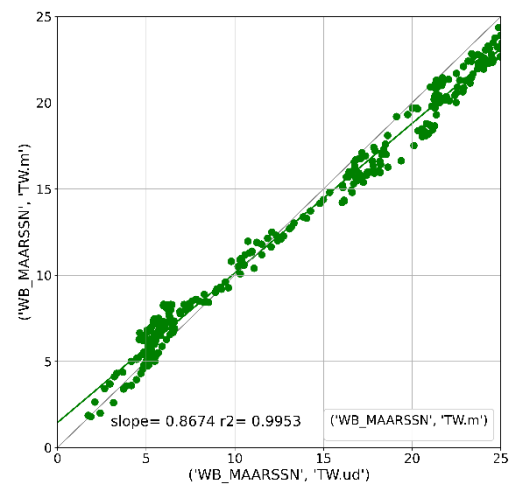
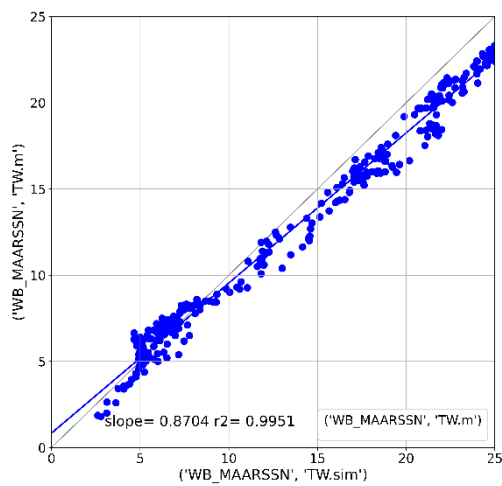
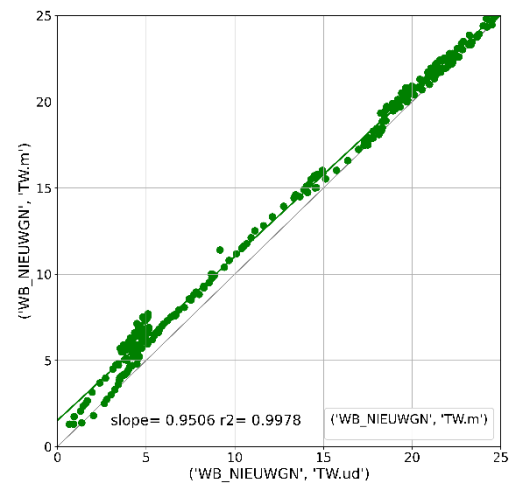
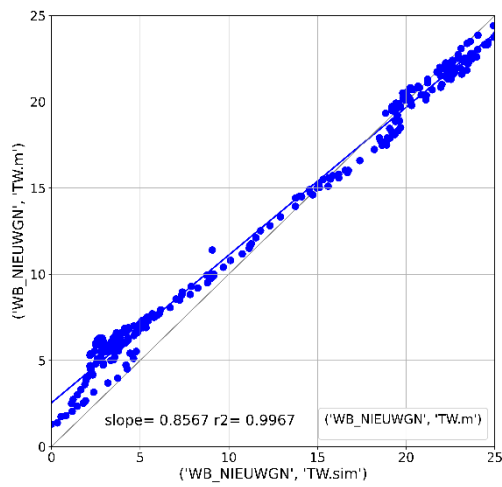
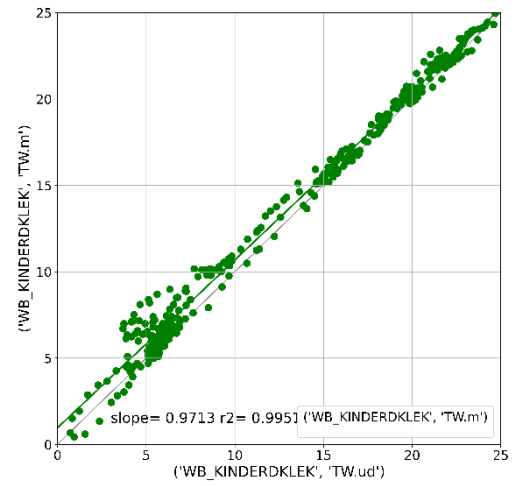
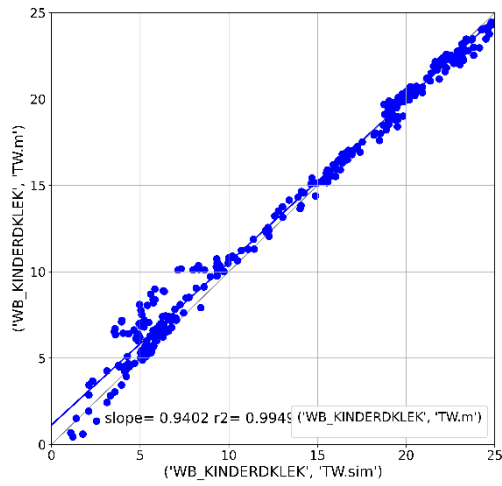
Figuur 16 Prestatie van LTM voor locatie IJsselmeer [5] in de periode 2001-2004.

Voor het Amsterdam-Rijnkanaal zien we dat beide modellen de metingen overschatten in de zomerperiode, LTM-light nog iets meer dan LSM3.

Voor de locaties in de Maas berekent LSM3 lagere watertemperaturen dan LTM-light en presteert het LSM3 (zonder verdere kalibratie) net een beetje minder goed dan LTM-light.

Figuur 17 toont een vergelijking tussen metingen (y-as) en gemodelleerde watertemperatuur (x-as). Aan de hand van de helling van de trendlijn ('slope') is duidelijk te zien dat beide modellen LSM3 en LTM-light de neiging hebben om de lagere temperaturen te onderschatten. Voor de hogere (zomer) temperaturen presteren de modellen beter. Met een r^2 van 0.99 presteren beide modellen vergelijkbaar.





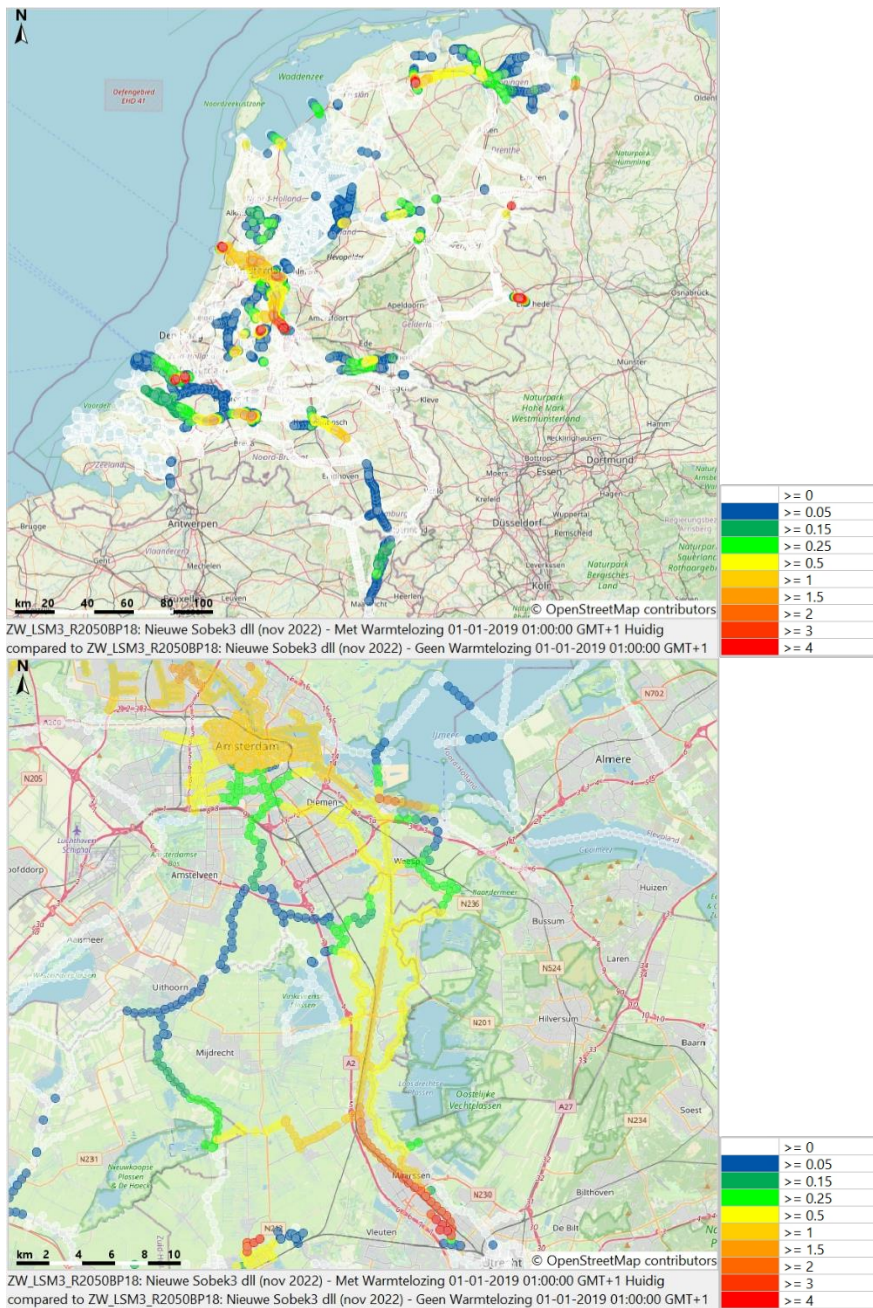
Figuur 17 Prestatie van LSM3 (rechts) en LTM-light (links) ten opzichte van metingen voor de zes meetlocaties in het jaar 2018

2.2.2 Bijdrage warmtelozingen

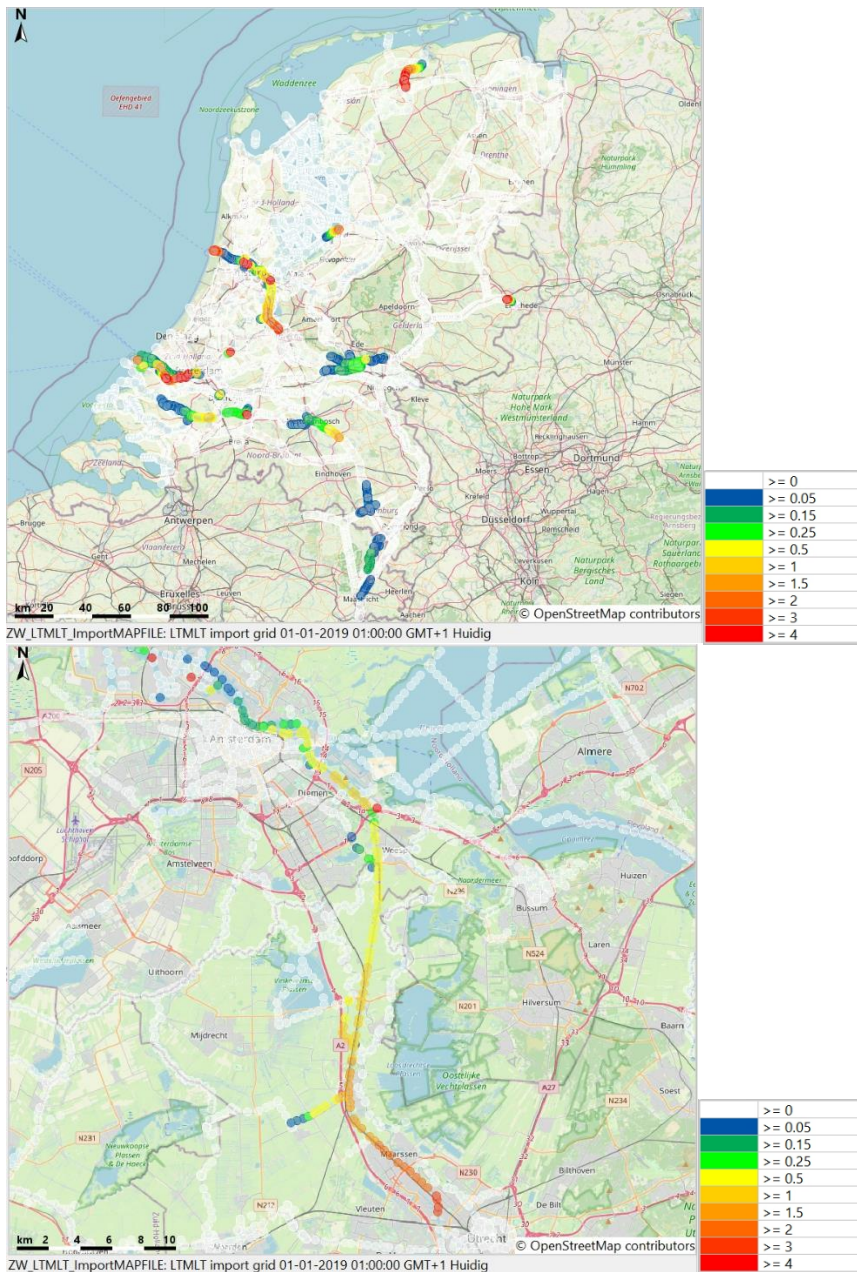
In deze paragraaf vergelijken we de bijdrage van de warmtelozingen aan de watertemperatuur in °C. Die bijdrage is in de buurt van (grote) warmtelozingen het grootst. In LTM-light is deze zogenaamde surplus temperatuur (positief voor warmtelozingen, negatief voor koude lozingen) direct beschikbaar. In LSM3 is de surplus temperatuur berekend uit het verschil van twee simulaties, de ene mét en de andere zónder de bijdrage lozingen. De resultaten zijn gepresenteerd in Figuur 18 (LSM3) en Figuur 19 (LTM-light).

De verspreiding van surplus warmte als gevolg van warmtelozingen is in LSM3 veel groter (wijdverspreider) dan in LTM-light, zichtbaar op zowel landelijke schaal als ook in het detail rondom het ARK waar het grachtenstelsel van Amsterdam in LSM3 tot 1°C opgewarmd is terwijl in LTM-light dat 0°C is.

De gebieden waar warmtelozingen invloed hebben zoals bijv. het Rotterdamse havengebied komt in beide modellen goed naar voren maar is in LSM3 minder intens (lagere waarden) maar heeft over een groot gebied invloed. De ingebrachte warmtelozingen zijn gelijk in beide modellen hoewel de lozingen in SOBEK2 en SOBEK3 technisch anders geïmplementeerd zijn. De verspreiding van de surplus temperatuur verschilt desondanks (zie Figuur 18 en Figuur 19). Dat is niet heel vreemd omdat de numerieke oplosschema's (van LSM3 en Delwaq) verschillen. Welk resultaat beter is, is niet op basis van metingen vastgesteld (is misschien mogelijk door op de meetlocaties ook de gemodelleerde surplus temperatuur te analyseren). In beginsel is de methode van LSM3 beter omdat in theorie de stroming door de temperatuur, en dus door de temperatuurlozing, wordt beïnvloedt. In LTM-light is dat niet het geval. Het is verstandig eerst naar de numerieke aspecten van LSM3 en LTM-light te kijken door bijv. een LSM3 conservatieve tracer met eenzelfde LTM-light-Delwaq tracer te vergelijken.

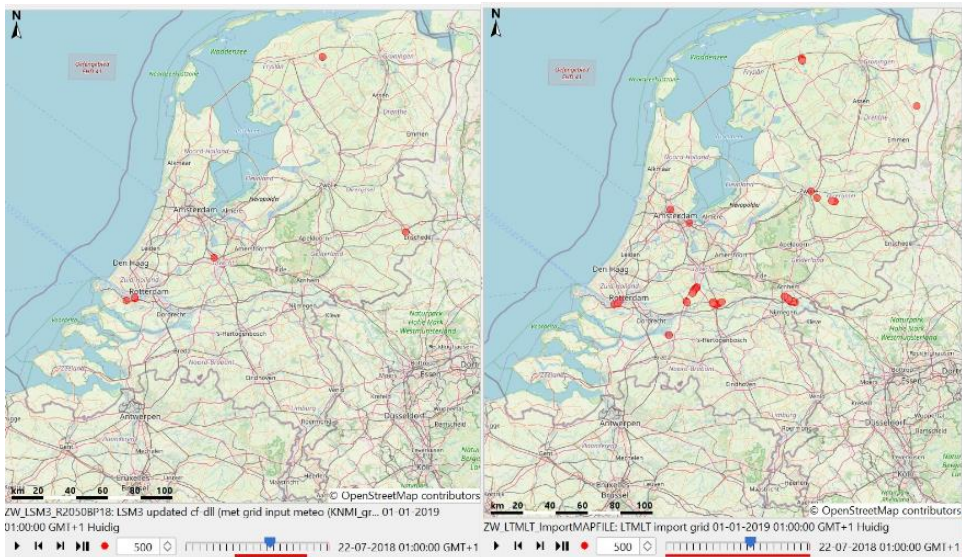


Figuur 18 Bijdrage van warmtelozingen aan de watertemperatuur (°C) in LSM3 op 1 juli 2018. Nationaal (boven): bekende locaties waar warmtelozingen bijdragen zichtbaar zijn: Rotterdamse havens, Amsterdam Rijnkanaal, Amersfoort en Bergum en regionaal detail voor ARK (beneden).



Figuur 19 Bijdrage van warmtelozingen aan de watertemperatuur (°C) in LTM-light op 1 juli 2018. Nationaal (boven): bekende locaties waar warmtelozingen bijdragen zichtbaar zijn: Rotterdamse havens, Amsterdam Rijkkanaal, Amercentrale en Bergum en regionaal detail voor ARK (beneden).

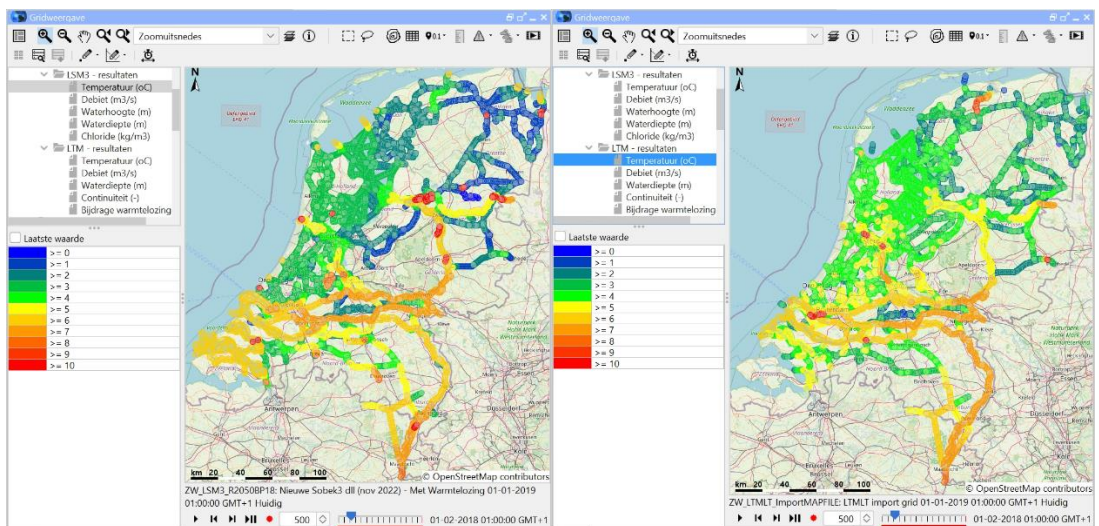
Een bekend issue in het LTM-light zijn de onrealistisch hoge temperaturen in de directe nabijheid van een aantal warmtelozingspunten. Door relatief kleine watervolumes van het ontvangende water kan de warmte last hier lokaal voor temperaturen zorgen die ruim boven de 40 graden Celsius liggen. In het LSM3 model komen ook watertemperaturen voor die de 40 graden Celsius overstijgen, maar dit zijn er een stuk minder (zie de vergelijking in Figuur 20).



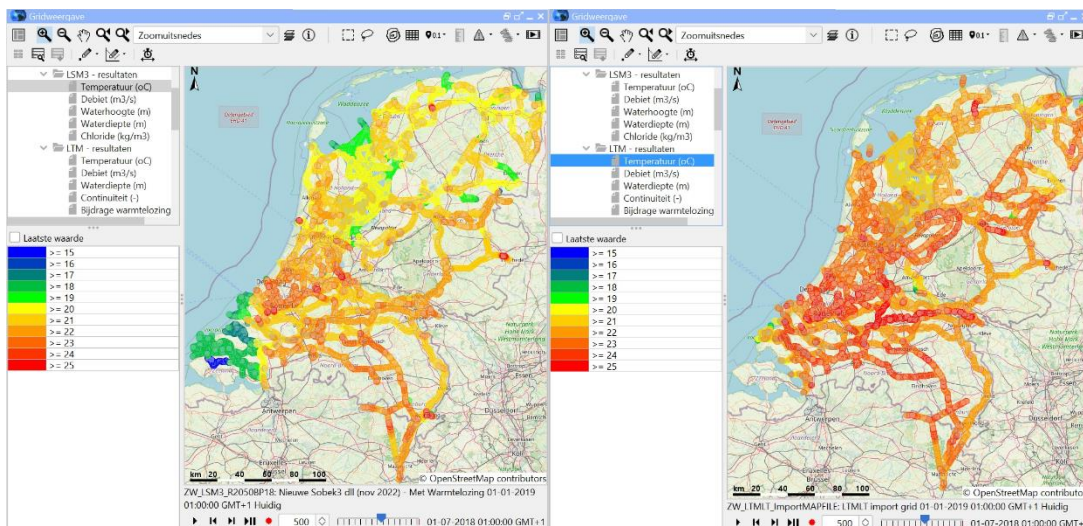
Figuur 20 Locaties in het LSM3 (links) en LTM-light (rechts) op 22 juli 2018 waar de berekende watertemperatuur (°C) de 40 graden Celsius overstijgt.

2.2.3 Overige verschillen LTM-light vs. LSM3

Figuur 21 en Figuur 22 geven een indruk van de ruimtelijke verschillen tussen de berekende temperatuur op twee momenten (winter en zomer). Op de modelranden (Rijn, Maas) zijn er geen verschillen, verschillen nemen voor de grote rivieren stroomafwaarts iets toe. In beide modellen springen de grote rivieren er duidelijk uit met koudere regionale wateren eromheen. Voor de regionale wateren is de berekende watertemperatuur in het LSM3 duidelijk lager dan in het LTM-light. Dit geldt in de zomer ook voor de grotere wateren. Voor de wateren met een hoger zoutgehalte (nabij of in de Noordzee en Waddenzee) zijn de watertemperaturen in de zomer duidelijk lager dan omliggende wateren. Dit zien we niet in het LTM-light waarin geen chlorideconcentraties worden berekend. In het LSM3 model zijn de watertemperaturen voor het Veerse Meer (Figuur 22, blauwe kleur in Zeeland) waarschijnlijk te laag als gevolg van een onrealistische waterdiepte van 100m.



Figuur 21 Watertemperatuur Winter (1 februari 2018), links LSM3, rechts LTM-light



Figuur 22 Watertemperatuur Zomer (1 juli 2018), links LSM3, rechts LTM-light

De Goodness of Fit indicatoren voor beide modellen zijn weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2: Statistieken van berekende watertemperaturen.

PERFORMANCE INDICATOR	LOCATIE	Belfeld boven (Maas)	Keizersveer (Bergse Maas)	Kinderdijk (Lek)	Maarsse (ARK)	Nieuwegein (Lekkanaal)	Vrouwezand (IJsselmeer)
	MODEL						
Correlatie coefficient (r^2)	LTM	0.992	0.994	0.990	0.991	0.994	0.989
	LSM3	0.987	0.988	0.990	0.991	0.996	0.988
Nash Sutcliffe coefficient (-)	LTM	0.971	0.972	0.984	0.943	0.955	0.968
	LSM3	0.946	0.931	0.982	0.963	0.978	0.975
Mean Absolute Error Normalised (-)	LTM	0.130	0.134	0.084	0.201	0.174	0.146
	LSM3	0.181	0.215	0.097	0.163	0.125	0.123

3 Conclusies en aanbevelingen

3.1 Conclusies

Het LSM3 watertemperatuur model berekent over het algemeen lagere watertemperaturen dan het LTM-light model, maar doet in vergelijking met de metingen niet onder voor de performance van het LTM-light. Met een beperkte kalibratie (van bijv. de Stanton/Dalton constanten) kan de performance van LSM3 waarschijnlijk iets verbeterd worden. De verspreiding van de surplus temperatuur als gevolg van warmtelozingen in LSM3 is significant verschillend van het LTM-light model. In beginsel is de methode van LSM3 beter omdat in theorie de stroming door de temperatuur, en dus door de temperatuurlozing, wordt beïnvloedt. Verder zijn het aantal locaties rondom een aantal warmtelozingen met extreem hoge temperaturen zijn beduidend minder in het LSM3 dan in het LTM-light model.

3.2 Suggesties voor vervolg

Op basis van het voorbereiden en controleren van de randvoorwaarden wordt het volgende sterk aanbevolen:

- De ontbrekende warmtelozingen toevoegen aan de LSM3 schematisatie (en nagaan of de toegepaste warmtelozingswaarden nog actueel zijn);
- Het bakjesmodel overzetten van SOBEK2 naar SOBEK3, zodat SOBEK2 uitgefaseerd kan worden;
- een beperkte kalibratie uit te voeren op temperatuurfit van de huidige locaties met gebruikmaking van deze Goodness of Fit, en bij voorkeur bij de kalibratie ook gebruik maken van gemeten evaporatie;
- de huidige locatieset uit te breiden met locaties in de Zeeuwse delta;
- de validatie set uit te breiden met gemeten openwaterverdamping en die te vergelijken met verdamping zoals door het temperatuurmodel berekend;
- voor wateren rond warmtelozingslocaties te onderzoeken of er in LSM3 realistische(re) resultaten worden berekend (in vergelijking met het LTM-light);
- (eventueel) naar de numerieke aspecten van LSM3 en LTM-light te kijken door bijv. een LSM3 conservatieve tracer met eenzelfde LTM-light-Delwaq tracer te vergelijken voor een grote wamtelozing en de laterale instromingen in de regionale wateren;
- Het nader onderzoeken van de actuele rekestijden door de rekenkern aanpassingen na de DIMRSET van 23 november 2021 na te lopen op implicaties voor de performance;
- Nagaan van de Rijnland inlaat en uitlaat en doorvoer bij Bodegraven in de niet-KWA perioden, zoals in Annex B is aangegeven

3.3 Overwegingen voor gebruik

De rekestijd van LSM3 is op het Windows Computational Facility (WCF) platform van Deltares (4 cores/16GB memory) ongeveer 9 uur. Deze rekestijd is iets langer in vergelijkbaar met LTM-light, waarbij de combinatie LSM-light en LTM-light op de SSC Campus rekenomgeving (2 cores/64GB memory) tussen de 4 uur 30 minuten en 5 uur bedraagt. Maar omdat in LSM3 tegelijkertijd ook chloride concentraties berekend, dat in de huidige NWM-modellentrein met het model NDB wordt berekend en waarvan de rekestijd ongeveer 1 uur bedraagt, is de verwachting dat het LSM3 iets langere rekestijden heeft dan de LSM-light – LTM-light – NDB modellentrein. Als de meteorologische variabelen niet als ruimtelijk veld worden opgedrukt kan de rekestijd worden teruggebracht. Echter, daarmee verdwijnt ook een deel van de ruimtelijke variabiliteit die wel wenselijk is in watertemperatuur modellering.

Voor gebruik in b.v. klimaatscenario studies waarin alleen meteorologie of warmtelozingen veranderen is geen mogelijkheid meer om de overhead van telkens opnieuw hydrologie te draaien te voorkomen.

Om de invloed van warmte- en of koudelozingen te kwantificeren moet een verschilberekening worden gemaakt (een berekening mét en een zónder de betreffende lozingen).

4 Referenties

- [1] Plan van Aanpak KPP2022 Hydraulica Schematisaties – versie 1.0.
- [2] Landelijk Sobek model LSM3, Update en verificatiesom 2018. Deltares rapport, december 2021. (11206813-016-ZWS-0009_v1.1-Landelijk Sobek Model LSM3_22dec.pdf)
- [3] Protocol van Overdracht LSM3 versie SOBEK-lsm3-j18_5-v5 dd. 23 december 2021, Deltares en RWS-WVL
- [4] Implementeren verbeteringen in het landelijk temperatuurmodel. WL|Delft Hydraulics. Boderie en Visser, november 2007. Rapport Q4421
- [5] Verificatie SOBEK landelijk temperatuurmodel. WL|Delft Hydraulics. Boderie, Meijers en Peñailillo oktober 2006. Rapport Q4161
- [6] SOBEK 3 Technical Reference Manual Hydrodynamics. SOBEK in Delta Shell Version: 3.
- [7] DWAQ Technical Reference Manual – Processes Library Description of Processes. Released for Delft3D FM Suite 2022 D-HYDRO Suite 2022 SOBEK Suite 3.7 WAQ Suite 2022 Version: 5.01. Deltares, May 2022.
- [8] Lane, A., 1989. The heat balance of the North Sea. Tech. Rep. 8, Proudman Oceanographic Laboratory
- [9] Gill, A. E., 1982. Atmosphere-Ocean dynamics, vol. 30 of International Geophysics Series. Academic Press
- [10] Warmtelozing in oppervlaktewater en uitwisseling met de atmosfeer. WL|Delft Hydraulics, april 2003. Rapport Q3315. Auteurs Boderie en Dardengo.
- [11] Landelijk Temperatuurmodel in het Nationaal Water Model. Deltares rapport 1220056-010-ZWS-0001-r-LTM_in_NWM_fasell_definitief, dec 2016. In opdracht van Rijkswaterstaat, zie <https://publicwiki.deltares.nl/display/NW/Achtergrond+documentatie>
- [12] Memo Resultaten watertemperatuurmodellering in Sobek3 Deltares, 2019. Project 11203713 kenmerk 11203713-004-DSC-0003. Auteurs Loos en Boderie.
- [13] 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.
- [14] C. Wesselius en A. Fujisaki (2020), Landelijk SOBEK model in SOBEK3 (LSM3), verificatiesom 2018. Deltares rapport 11205258-ZWS-0001_v0.2, Delft.
- [15] F.J. Los and M. Blaas. Complexity, accuracy and practical applicability of different biogeochemical model versions. Journal of Marine Systems 81 (2010) 44-74.
- [16] v.d Wijk, 2022 (in prep) RMM versie 4.

A Verbetering LSM3-temperatuur met update Sobek3-dll

A.1 Geconstateerde ontbrekende functionaliteit

Tijdens conceptberekeningen van LSM3 (uitgevoerd in juni 2022 en aangestuurd vanuit Delft-FEWS) zijn drie issues geconstateerd:

SOBEK-51031: SOBEK3 water temperature - restart information for temperature not present in sobek.rda/rdf;

- Voor operationeel gebruik in Delft-FEWS waar meerdere jaren achter elkaar worden gedraaid zijn restart files voor herstart nodig, dat is pas mogelijk als SOBEK-51031 verholpen is.

SOBEK-50938: SOBEK3 water temperature - Composite model does not support Global Radiation as a Meteo Data Input Variable

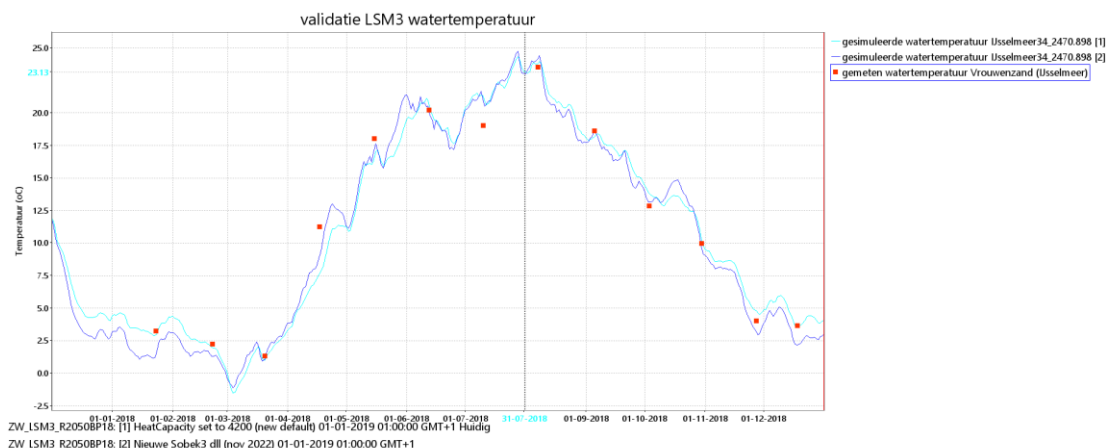
- Het niet kunnen gebruiken van actuele globale straling (SOBEK-50938) is in LSM3 een serieuze beperking.

SOBEK-50951: SOBEK3 water temperature: unwanted inconsistencies compared to Delft3D

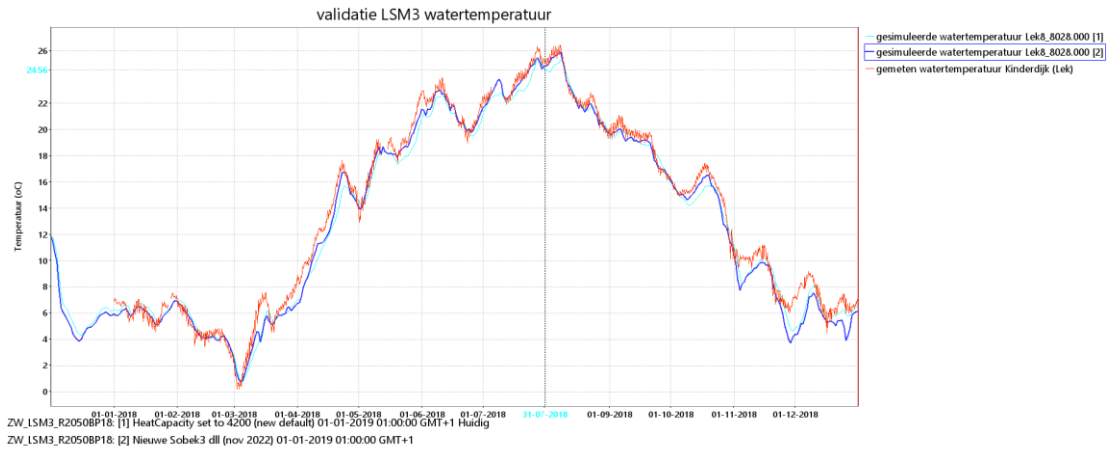
- Harmonisatie van de naamgeving van de individuele stralingsfluxen in de uitvoerfiles van LSM3 met Delft3D is nodig voor verdere analyse van de resultaten en bijv. model kalibratie.

A.2 Verschillen als gevolg van de opgeloste issues

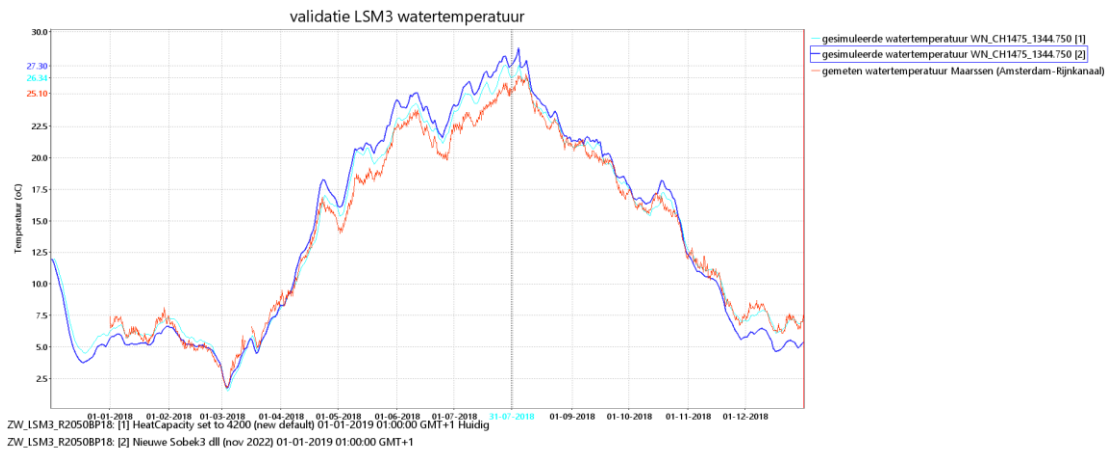
In Figuur 23 t/m Figuur 28 zijn de verschillen tussen de oude LSM3 berekening (versie juni 2022) en de verbeterde LSM3 berekening (november 2022; waarin de issues beschreven in A.1 zijn opgelost) weergegeven. Voor de meeste locaties (Amsterdam-Rijnkanaal uitgezonderd) zien we dat de modelresultaten met de nieuwe Sobek3-dll dichter bij de metingen liggen en dat de amplitude (verschil hoge en lage watertemperaturen door het jaar heen) wat toegenomen is.



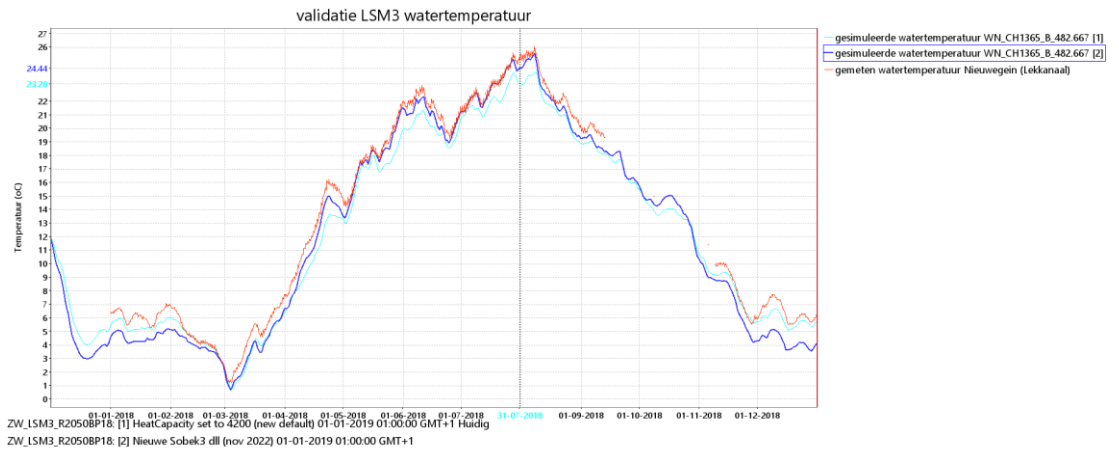
Figuur 23 Gemeten (rode vierkanten) en gesimuleerde (lichtblauw=LSM3 versie jun'22, donkerblauw=LSM3 versie nov'22) watertemperatuur (°C) voor locatie IJsselmeer (Vrouwenzand).



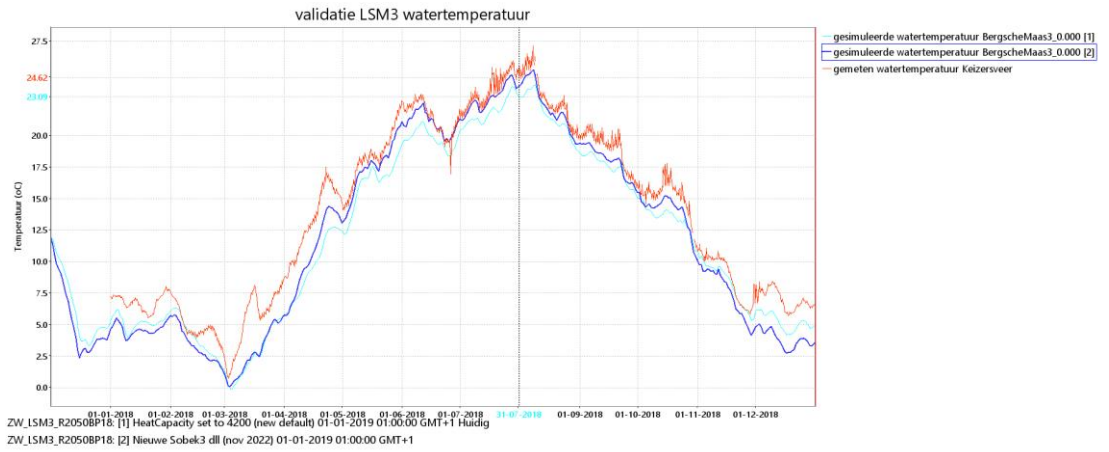
Figuur 24 Gemeten (rode lijn) en gesimuleerde (lichtblauw=LSM3 versie jun'22, donkerblauw=LSM3 versie nov'22) watertemperatuur (°C) voor locatie Lek (Kinderdijk)



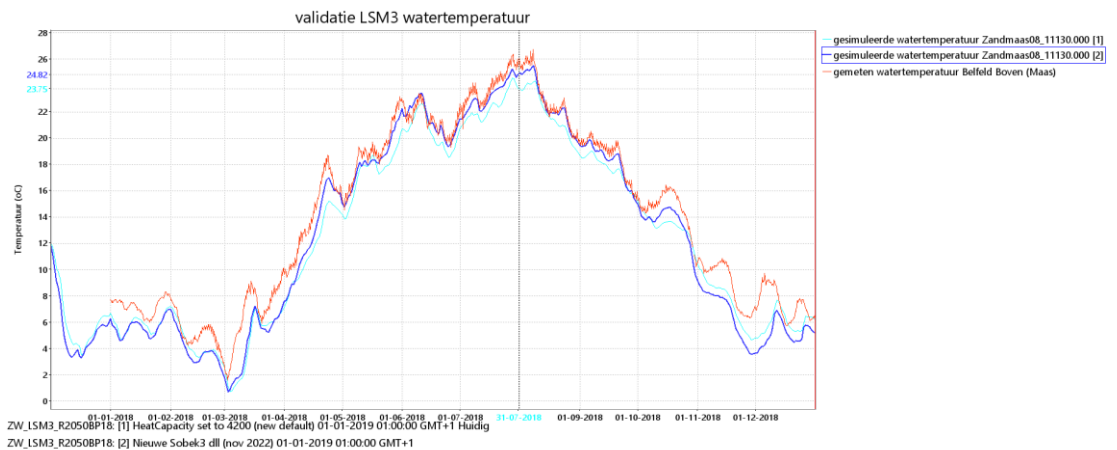
Figuur 25 Gemeten (rode lijn) en gesimuleerde (lichtblauw=LSM3 versie jun'22, donkerblauw=LSM3 versie nov'22) watertemperatuur (°C) voor locatie Amsterdam Rijkanaal (Maarsse)



Figuur 26 Gemeten (rode lijn) en gesimuleerde (lichtblauw=LSM3 versie jun'22, donkerblauw=LSM3 versie nov'22) watertemperatuur (°C) voor locatie Lekkanaal (Nieuwegein)



Figuur 27 Gemeten (rode lijn) en gesimuleerde (lichtblauw=LSM3 versie jun'22, donkerblauw=LSM3 versie nov'22) watertemperatuur (°C) voor locatie Bergse maas (Keizersveer)



Figuur 28 Gemeten (rode lijn) en gesimuleerde (lichtblauw=LSM3 versie jun'22, donkerblauw=LSM3 versie nov'22) watertemperatuur (°C) voor locatie Maas (Belfeld boven)

B Aanpassingen in LSM3 waterbeweging

B.1 Overzicht activiteiten voor waterbeweging

Bij de werkzaamheden voor temperatuur zijn nog een aantal aspecten met betrekking tot de waterkwantiteit meegenomen. Dit betreft de volgende punten:

- **Laterale debieten:** voor enkele laterale debietlocaties opgenomen in het model bleken de randvoorwaarden nog niet correct door te komen in het model, dat hing samen met typfoutjes. Bijvoorbeeld, LatEvap_Borgharen was als locatie gedefinieerd, maar de tijdserie had als locatie id LatEvapBorgharen (en werd dus niet opgepakt). Ook zijn laterale debietlocaties en -debieten toegevoegd.
- **Getijrandvoorwaarden** 2018 zijn uit de waterinfo site gedownload; in de tot op heden gebruikte versie bleek bij de rapportage van december 2021 dat voor diverse locaties onder invloed van getij, er nog vrij grote verschillen waren tussen de meetgegevens en waterstanden. Dat bleek niet alleen te komen door een verschil in actuele versus daggemiddelde waterstanden, maar ook door getijranden die nog niet op 2018 meetgegevens waren gebaseerd. Voor locaties in de Rijnmaasmonding waren de randvoorwaarden uit het RMM model overgenomen en al wel correct.
- **Verbeteringen in het RMM** model (RMM4) zijn meegenomen. Dit betreft:
 - Aanpassingen van enkele weerstanden
 - Aanpassing modellering van de Maeslantkering (general structure)
 - De correctie van de modellering van de Hartelkering was al meegenomen in LSM3 in 2021.

Deze aanpassingen zijn in de RMM rapportage beschreven (v.d Wijk, 2022, in prep. [16])

De laatste versie van het LSM3 model, met alle in deze bijlage genoemde aanpassingen en de aanpassingen voor temperatuur, krijgt het volgende versienummer: sobek-lsm3-j18_5-v6.

B.2 Verificatie waterbeweging 2018

B.2.1 Inleiding

De modelresultaten van LSM3 sobek-lsm3-j18_5-v6 (november 2022) worden vergeleken met de resultaten van LSM sobek-lsm3-j18_5-v5 (december 2021). Ook zijn nog SOBEK2 sommen met het LSM meegenomen in de vergelijking, zoals ook in de december 2021 rapportage. Het gaat hierbij om de volgende sommen:

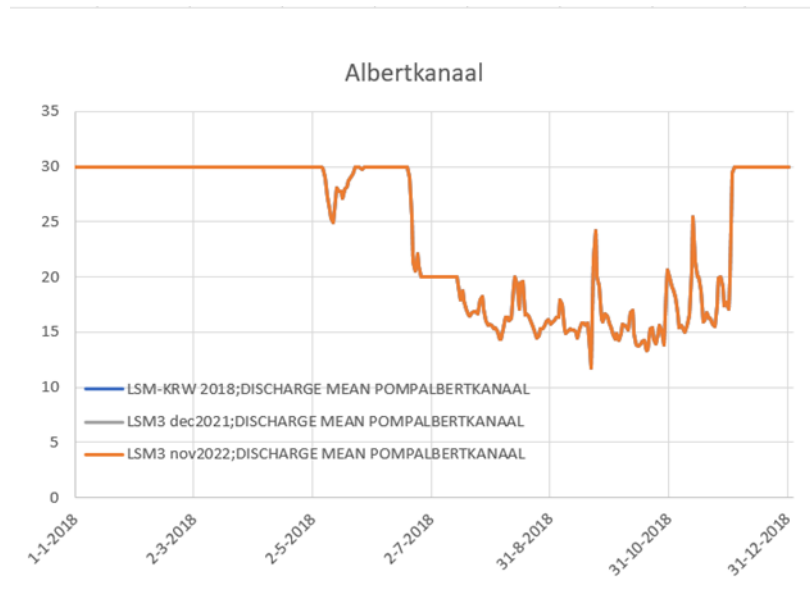
- een LSM 1.3 (obese) som voor 2018, die eerder is doorgerekend voor toepassing van de KRW-verkenner. Deze wordt in het vervolg aangeduid als de LSM-KRW som.
- een LSM light 1.2 som uit de NWM Basisprognoses 2018, die stand-alone opnieuw is doorgerekend voor een eerlijke vergelijking van de rekentijd. 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.

Voor enkele locaties zijn ook beschikbare metingen in geel toegevoegd (debieten en waterstanden). De meetgegevens zijn afkomstig van data uit de LHM 4.1 validatie in het kader van NHI [13] en een eerdere LSM rapportage [14].

B.2.2 Albertkanaal

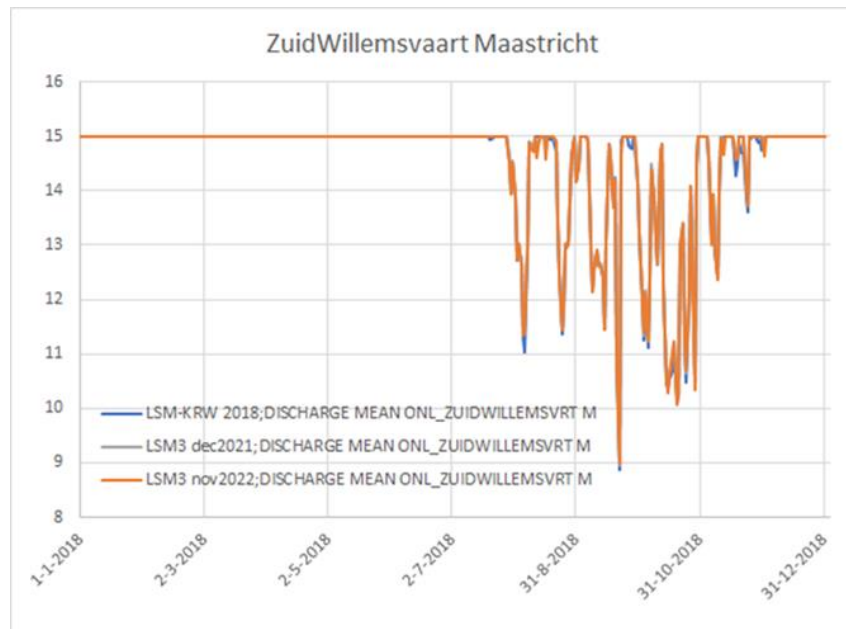
Figuur 29 laat zien dat de daggemiddelde debieten voor het Albertkanaal precies overeen komen tussen LSM 1.3 (SOBEK2) en LSM3 (SOBEK3).



Figuur 29: Debiet Albertkanaal

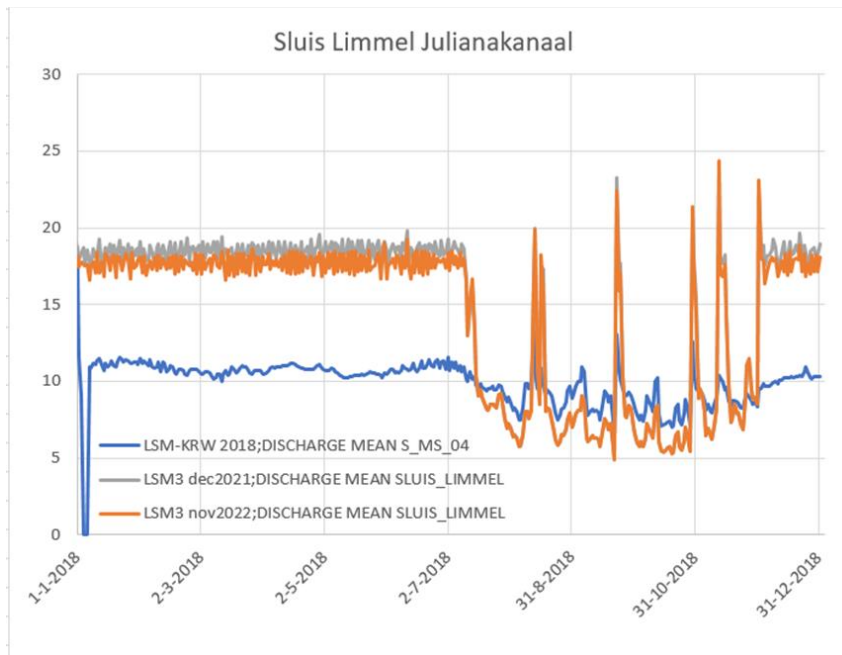
B.2.3 Waterverdeling bij Maastricht

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 30 tot en met Figuur 32.



Figuur 30: Inlaat Zuid-Willemsvaart bij Maastricht

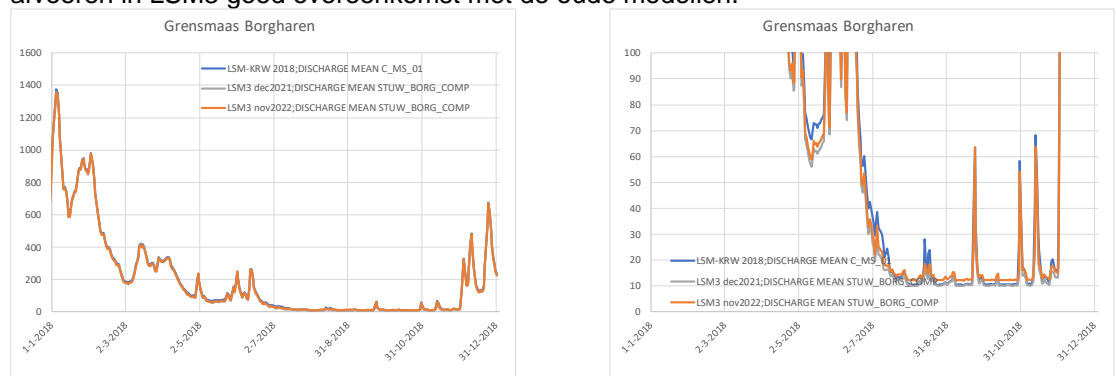
Het debiet via de Zuid-Willemsvaart is voor LSM3 vrijwel identiek aan het berekende debiet in LSM-KRW (Figuur 30).



Figuur 31: Debiet naar het Julianakanaal via sluis Limmel

De LSM3 november 2022 versie geeft een net iets lager debiet in het eerste half jaar via het Julianakanaal dan de versie van december 2021. Dit is het gevolg van aangepaste en toegevoegde laterale debieten in de nieuwe versie. 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 m³/s), maar vergelijkbaar met LSM-KRW (Figuur 31).

De afvoer over de stuw Borgharen komt ook goed overeen (Figuur 32). In LSM3 wordt bij lage Maasafvoeren ook de minimum afvoer over de Grensmaas van 10 m³/s gehandhaafd, in de nieuwe versie zelfs net iets hoger (doordat de sturing niet is aangepast ten opzichte van de vorige versie, maar laterale debieten wel). De conclusie is dat de waterverdeling bij lage afvoeren in LSM3 goed overeenkomst met de oude modellen.

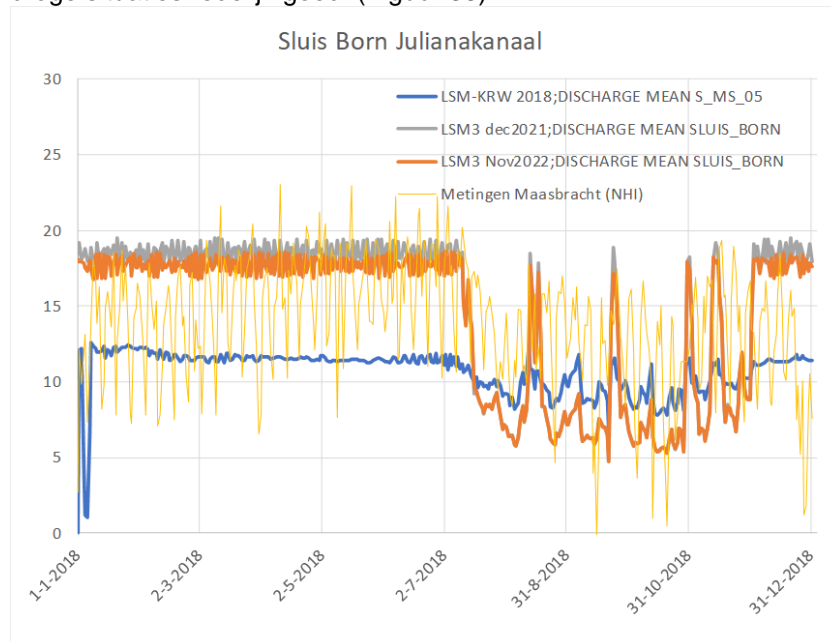


Figuur 32: Debiet over de Grensmaas bij de stuw Borgharen (links de hele range van afvoeren, rechts alleen lage afvoeren)

B.2.4 Sluis Born (Julianakanaal)

De debieten over sluis Born in LSM3 zijn net als bij Limmel afwijkend van de LSM-KRW SOBEK2 resultaten. De nieuwe LSM3 resultaten zijn net als bij sluis Limmel iets lager dan de december 2021 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 33).

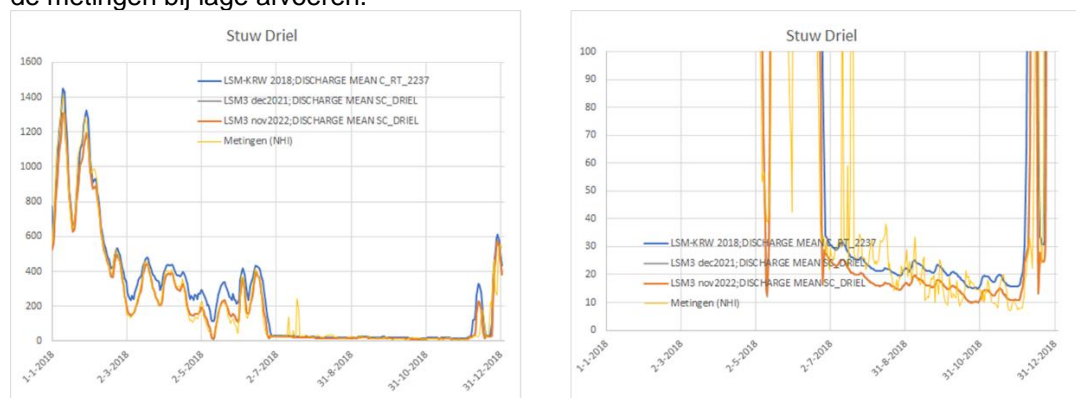


Figuur 33: Debiet Julianakanaal bij Born

B.2.5 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 34 toont de debieten over de stuw bij Driel voor het LSM-KRW model en LSM3, en ook de metingen.

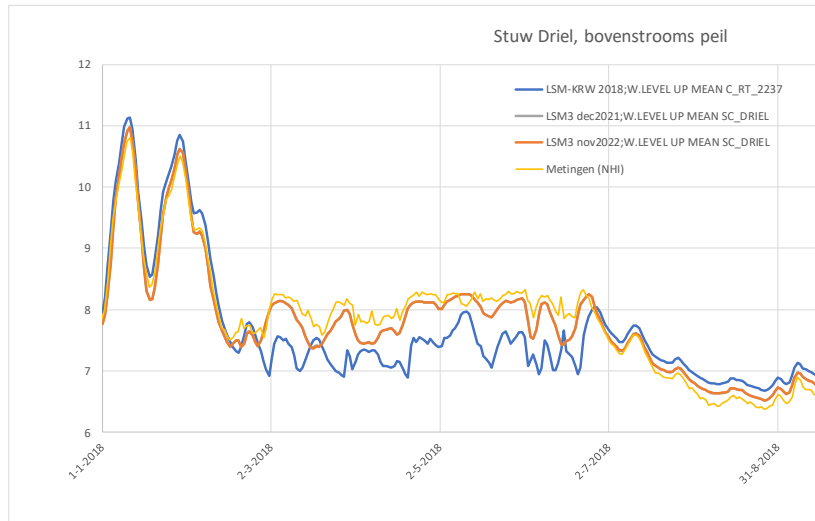
Het debiet bij Driel in LSM3 blijkt in het algemeen lager te zijn dan het debiet berekend met LSM-KRW. Dat is in lijn met de verwachting omdat de bodemdaling het grootst is op de Waal, en die trekt dus een groter deel van de (ongestuwde) afvoer. LSM3 klopt ook beter met de metingen bij lage afvoeren.



Figuur 34: Debiet over de stuw bij Driel (links de hele range van afvoeren, rechts voor de lage afvoeren)

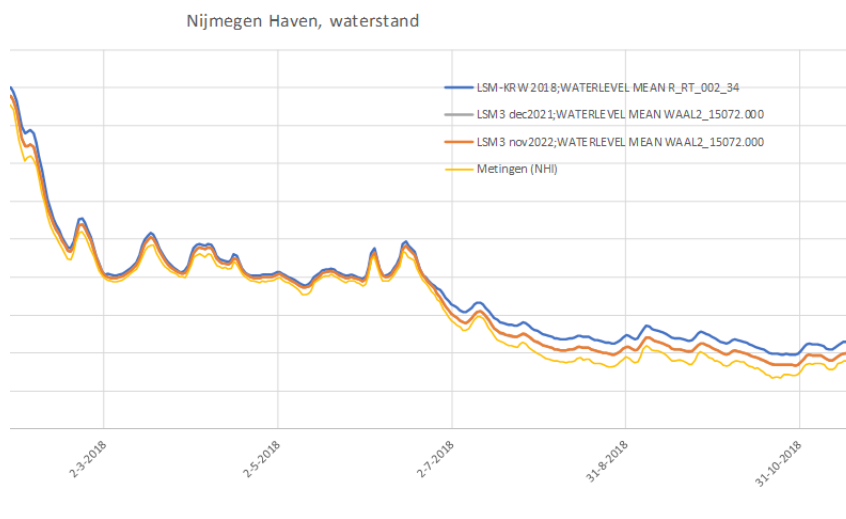
De nieuwe LSM3 som geeft vrijwel identieke resultaten als de december 2021 LSM3 som.

Uit Figuur 35 met de bovenstroomse peilen bij Driel blijkt dat als de stuw actief is, de bovenstroomse waterstanden bij gemiddelde tot hogere Rijnafoeren hoger zijn dan met het SOBEK2 LSM-KRW model (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 duidelijk beter met de beschikbare metingen uit NHI dan de LSM-KRW som in SOBEK2.



Figuur 35: Bovenstroomse waterstand bij de stuw bij Driel

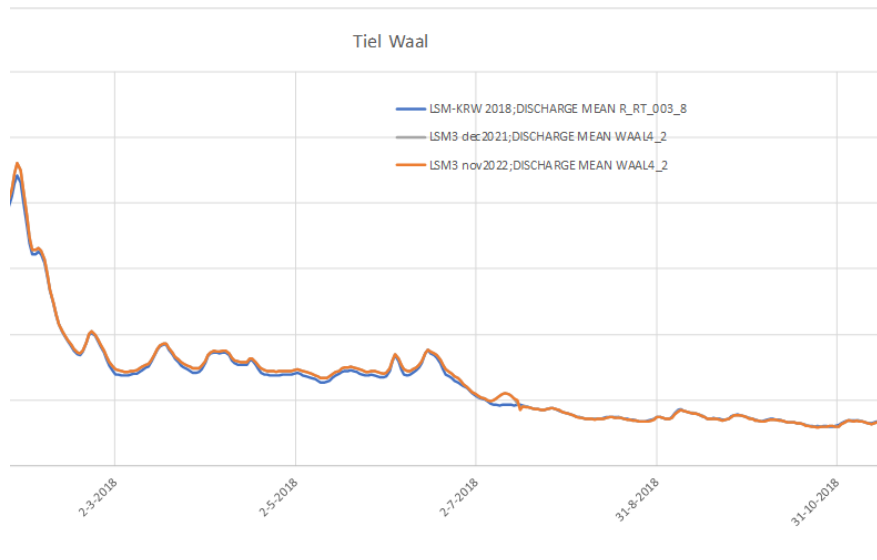
B.2.6 Nijmegen Haven



Figuur 36: Waterstand bij Nijmegen Haven

De LSM3 resultaten van december 2021 en november 2022 liggen over elkaar heen. De laagste waterstand in Nijmegen is in LSM3 lager dan in LSM-KRW, zoals Figuur 36 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 36).

B.2.7 Tiel

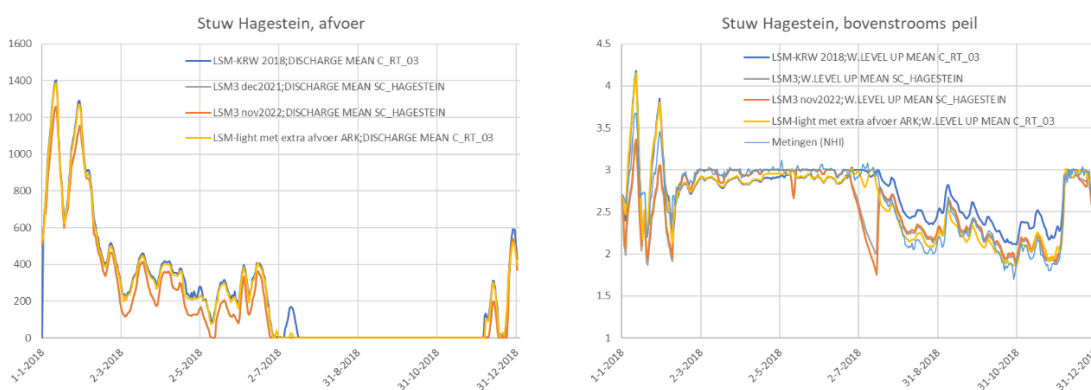


Figuur 37: Afvoer via de Waal bij Tiel

Figuur 37 laat zien dat de afvoer via Tiel in LSM3 vergelijkbaar is met het LSM 1.3 obese model LSM-KRW.

B.2.8 Hagestein

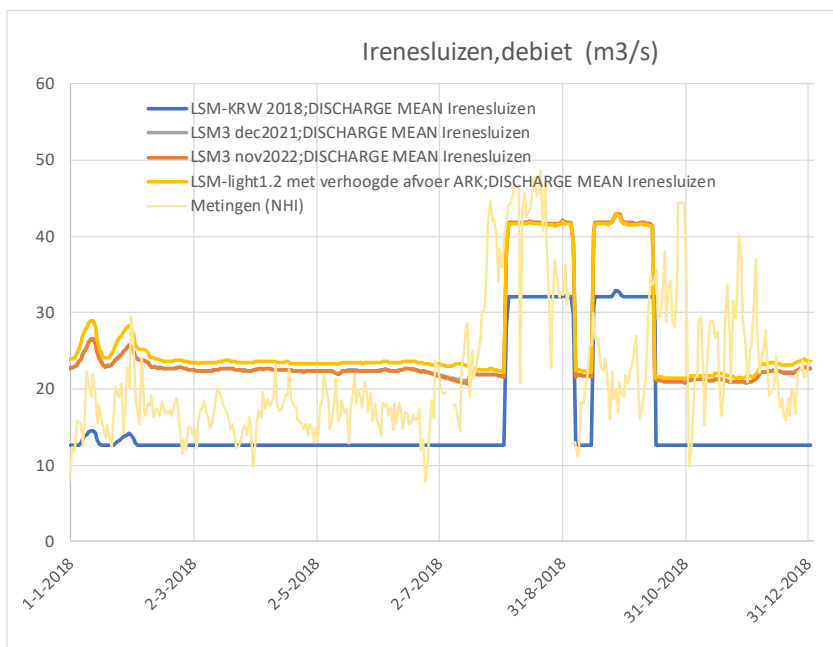
De resultaten voor Hagestein zijn qua afvoer vergelijkbaar met de resultaten voor Driel (zie Figuur 34). Voor LSM3 is belangrijk dat de gewenste afvoer via de Irenesluizen naar het ARK-noordpand is verhoogd ten opzichte van de LSM-KRW som. Er is daarom ook een LSM-light 1.2 som resultaat (in oranje) in Figuur 38 toegevoegd waarin 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 (in de nieuwe LSM3 som nog iets meer dan de december 2021 som), terwijl dat in de oudere sommen en in de metingen niet het geval was. Dat hangt onder andere samen met de opmerking in paragraaf B.2.8 dat in het model het debiet over de Irenesluizen in die periode duidelijk hoger is dan in de metingen.



Figuur 38: Debiet sluis Hagestein (links) en bovenstrooms peil (rechts)

B.2.9 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 39 geeft de weergave van het debiet door de Irenesluizen.



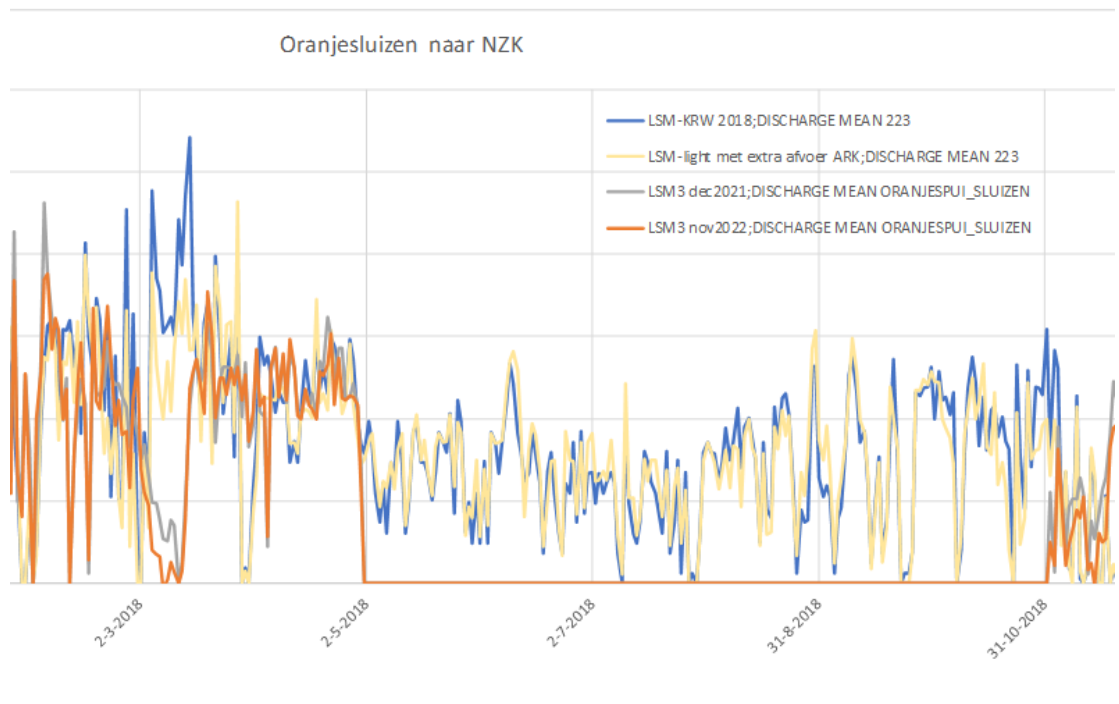
Figuur 39: Debiet Irenesluis

De twee LSM3 sommen (dec2021 en nov2022) komen goed met elkaar en met de LSM light 1.2 som overeen; deze 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 dicht bij 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.

B.2.10

Oranjesluizen

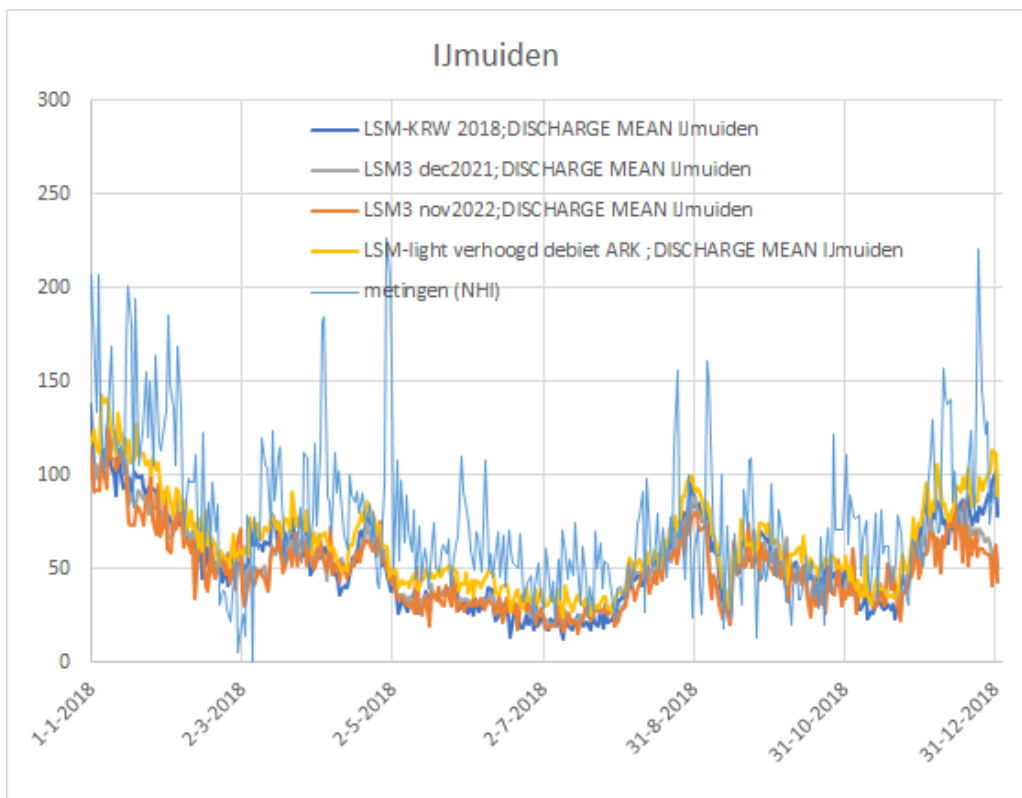
Voor de Oranjesluizen laten de LSM-light 1.2 en LSM-KRW sommen een vergelijkbaar debiet zien. In LSM3 is in de zomer de doorspoeling van Markermeer naar Noordzeekanaal (NZK) langere tijd nul, zowel in de december 2021 versie als in de nieuwe november 2022 versie. De nieuwe LSM3 versie geeft in de andere perioden van het jaar een iets lagere afvoer dan de december 2021 LSM3 versie, vermoedelijk door de aanpassingen in laterale debieten. De doorspoeling van het NZK in LSM3 vindt in de zomerperiode alleen plaats door het (verhoogde) debiet vanuit het Amsterdam-Rijn kanaal (Figuur 40); dit volgt uit de sturingsregels die in het model zijn geïmplementeerd.



Figuur 40: Debiet Oranjesluizen

B.2.11 IJmuiden

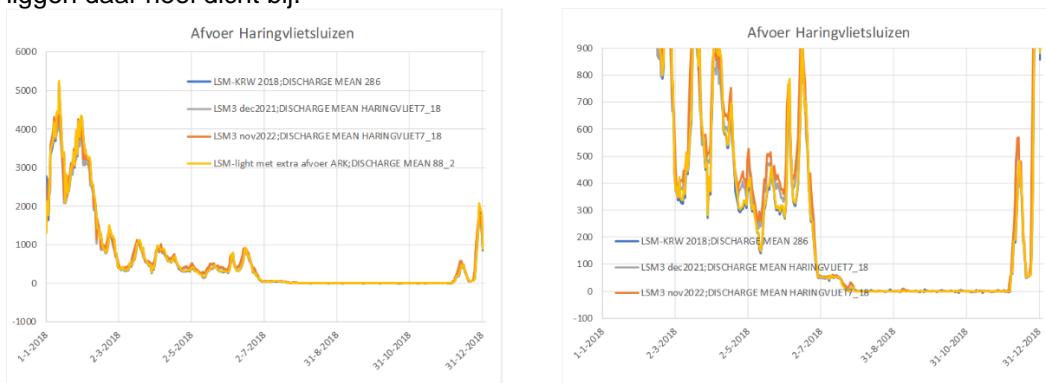
Figuur 41 toont de berekende debieten bij IJmuiden. De laatste LSM3 berekening geeft gemiddeld een iets lagere afvoer dan de LSM3 2021 som door aanpassing van laterale debieten, maar het globale beeld is vergelijkbaar met de eerdere nieuwe LSM3 som en ook de oudere LSM-light en LSM-KRW sommen in SOBEK2. De metingen bij IJmuiden zijn erg variabel en geven in het algemeen iets hogere debieten dan de modelresultaten.



Figuur 41: Debiet Ijmuiden

B.2.12 Haringvliet

Figuur 42 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, en ook de resultaten van de LSM3 sommen van zowel december 2021 als november 2022 (waarin het nieuwe RMM model is opgenomen) liggen daar heel dicht bij.

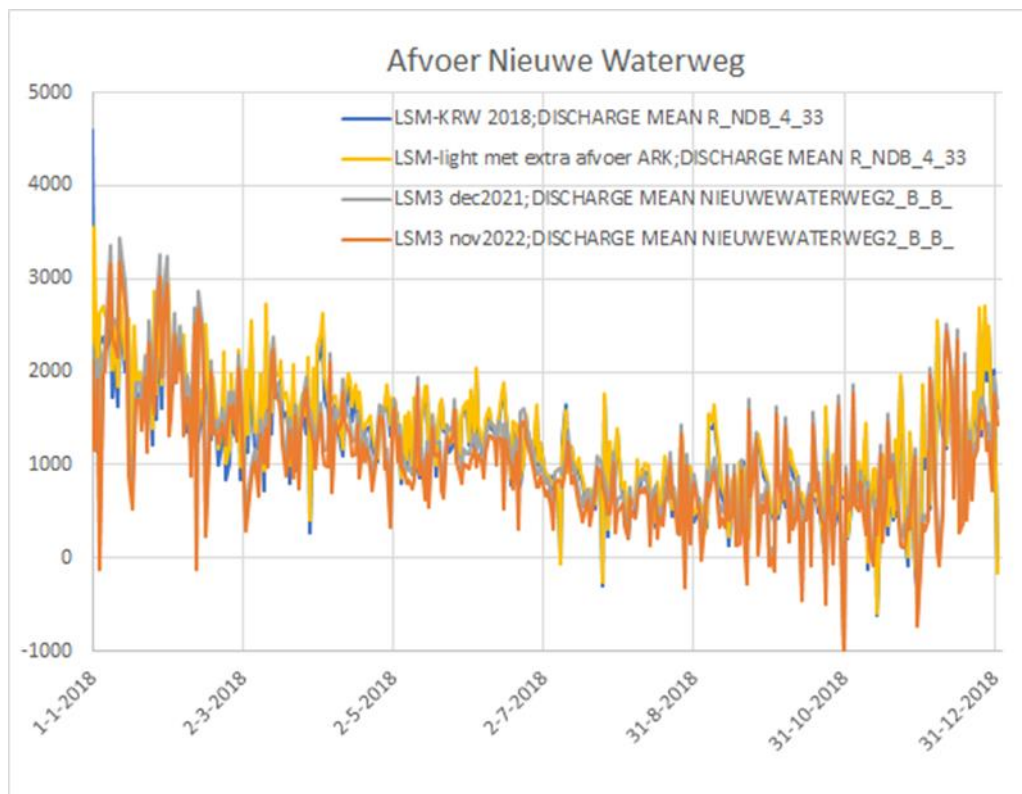


Figuur 42: Debiet Haringvlietsluizen

B.2.13 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 beide LSM3 resultaten wijken iets af van beide SOBEK2 resultaten (LSM-KRW en LSM-light 1.2), zie Figuur 43.

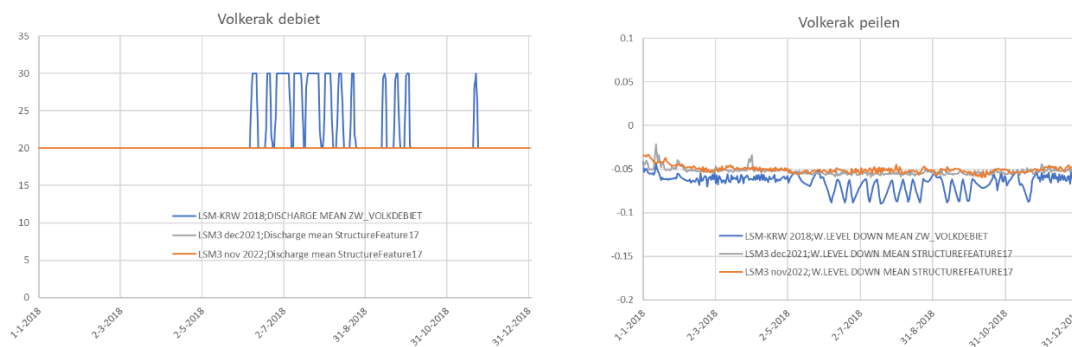


Figuur 43: Daggemiddelde Afvoeren Nieuwe Waterweg

B.2.14 Volkerak en Krammer

In LSM3 is het netto lekdebiet van Volkerak naar de Oosterschelde via de Krammersluizen 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.

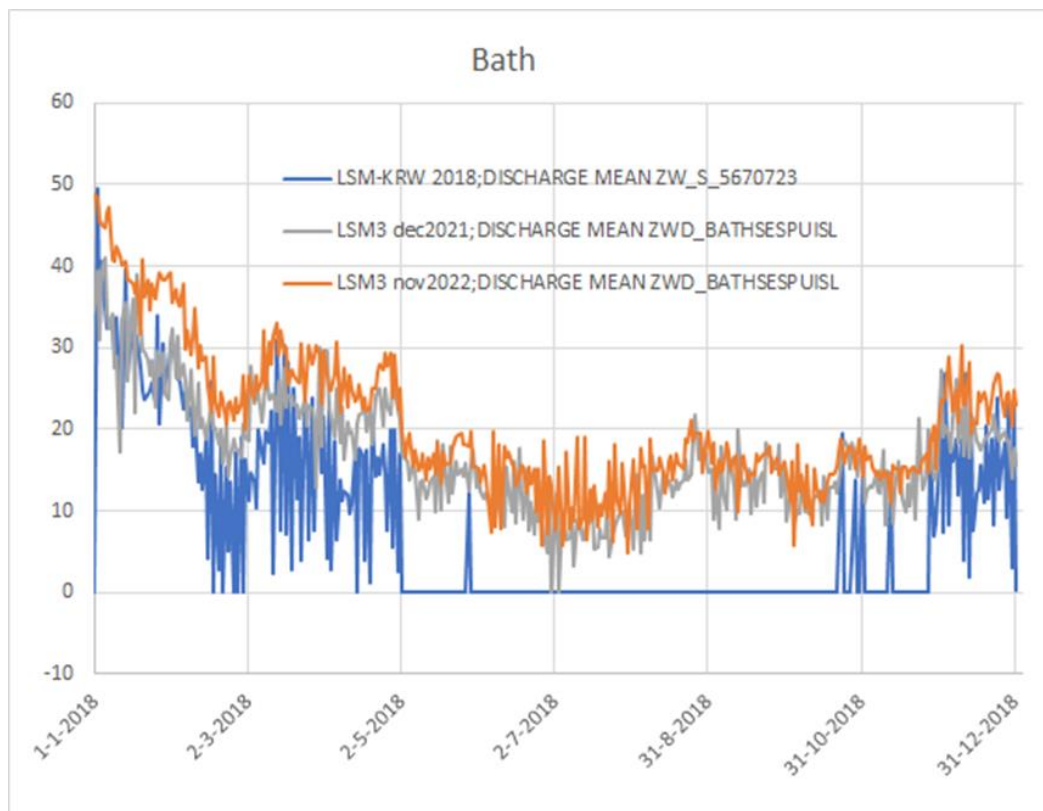
Door het verlagen van het lekverlies door de Krammersluizen wordt in LSM3 minder water via de Volkeraksluizen ingelaten. Het peil in het Volkerak wordt goed op streefpeil gehouden (Figuur 44).



Figuur 44: Daggemiddelde debieten door de Volkeraksluizen (links) en waterstanden Volkerak (rechts)

B.2.15 Bathse spuisluis

In de SOBEK2 LSM-KRW som werd in de zomer nauwelijks water bij Bath uitgelaten. In de LSM3 sommen is dit wel het geval (Figuur 45). 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 de resultaten voor Dintelsas en Benedensas in B.2.24).

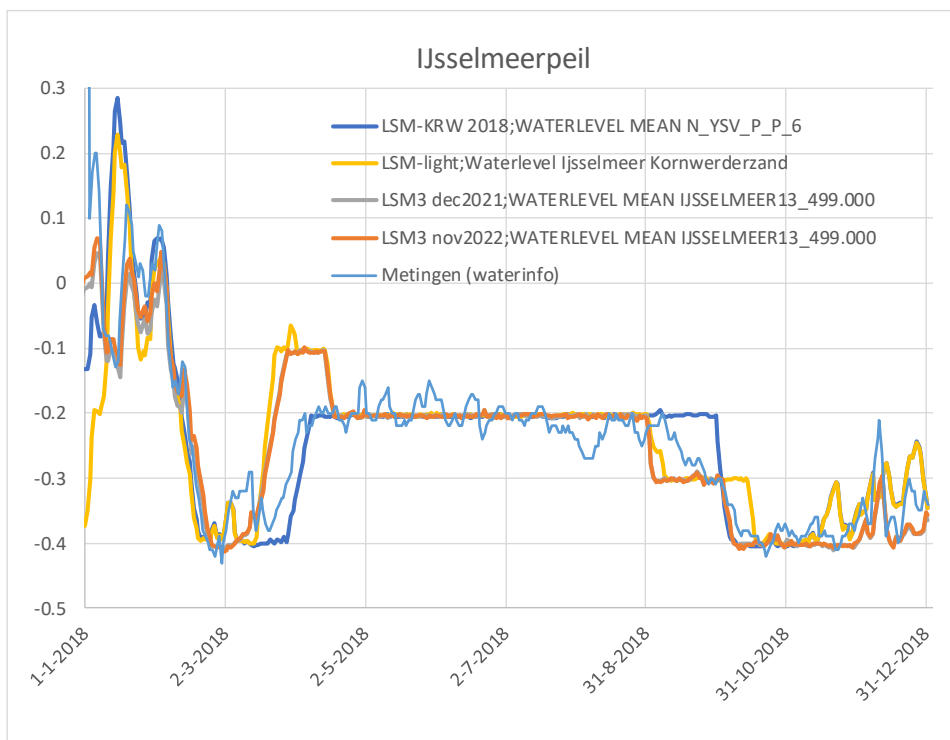


Figuur 45: Daggemiddelde afvoeren Bathse spuisluis

B.2.16 IJsselmeer

Figuur 46 toont het berekende IJsselmeerpeil van de LSM3 en de SOBEK2 sommen. De LSM-KRW som heeft nog het 'oude' peilbeheer, terwijl de LSM-light 1.2 som en de LSM3 sommen 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.

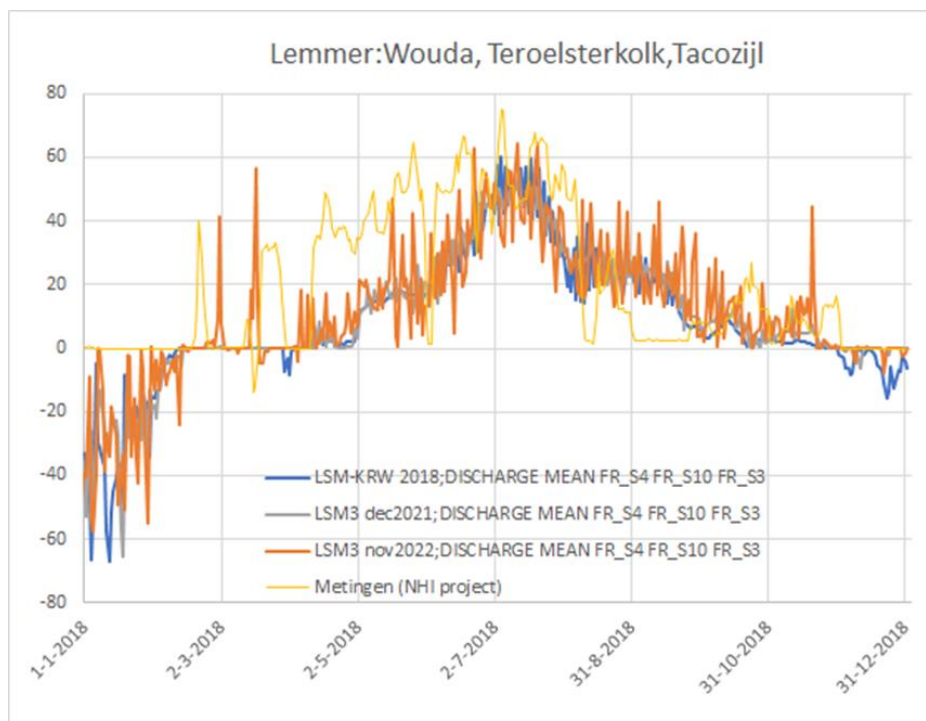
Uit de meetgegevens (IJsselmeer midden) blijkt dat in werkelijkheid blijkt de peilopzet tot -0.10 m NAP eind maart niet is gerealiseerd, en dat in mei en juni het IJsselmeerpeil wel iets is opgezet binnen de marges van het peilbesluit en na besluitvorming in de LCW (Landelijke Coördinatiecommissie Waterverdeling). 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 46: Daggemiddelde peilen op het IJsselmeer

B.2.17 Lemmer

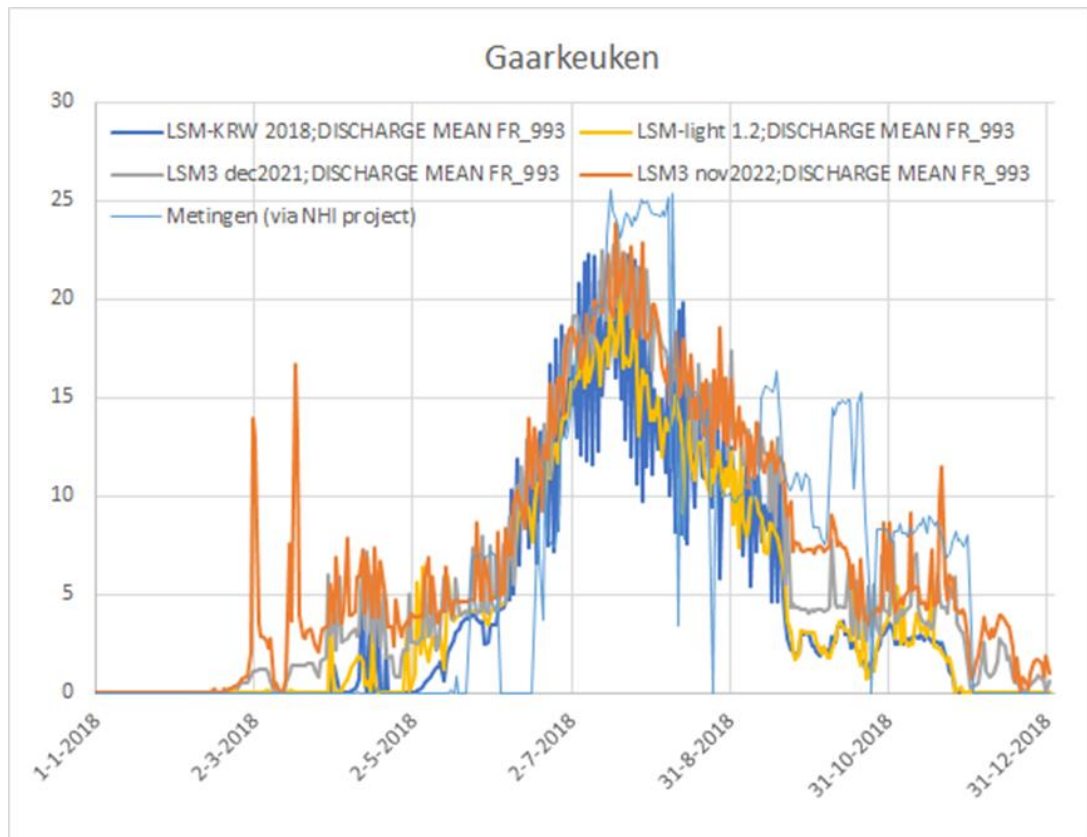
De aan- en afvoeren bij Lemmer zijn samengesteld door de afvoer van het Woudagemaal, en de inlaat Teroelsterkolk en Tacozijl. Door toevoegen van de lateralen voor neerslag op en verdamping uit open water zijn de nieuwe LSM3 resultaten verbeterd en vergelijkbaar met de LSM-KRW SOBEK2 resultaten (zie Figuur 47). De nieuwe LSM3 versie pakt een paar pieken mee die eerder gemist werden door het niet oppakken van een aantal lateralen.



Figuur 47: Daggemiddelde afvoeren bij Lemmer

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.

B.2.18 Gaarkeuken

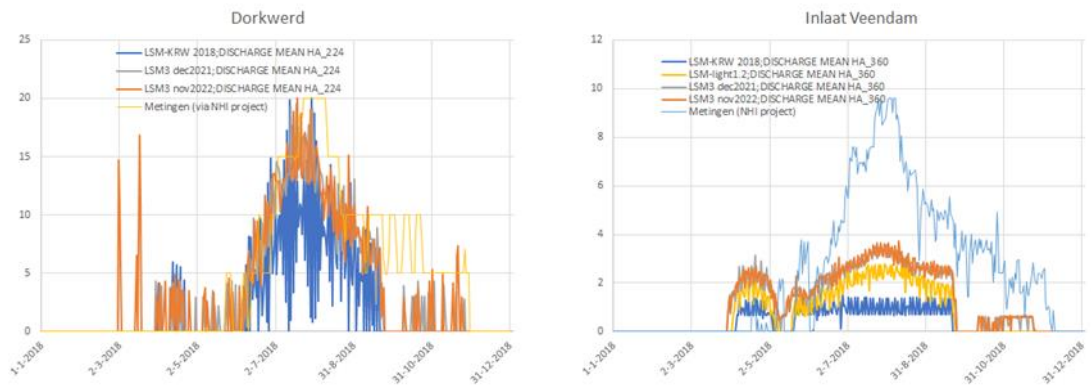


Figuur 48: Doorvoer van Friesland naar Groningen bij Gaarkeuken

De met LSM3 berekende doorvoer van Friesland naar Groningen is marginaal hoger dan de berekende doorvoer met de SOBEK2 modellen (Figuur 48). De nieuwe LSM3 versie heeft een paar extra pieken in maart ten opzichte van de vorige versie (extra lateralen toegevoegd), deze pieken zijn echter niet in de metingen te zien. De metingen die via NHI project zijn verkregen laten eenzelfde trend zien als de modellen 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 49. 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).

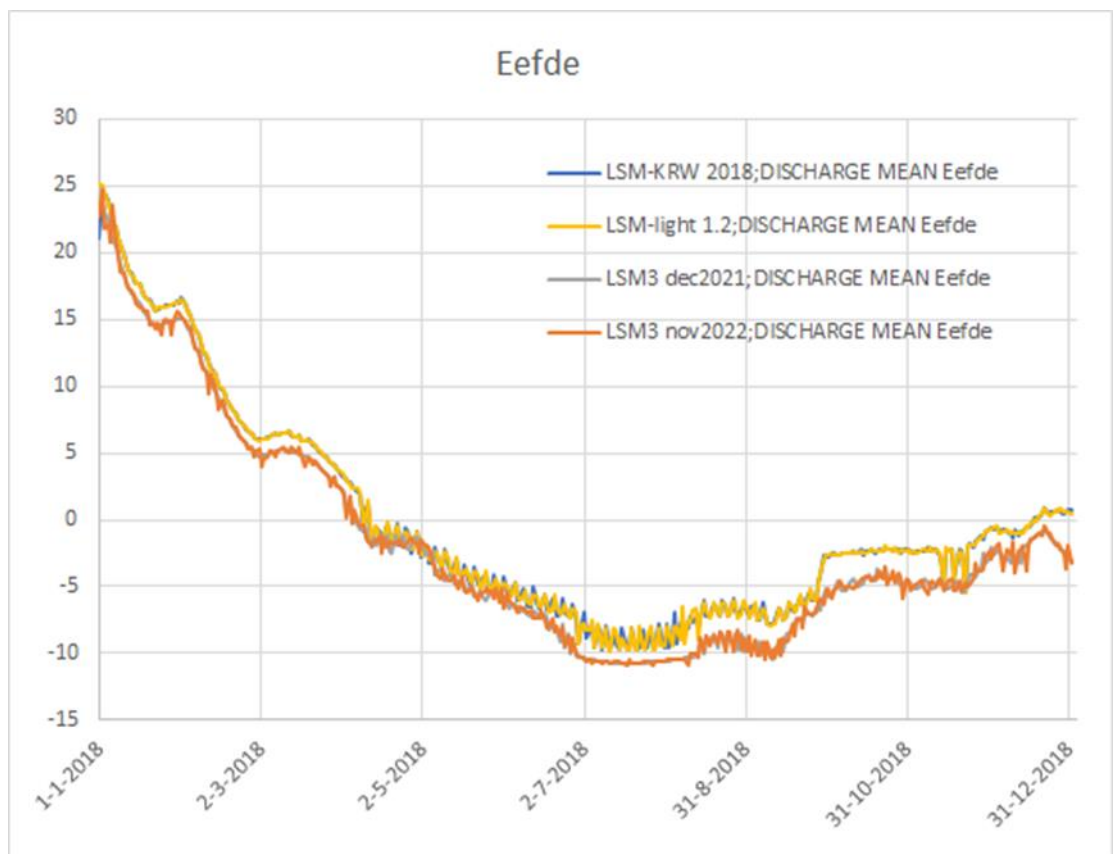
En de nieuwste LSM3 som laat bij Dorkwerd eenzelfde piek in maart zien als bij Gaarkeuken, die niet in de metingen is terug te vinden, maar bij Veendam treedt dit niet op. Het blijkt dat deze extra inlaat bij Delfzijl weer uitgelaten wordt.



Figuur 49: Doorvoer bij Dorkwerd (links) en Veendam (rechts)

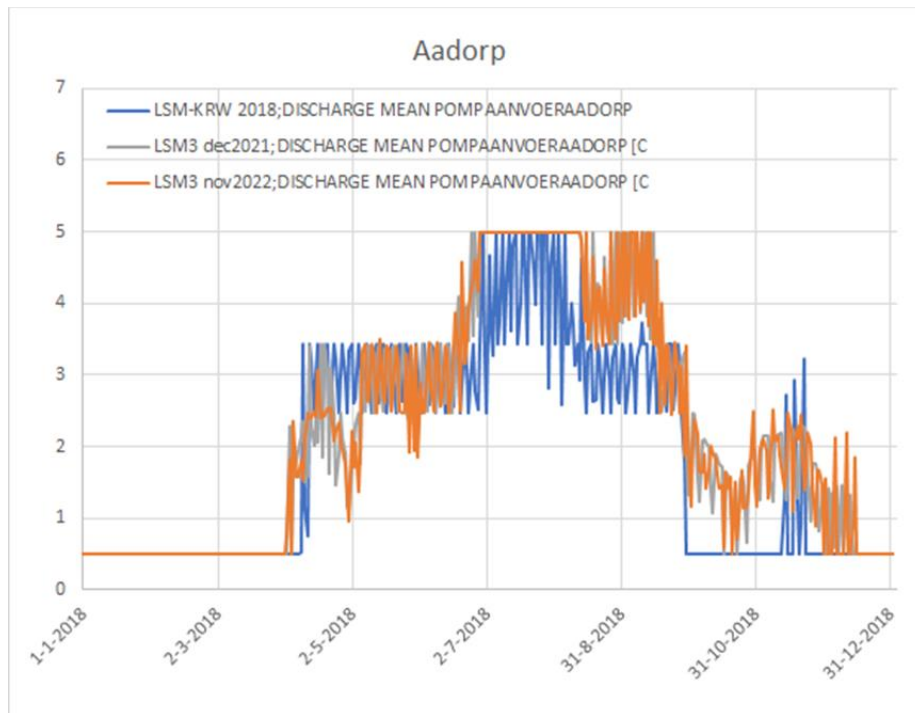
B.2.19 Eefde

Bij de sluis Eefde, en ook bij Delden en Hengelo, is het schutverlies in LSM3 al in de december 2021 som aangepast en verhoogd volgens de laatste inzichten zoals die in het LHM zijn opgenomen, en zijn diverse eerder nog ontbrekende lateralen toegevoegd. De nieuwe LSM3 som geeft vrijwel dezelfde debieten als de december 2021 LSM3 som. De resultaten voor beide SOBEK2 sommen zijn vrijwel identiek, de resultaten van LSM3 sommen volgen hetzelfde patroon maar zijn steeds iets lager (iets minder afvoer c.q. iets meer aanvoer), zie Figuur 50. 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 50: 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 51). De laatste LSM3 versie fluctueert iets minder in het voorjaar (april) dan bij de vorige LSM3 versie.

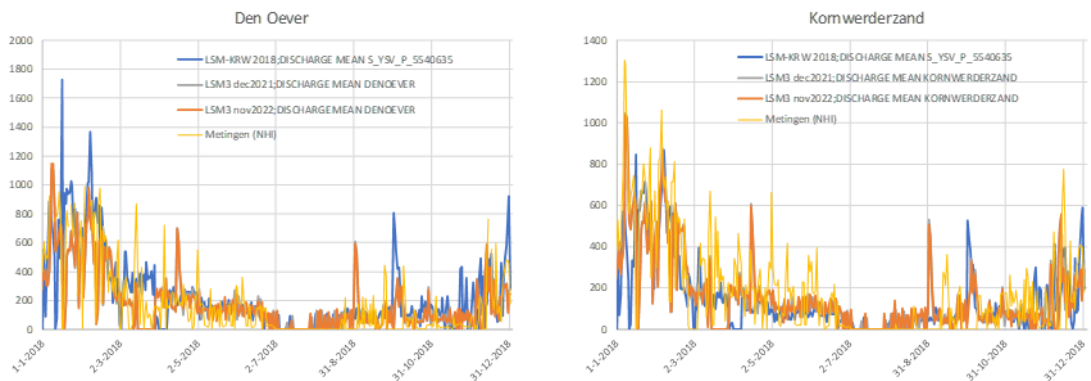


Figuur 51: Doorvoer bij Aadorp

B.2.20 Spuidebiet Afsluitdijk

Figuur 52 toont de spuidebieten bij Den Oever en Kornwerderzand. De algemene trend tussen de LSM-KRW som en de LSM3 sommen is vergelijkbaar. De verschillen worden veroorzaakt door:

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

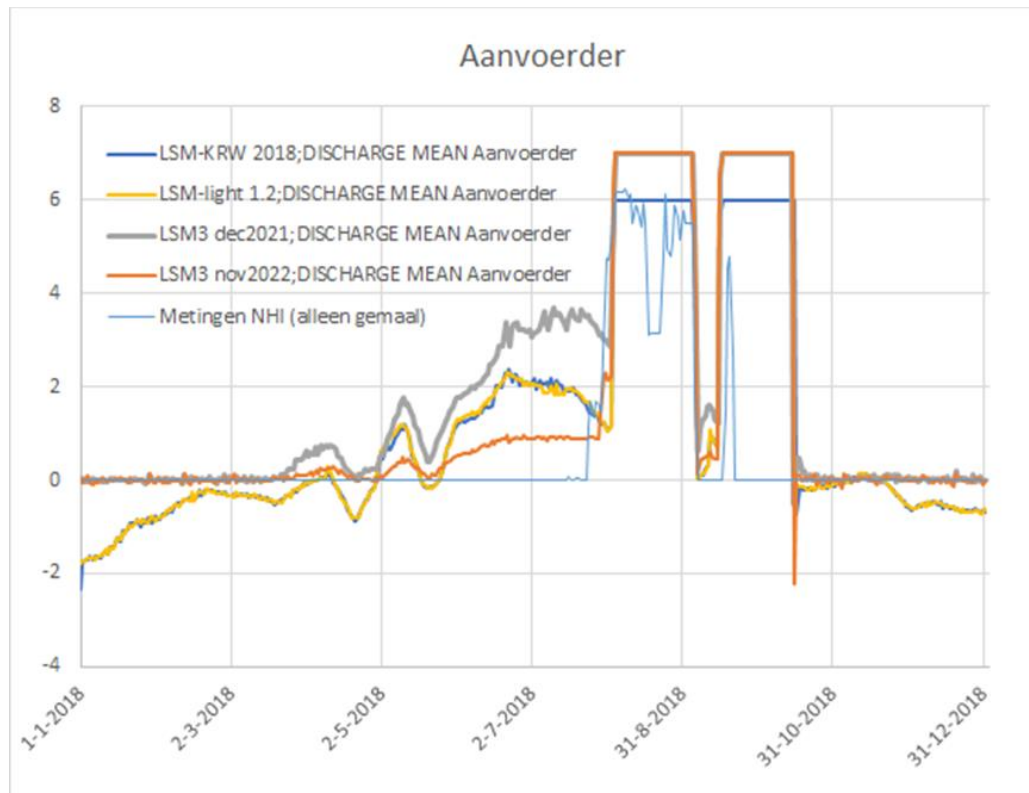


Figuur 52: Daggemiddelde afvoeren Den Oever en Kornwerderzand in LSM2 en LSM3

B.2.21 KWA

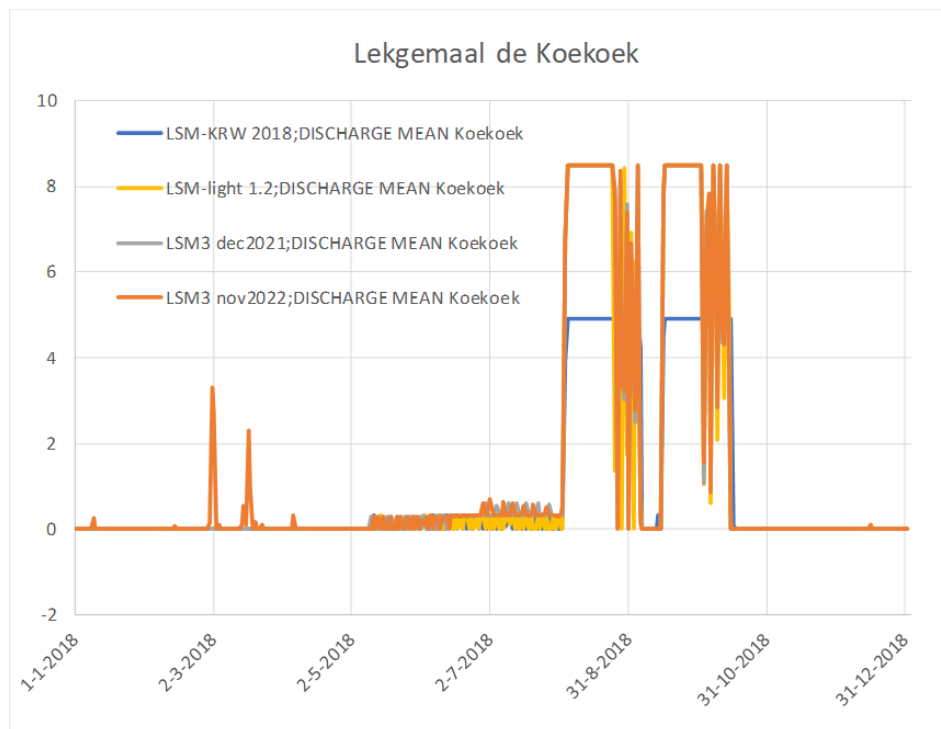
In droge zomers met veel zoutindringing via de Nieuwe Waterweg tot op de Hollandsche IJssel bij Gouda, wordt door Rijnland niet meer of in zeer geringe mate bij Gouda water ingelaten. In die perioden wordt het water vooral via Bodegraven via de zogenaamde KWA

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.



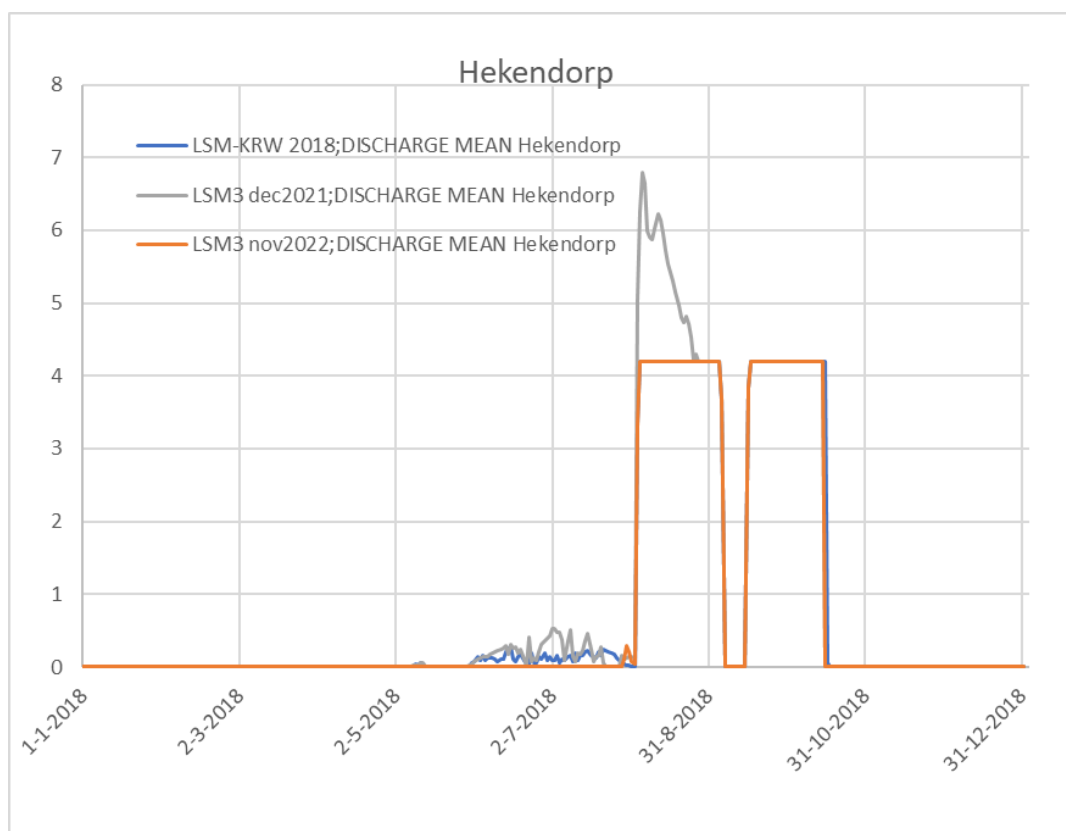
Figuur 53: Daggemiddelde afvoeren Aanvoerder

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 53). Uit de metingen blijkt dat de KWA al eind juli is aanzet (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. De inlaat via de Groenewoudse sluis (buiten de KWA-periode) is in de nieuwe LSM3 versie (oranje lijn) duidelijk lager dan in de vorige versie (grijze lijn), vermoedelijk door een verschil in laterale debieten. In de winterperiode laat LSM3 nauwelijks water uit, terwijl dat in de SOBEK2 modellen wel gebeurde.



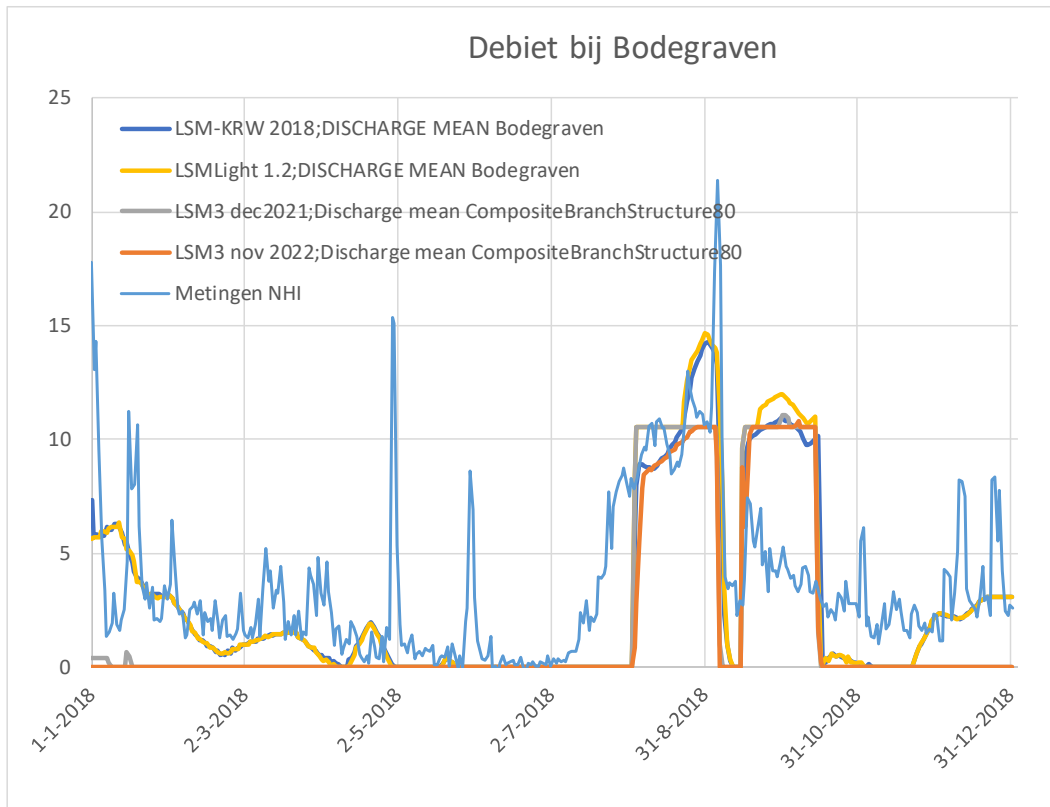
Figuur 54: Daggemiddelde afvoer Koekoek

De maximum capaciteit bij Lekgemaal de Koekoek voor KWA doeleinden is verschillend in de SOBEK2 LSM modellen en de LSM3 modellen. Afgezien van de ingestelde capaciteit is het gedrag in de LSM3 sommen en de SOBEK2 modellen hetzelfde, al laat de nieuwste LSM3 som een extra inlaatpiek in maart zien (Figuur 54).



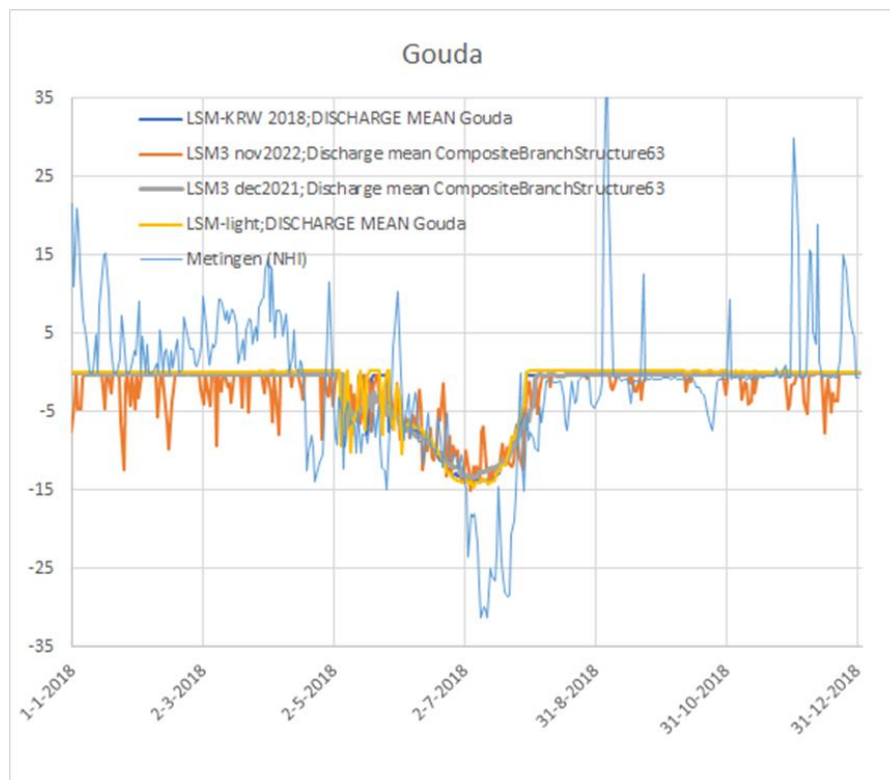
Figuur 55: Daggemiddelde afvoer Hekendorp

De inlaat Hekendorp, die water vanuit de gekanaliseerde Hollandsche IJssel via de Enkele Wiericke richting het noorden stuurt (naar Bodegraven) vertoont in de modellen een vergelijkbaar gedrag met inzet in de KWA-periode, zie Figuur 55. De nieuwe LSM3 som laat nauwelijks water in buiten de KWA periode, net als de LSM-KRW som. Dit zou met metingen geverifieerd moeten worden.



Figuur 56: Daggemiddelde afvoer Bodegraven

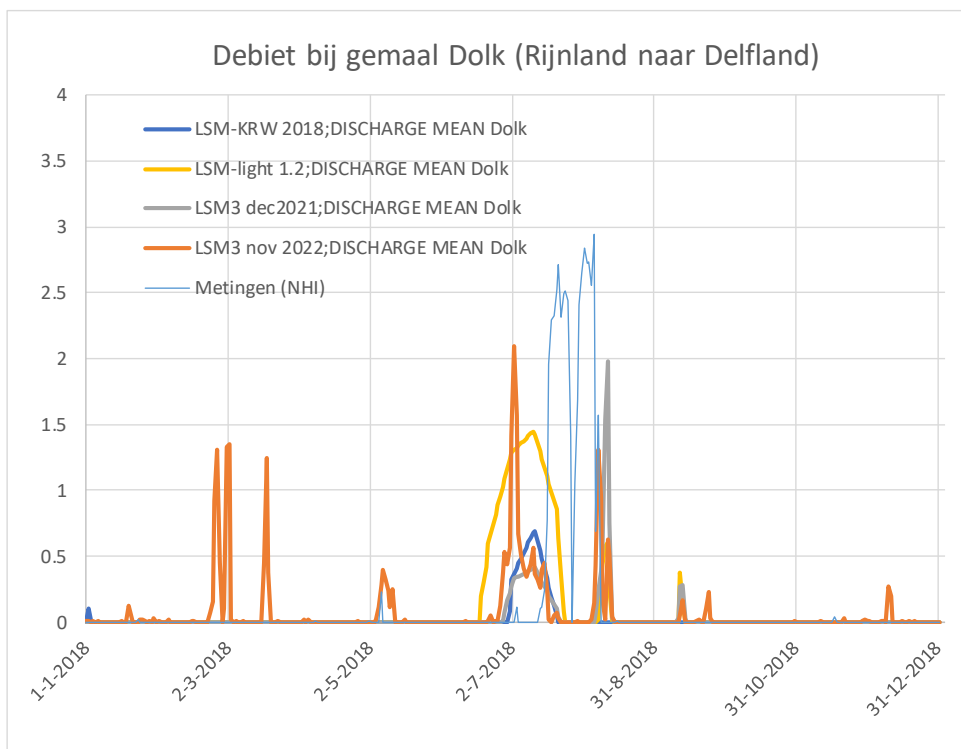
Voor de doorvoer van HDSR naar Rijnland bij Bodegraven wordt volgens de in LSM geïmplementeerde regels de KWA ingeschakeld in augustus en een periode in september/begin oktober (Figuur 56). Zoals al bij Figuur 53 (gemaal de Aanvoerder, Leidse Rijn) besproken, blijkt dat in de praktijk de KWA eind juli al is aangezet, en dat er in september en begin oktober maar op 'halve kracht' water is doorgevoerd. In het voorjaar wordt er bij Bodegraven in het LSM3 model nauwelijks (overtollig) water uit HDSR naar Rijnland geloosd, minder dan in de SOBEK2 modellen en in de metingen; dat kan aan de definitie van de laterale debieten of kunstwerk sturing liggen. De KWA sturing zit er wel goed in.



Figuur 57: Debiet bij Gouda (positief = afvoer, negatief = waterinlaat)

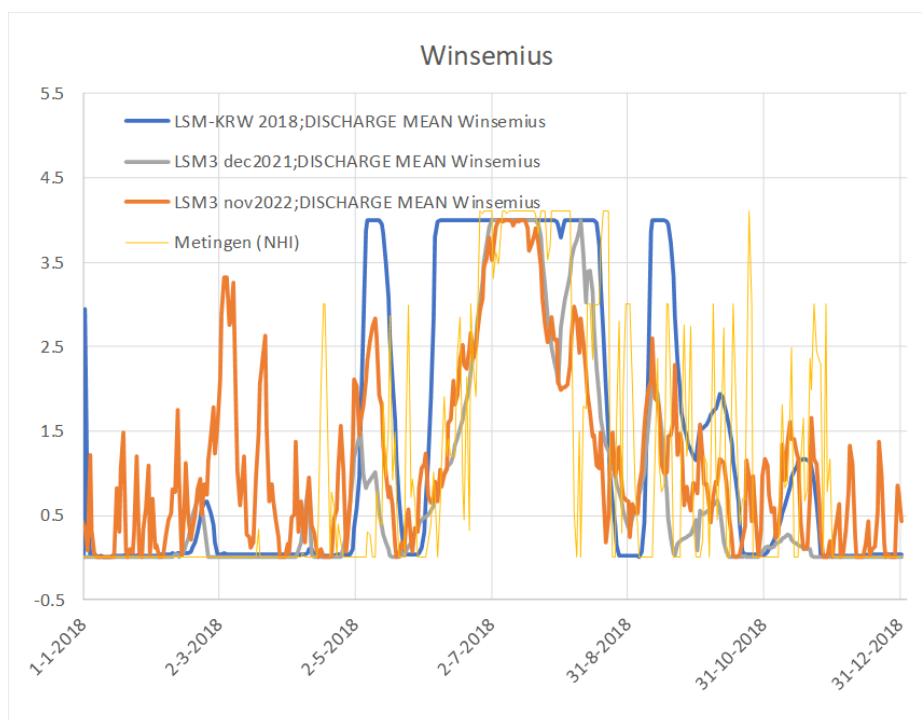
Alle modelversies voeren nauwelijks water af in 2018, en dat is een onderschatting in vergelijking met de metingen, want in de winter wordt wel afgevoerd. In de laatste LSM3 versie wordt zelfs ingelaten in de winterperiode. Bij Bodegraven komt minder binnen dan gemeten, maar mogelijk dat er teveel wordt uitgelaten bij Katwijk, Spaarndam en Halfweg in de laatste LSM3 versie. Dit betekent dat de lateralen en/of de sturing van afvoer van overtollig water in Rijnland nog eens geverifieerd moet worden in LSM3.

Voor wat betreft de waterinlaat in de zomerperiode zijn de resultaten van de SOBEK2 (LSM-light en LSM-KRW) modellen en de LSM3 modelresultaten vergelijkbaar. De inlaat bij Gouda stopt zodra de KWA aangaat, dat is in de modellen 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 57).



Figuur 58: Debiet afvoer Dolk (Rijnland naar Delfland)

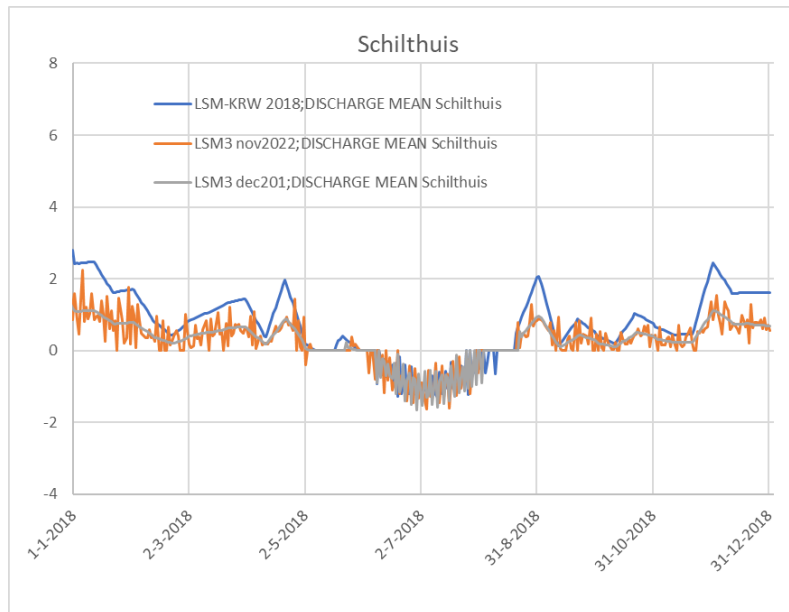
De doorvoer van Rijnland naar Delfland via gemaal Dolk in Leidschendam gebeurt in de laatste versie van LSM3 vaker (in maart bijvoorbeeld) maar verder op vergelijkbare momenten als in beide LSM SOBEK2 sommen (Figuur 58). De inzet is echter in juli wat korter en lager dan in de LSM SOBEK2 berekeningen. 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 laterale debieten. De metingen laten een doorvoer in de periode eind juli tot midden augustus zien.



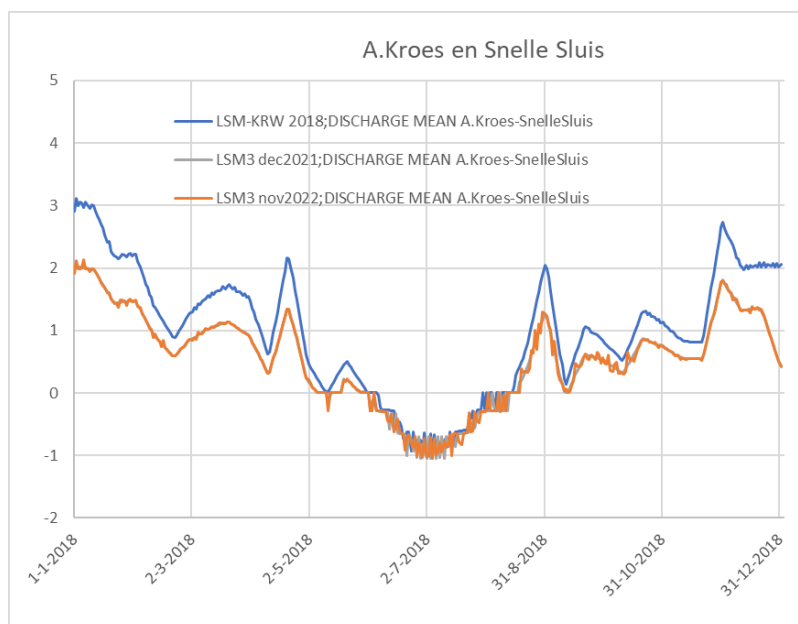
Figuur 59: Debiet aanvoer Winsemius (Brielse meer naar Delfland)

De aanvoer vanuit het Brielse meer via gemaal Winsemius naar Delfland is ten opzichte van de vorige LSM3 som opvallend hoger in het voorjaar (maart-april), terwijl er volgens de metingen dan nauwelijks wordt ingelaten. De timing en de grootte van de inlaat in juni-juli is in LSM3 echter wel beter dan in de SOBEK2 LSM-KRW som (Figuur 59).

Daarentegen berekent LSM3 begin augustus voor enkele dagen een doorvoer tot 1 m³/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 60). 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 61), de LSM3 versies laten hier hetzelfde beeld zien.



Figuur 60: Debiet Schilthuis (Rotteboezem) (negatief = waterinlaat)



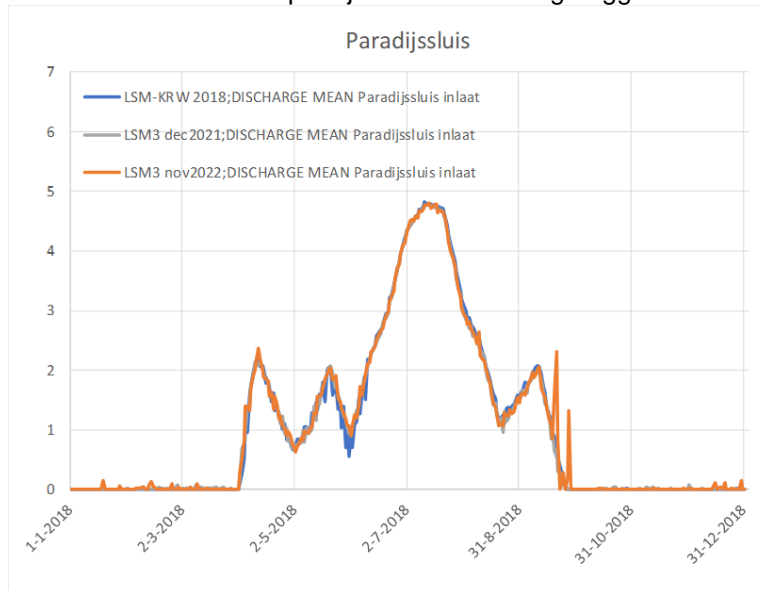
Figuur 61: Debiet A.Kroes en Snelle Sluis (negatief = waterinlaat)

Het peil in Rijnland (Nieuwe Wetering) varieert tussen de -0.60 en -0.67 m NAP in LSM3 en de SOBEK2 modellen. Het peil in Delfland (meetstation Delft) blijft in LSM3 en in de SOBEK2 modellen tussen -0.43 en -0.46 m NAP. Dit is netjes binnen de marges rondom de streefpeilen van deze boezems.

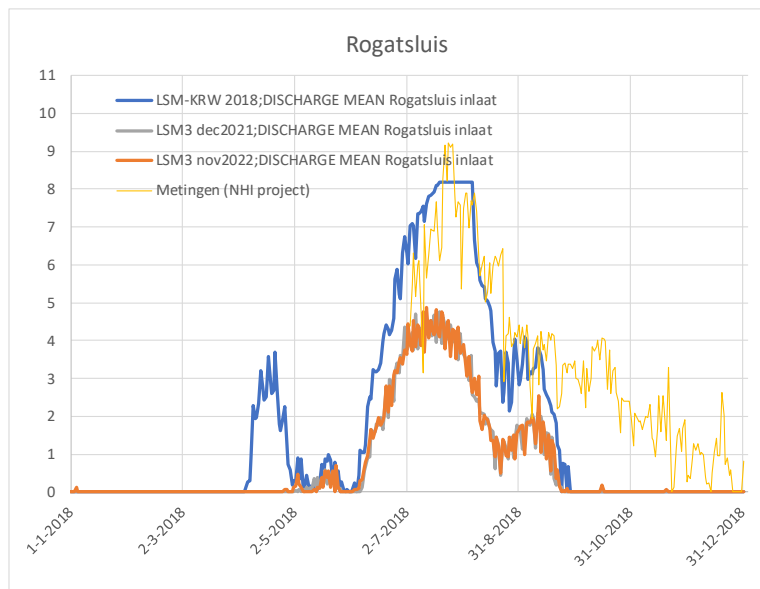
B.2.22

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 62 en Figuur 63 tonen de aangevoerde debieten in de LSM-KRW som en in de LSM3 sommen. 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 het NWM). De aanvoer wordt wel op de juiste momenten getriggerd.



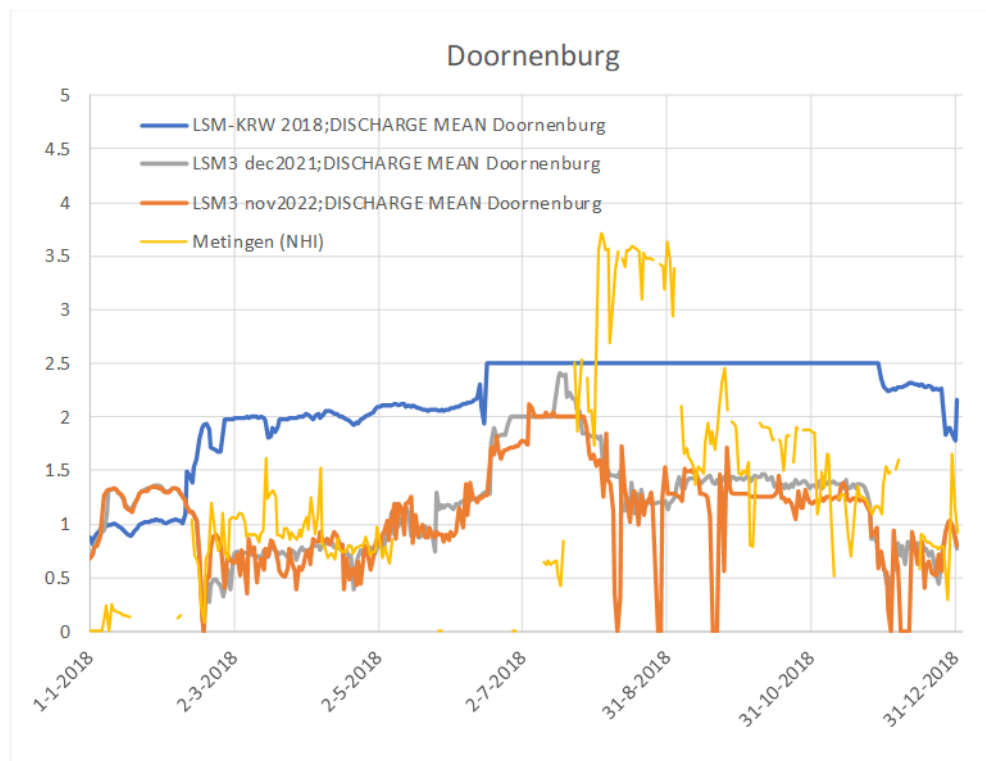
Figuur 62: Aanvoer Paradijssluis



Figuur 63: Aanvoer Rogatsluis

B.2.23 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.

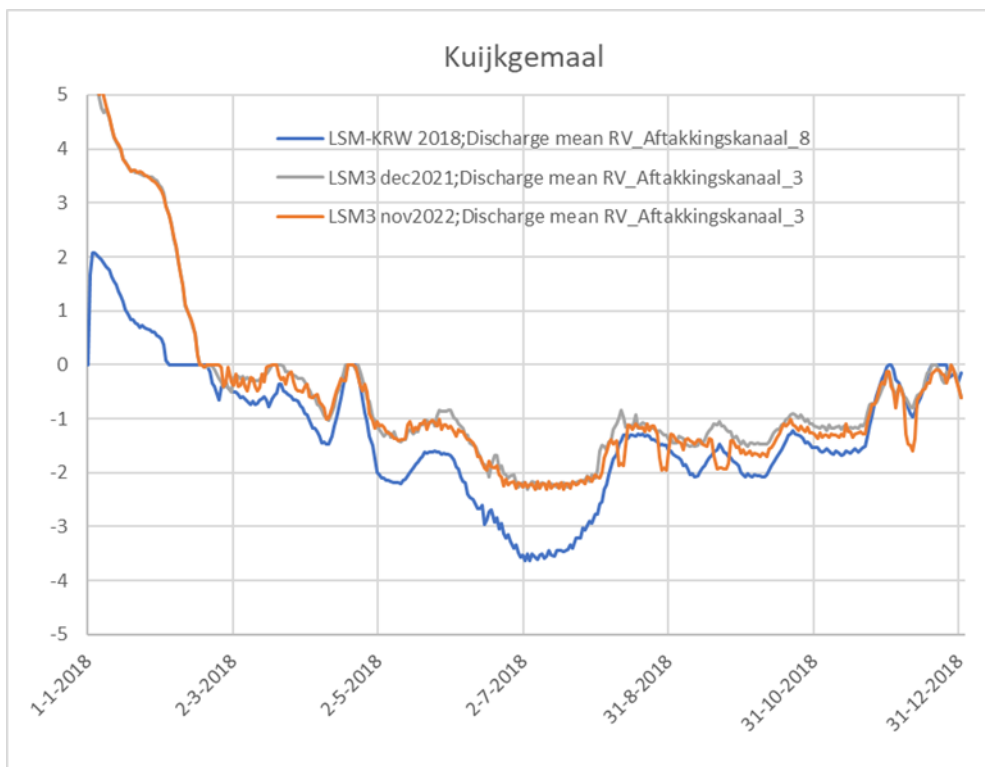


Figuur 64: Aanvoer Doornenburg

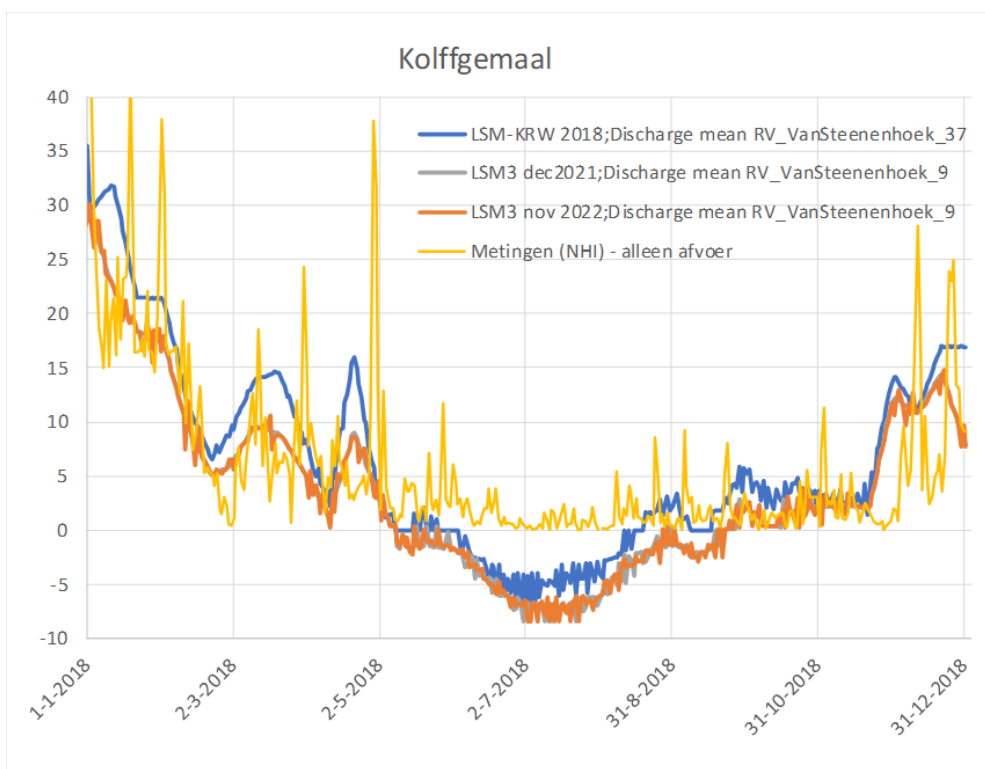
De aanvoer bij Doornenburg is in LSM3 lager dan in het LSM-KRW model (zie Figuur 64), door verschillen in lateralen en/of sturing. De meetreeks van 2018 uit NHI vertoont wat gaten, maar laat zien dat LSM3 de werkelijke inlaat (afgezien van augustus, waar LSM-KRW het beter doet) redelijk representeert.

Voor de aan- en afvoer bij het Kuijkgemaal geldt dat LSM3 een grotere afvoer en een kleinere aanvoer heeft dan het SOBEK2 model (Figuur 65). De laatste LSM3 versie heeft wel iets meer aanvoer dan de december 2021 versie, maar het verschil is gering.

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 66. Het verloop van de afvoer volgt het algemene patroon van de metingen redelijk, ook al zijn de districtlozingen en onttrekkingen op basis van het 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.



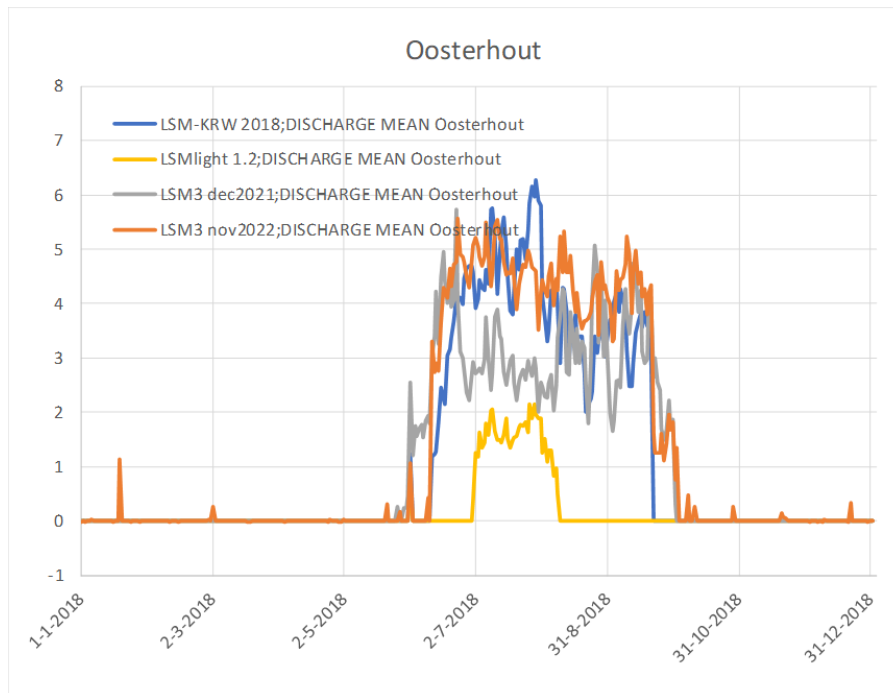
Figuur 65: Aan- en afvoer Kuijgemaal (negatief = aanvoer)



Figuur 66: Aan- en afvoer Kolffgemaal (negatief = aanvoer)

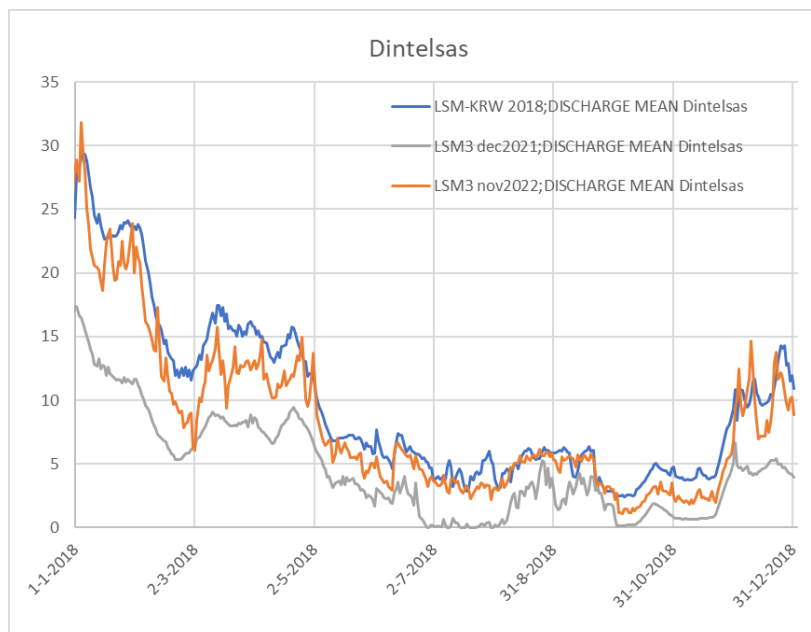
B.2.24 Aanvoer en afvoer West-Brabant

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 67: Debiet bij Oosterhout naar het Mark-Vliet systeem

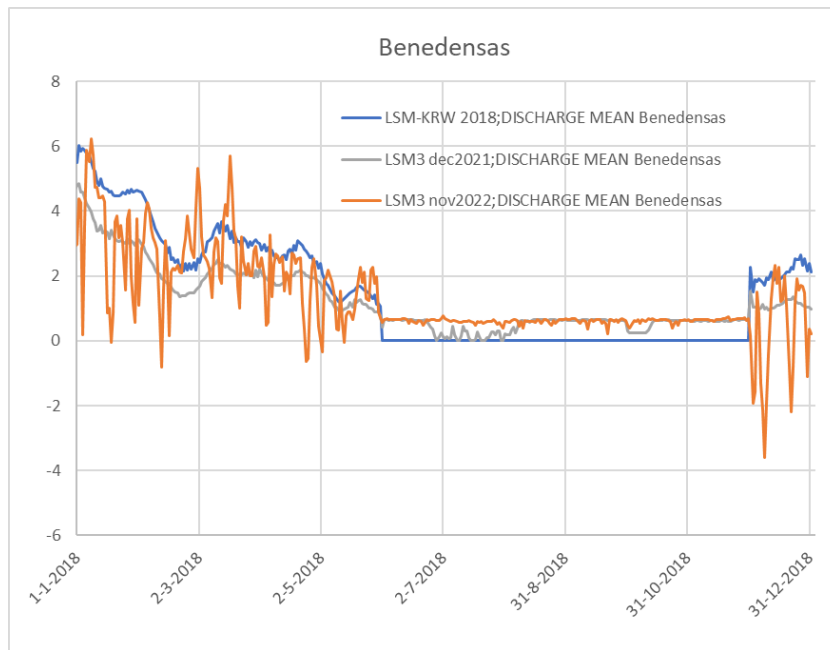
Uit Figuur 67 blijkt dat de aanvoer bij Oosterhout naar het gebied van Brabantse Delta in de LSM-light 1.2 som duidelijk lager is dan in de andere sommen. Daarom zijn voor de andere Brabantse locaties de resultaten van LSM light 1.2 weggelaten. De laatste LSM3 som geeft een hogere inlaat dan de LSM3 som van december 2021, en zit weer dicht bij de LSM-KRW SOBEK2 resultaten.



Figuur 68: Debiet bij Dintelsas

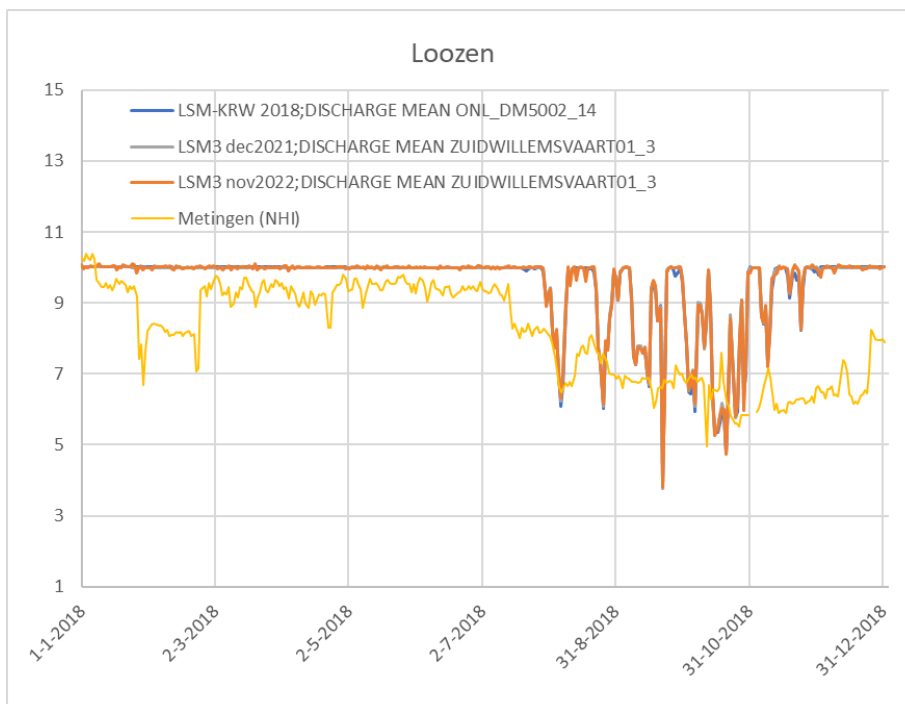
Het debiet bij Dintelsas was in de december 2021 LSM3 versie in juli en oktober gezakt tot vrijwel nul, terwijl in het SOBEK2 LSM-KRW model nog orde 3 m³/s wordt afgevoerd naar het Volkerak. In de nieuwe LSM3 versie zit het debiet weer dicht bij de LSM-KRW debieten (Figuur 68).

Voor de afvoer bij Benedensas (Figuur 69) geldt dat de nieuwe LSM3 som in de zomer net als de december 2021 LSM3 versie een afvoer van net onder de 1 m³/s geeft, terwijl de SOBEK2 LSM-KRW som een debiet van nul geeft. In de winter is de nieuwe LSM3 som echter sterk fluctuerend (zelfs negatief, dus inlaat). Eventueel beschikbare metingen zullen uitsluitsel moeten geven welk model het dichtst bij de werkelijkheid zit.

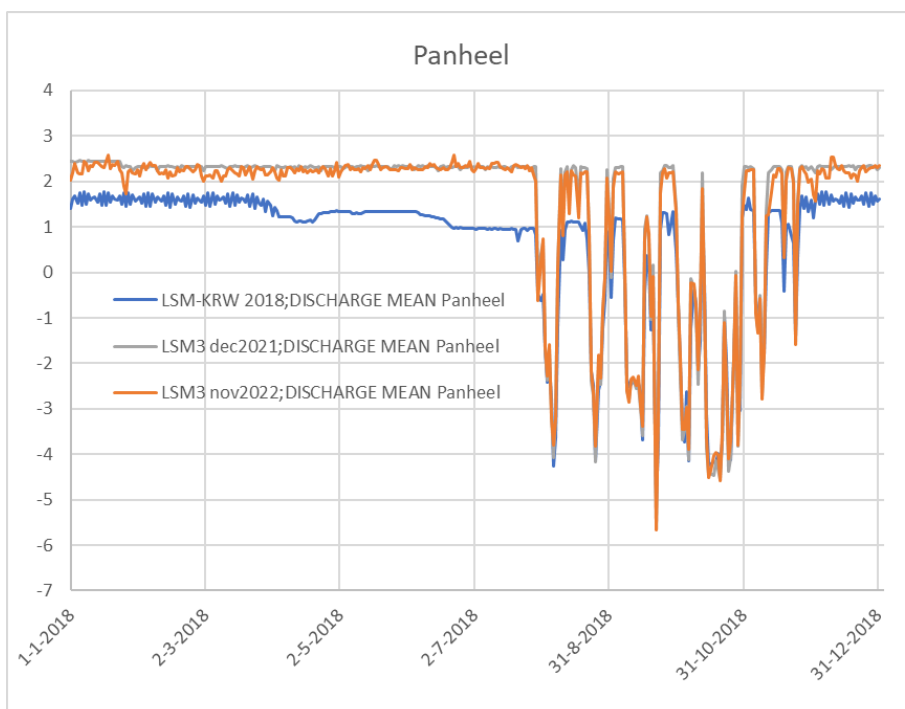


Figuur 69: Debiet bij Benedensas

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 de LSM3 en SOBEK2 modellen wordt de inlaat Panheel vanaf augustus 2018 ingezet (zie Figuur 70 en Figuur 71).



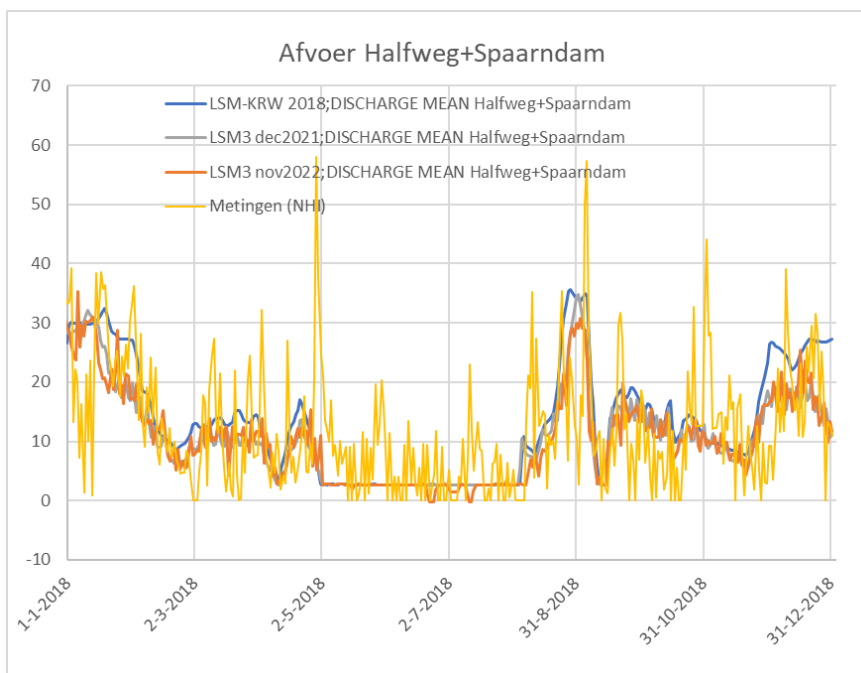
Figuur 70: Debiet bij Loozen



Figuur 71: Debiet bij Panheel (positief= afvoer naar de Maas; negatief= waterinlaat)

B.2.25 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 72 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. De verschillen tussen de LSM3 som van december 2021 en november 2022 zijn gering (en verklaren niet de geconstateerde verschillen bij Gouda).



Figuur 72: Debiet Halfweg+Spaarndam naar Noordzeekanaal

B.2.26 Overige waterstanden

Voor het IJsselmeer is in paragraaf B.2.16 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 [14]), de LSM versie sobek-lsm3-j18_5-v5 van december 2021, en de nieuwe versie sobek-lsm3-j18_5-v6. De bekende indicatoren bias, root mean square error (RMSE) en standaarddeviatie worden gebruikt (Tabel 3).

Een belangrijke kanttekening is dat de waterstandsmetingen geen daggemiddelden zijn, maar instantane waarden. Hiervoor is ook met LSM3 sobek-lsm3-j18_5-v6 een som gemaakt met instantane actuele waarden als uitvoer (naast de hiervoor getoonde gemiddelde debieten). De plaatjes van de waterstanden worden gegeven in bijlage B.3.

Tabel 3: Statistieken van waterstanden.

Locatie	SOBEK- LSM3-j18_5-v2 -minus-Observaties (versie sept 2020)			SOBEK- LSM3-j18_5-v5 -minus-Observaties (versie dec 2021)			SOBEK- LSM3-j18_5-v6 -minus-Observaties (versie nov 2022)		
	Bias	RMSE	Stdv	Bias	RMSE	Stdv	Bias	RMSE	Stdv
Amerongen beneden	0.047	0.152	0.145	-0.027	0.203	0.202	-0.027	0.242	0.24
Amerongen boven	-0.038	0.132	0.127	-0.041	0.134	0.128	-0.039	0.139	0.133
Amsterdam Surinamekade	0.091	0.124	0.085	-0.02	0.042	0.037	-0.014	0.042	0.04

	SOBEK- LSM3-j18_5-v2 -minus-Observaties (versie sept 2020)			SOBEK- LSM3-j18_5-v5 -minus-Observaties (versie dec 2021)			SOBEK- LSM3-j18_5-v6 -minus-Observaties (versie nov 2022)		
Arnhem	0.039	0.154	0.15	0.039	0.154	0.149	0.038	0.161	0.157
Bathse Spuikanaal inloop	2.052	2.142	0.616	-0.091	0.105	0.053	-0.091	0.105	0.053
Belfeld beneden	-0.161	0.226	0.159	-0.05	0.089	0.073	-0.048	0.101	0.089
Belfeld boven	-0.036	0.143	0.139	-0.048	0.084	0.07	-0.044	0.093	0.082
Bergse Diepsluis west	-1.266	1.65	1.06	0.259	1.108	1.079	-0.134	0.195	0.142
Brouwers- havensche Gat 08	-0.075	0.856	0.854	-0.074	0.857	0.855	-0.04	0.269	0.267
Buggenum Hanssummerwaard	-0.107	0.232	0.206	-0.081	0.145	0.12	-0.076	0.151	0.131
Buitenhuizen (kilometer 10)	0.105	0.136	0.086	-0.008	0.038	0.037	-0.01	0.044	0.043
Culemborg brug	0.016	0.169	0.169	-0.06	0.227	0.22	-0.052	0.25	0.245
Deventer	0.049	0.229	0.224	0.038	0.186	0.182	0.039	0.188	0.184
Dodewaard	0.196	0.211	0.077	0.182	0.199	0.08	0.187	0.21	0.095
Doesburg brug	0.106	0.154	0.112	0.113	0.147	0.095	0.112	0.151	0.102
Driel beneden	0.033	0.136	0.132	0.034	0.135	0.131	0.032	0.149	0.146
Driel boven	-0.006	0.178	0.178	-0.007	0.176	0.176	-0.007	0.189	0.189
Eefde beneden	0.058	0.219	0.212	0.044	0.172	0.167	0.044	0.174	0.169
Eijsden grens	-0.11	0.159	0.116	0.017	0.13	0.129	0.014	0.15	0.15
Genep	-0.087	0.155	0.129	-0.047	0.091	0.078	-0.046	0.097	0.086
Goidschalxoord	-0.034	0.073	0.065	-0.046	0.384	0.381	-0.026	0.069	0.064
Gouda brug	-0.015	0.088	0.087	-0.019	0.506	0.506	-0.008	0.071	0.07
Grave beneden	-0.088	0.171	0.147	-0.032	0.087	0.082	-0.03	0.095	0.091
Grave boven	-0.009	0.084	0.084	-0.015	0.077	0.075	-0.016	0.08	0.078
Grevelingen boei G22	0.002	0.048	0.048	0.003	0.048	0.048	0.005	0.046	0.046
Grevenbicht	-0.159	0.502	0.476	0.036	0.44	0.439	0.064	0.436	0.432
Hagestein beneden	0.034	0.175	0.172	-0.085	0.429	0.422	0.027	0.18	0.179
Hagestein boven	0.02	0.153	0.152	-0.057	0.217	0.209	-0.046	0.238	0.234
Haringvliet 10	0.001	0.013	0.013	0.159	0.753	0.737	0.001	0.013	0.013
Heel beneden	-0.103	0.194	0.165	-0.066	0.102	0.078	-0.062	0.111	0.092
Heel boven	-0.023	0.072	0.069	-0.025	0.072	0.067	-0.025	0.071	0.067

	SOBEK- LSM3-j18_5-v2 -minus-Observaties (versie sept 2020)			SOBEK- LSM3-j18_5-v5 -minus-Observaties (versie dec 2021)			SOBEK- LSM3-j18_5-v6 -minus-Observaties (versie nov 2022)		
Heesbeen	-0.111	0.178	0.139	-0.216	0.254	0.134	-0.073	0.126	0.102
Hellevoetsluis	-0.059	0.119	0.104	-0.195	0.25	0.156	-0.057	0.116	0.101
Hoek van Holland	-0.005	0.065	0.065	0.131	0.628	0.615	-0.007	0.024	0.023
IJsselkop	0.085	0.108	0.067	0.085	0.108	0.067	0.084	0.119	0.084
Kampen bovenhaven	-0.025	0.102	0.099	-0.003	0.095	0.095	0.007	0.091	0.09
Katerveer	-0.026	0.131	0.129	-0.015	0.105	0.104	-0.009	0.102	0.102
Kats binnen	1.156	1.163	0.126	-0.006	0.195	0.195	-0.003	0.199	0.199
Kats buiten	-1.292	1.621	0.98	0.252	1.03	1	-0.113	0.151	0.1
Keizersveer	-0.073	0.116	0.09	-0.199	0.242	0.138	-0.059	0.098	0.078
Krammersluizen west	-1.298	1.637	0.999	0.24	1.044	1.017	-0.124	0.171	0.118
Krimpen ad IJssel	-0.003	0.057	0.057	-0.006	0.474	0.475	0.003	0.055	0.055
Krimpen ad Lek	-0.032	0.068	0.06	-0.055	0.418	0.415	-0.029	0.068	0.061
Lauwersoog	-0.891	1.192	0.793	-0.892	1.195	0.796	0	0.002	0.002
Linne beneden	-0.028	0.085	0.081	0.022	0.101	0.099	0.023	0.105	0.103
Lith boven	0.041	0.124	0.117	0.038	0.12	0.114	0.038	0.118	0.112
Lith dorp	-0.195	0.314	0.246	-0.231	0.284	0.166	-0.095	0.182	0.156
Lobith	0.08	0.094	0.051	0.08	0.096	0.053	0.079	0.123	0.094
Loozen (kilometer 50)	4.685	4.685	0.022	0.25	0.265	0.09	0.249	0.263	0.087
Maarsse	0.086	0.117	0.08	-0.022	0.048	0.043	0.019	0.044	0.04
Maaseik	-0.184	0.252	0.172	-0.083	0.156	0.132	-0.079	0.171	0.152
Maassluis	-0.022	0.054	0.049	0.075	0.569	0.565	0.024	0.048	0.042
Marollegat	-1.269	1.666	1.081	0.26	1.129	1.1	-0.143	0.229	0.179
Moerdijk	-0.056	0.108	0.093	-0.187	0.238	0.147	-0.053	0.104	0.09
Mond der Vecht	-0.035	0.127	0.122	-0.005	0.117	0.117	0.004	0.112	0.112
Mook	-0.019	0.077	0.074	-0.012	0.06	0.059	-0.013	0.063	0.062
Neer	-0.08	0.175	0.156	-0.057	0.092	0.072	-0.053	0.102	0.087
Nieuw- Vossemeer	2.053	2.145	0.619	-0.089	0.105	0.055	-0.088	0.104	0.055
Nieuwegein	0.08	0.116	0.084	-0.026	0.052	0.045	0.014	0.046	0.044
Nijmegen haven	0.192	0.212	0.089	0.188	0.208	0.088	0.189	0.215	0.104

	SOBEK- LSM3-j18_5-v2 -minus-Observaties (versie sept 2020)			SOBEK- LSM3-j18_5-v5 -minus-Observaties (versie dec 2021)			SOBEK- LSM3-j18_5-v6 -minus-Observaties (versie nov 2022)		
Noord Volkerak boei NV3	2.057	2.15	0.624	-0.086	0.129	0.097	-0.084	0.128	0.096
Olst	0.044	0.205	0.2	0.04	0.164	0.159	0.042	0.164	0.159
Oosterschelde 04	-1.423	1.742	1.006	0.141	1.022	1.014	-0.098	0.125	0.076
Oosterschelde 11	-1.425	1.75	1.016	0.179	1.038	1.023	0	0.001	0.001
Oosterschelde 14	-1.416	1.698	0.938	0.148	0.966	0.956	-0.101	0.159	0.123
Oranjeplaat Schenge	1.159	1.166	0.128	-0.003	0.198	0.198	-0.001	0.202	0.202
Pannerdense Kop	0.105	0.119	0.056	0.105	0.119	0.058	0.104	0.14	0.094
Rak noord	-0.055	0.113	0.099	-0.19	0.246	0.156	-0.052	0.109	0.096
Rak zuid	2.051	2.141	0.616	-0.091	0.109	0.06	-0.09	0.107	0.059
Roermond boven	-0.037	0.109	0.102	-0.033	0.07	0.062	-0.033	0.072	0.065
Roompot binnen	-1.352	1.615	0.885	0.185	0.918	0.901	-0.095	0.112	0.06
Roompot buiten	-1.382	1.726	1.036	0.162	1.056	1.045	-0.085	0.147	0.12
Rotterdam	0.004	0.052	0.052	0.035	0.545	0.545	0.016	0.05	0.048
Sambeek boven	-0.022	0.087	0.084	-0.032	0.076	0.069	-0.032	0.078	0.071
Scheveningen				0.217	0.648	0.612	0.016	0.265	0.265
Schijndel	0.192	0.194	0.031	0.11	0.115	0.033	0.124	0.128	0.032
Schoonhoven	-0.05	0.091	0.076	-0.115	0.4	0.383	-0.053	0.098	0.082
Sint Pieter noord	-0.09	0.141	0.108	-0.035	0.069	0.06	-0.036	0.075	0.066
Spijkenisse	-0.027	0.056	0.05	0.017	0.51	0.51	-0.006	0.051	0.051
Spooldersluis binnen	-0.027	0.137	0.134	0.003	0.127	0.127	0.012	0.123	0.122
Stavenisse	-1.299	1.629	0.985	0.241	1.03	1.003	-0.114	0.146	0.09
Stellendam buiten	0.003	0.085	0.085	0.169	0.75	0.731	0.003	0.085	0.085
Stevensweert	-0.088	0.121	0.084	-0.061	0.091	0.068	-0.06	0.096	0.075
Tiel Waal	0.138	0.158	0.077	0.097	0.128	0.083	0.114	0.149	0.096
Vechterweerd beneden	-0.103	0.27	0.25	-0.027	0.179	0.177	-0.02	0.172	0.172
Venlo	-0.19	0.276	0.201	-0.102	0.142	0.098	-0.1	0.149	0.11
Vlaardingen	-0.022	0.05	0.045	0.041	0.559	0.558	0.009	0.049	0.048
Vuren	-0.02	0.079	0.077	-0.134	0.191	0.136	-0.024	0.081	0.078
Weesp West	0.093	0.123	0.081	-0.018	0.043	0.04	0.003	0.039	0.039

	SOBEK- LSM3-j18_5-v2 -minus-Observaties (versie sept 2020)			SOBEK- LSM3-j18_5-v5 -minus-Observaties (versie dec 2021)			SOBEK- LSM3-j18_5-v6 -minus-Observaties (versie nov 2022)		
Well dorp	-0.081	0.129	0.101	-0.049	0.076	0.058	-0.049	0.085	0.07
Werkendam buiten	-0.067	0.097	0.07	-0.184	0.229	0.136	-0.069	0.097	0.068
Wijk bij Duurstede kanaal	0.085	0.12	0.084	-0.019	0.054	0.05	0.022	0.053	0.048
Wilhelminakanaal sluis III	0.117	0.141	0.079	0.103	0.111	0.042	0.118	0.127	0.047
Yerseke	-1.26	1.633	1.041	0.272	1.094	1.061	-0.113	0.186	0.148
Zaltbommel	0.039	0.1	0.092	-0.047	0.122	0.113	0.029	0.105	0.101
Zuidland	-0.08	0.144	0.12	-0.162	0.232	0.166	-0.077	0.142	0.12
Zuidwillemsvaart sluis 04 bovenwaterstand	0.147	0.15	0.029	0.067	0.073	0.029	0.081	0.086	0.03
Zuidwillemsvaart sluis 11	0.209	0.226	0.085	0.132	0.137	0.035	0.138	0.15	0.058
Zuidwillemsvaart sluis 13	0.82	0.821	0.036	0.372	0.375	0.049	0.375	0.38	0.057
Zuidwillemsvaart sluis 6	0.32	0.321	0.032	0.231	0.234	0.035	0.248	0.251	0.036
Zutphen noord	0.054	0.208	0.201	0.044	0.166	0.16	0.044	0.168	0.162

B.2.27 Rekeningtijd

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

In grijs is de rekeningtijd van de som met de DIMRSet van november 2021 (gebruikt voor de december 2021 oplevering) en met de DIMRSet van november 2022 gegeven. Opvallend is dat de rekeningtijd met de DIMRSet van 2022 duidelijk langer is, en dat beide sommen met de laatste versie van de schematisatie (v6) duidelijk langer rekenen dan de met vorige versie van de schematisatie (v5).

Tabel 4: Rekeningtijd LSM3 met en zonder zout/temperatuur, volgens DIMR en 1D-Flow rekenkern

Model	Max. Courant getal	Zout en temperatuur	SOBEK versie	DIMR Rekeningtijd (totale doorlooptijd)	DIMR rekeningtijd 1D-Flow
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	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	11257 s 3 uur 7 min	10878 s

Model	Max. Courant getal	Zout en temperatuur	SOBEK versie	DIMR Rekentijd (totale doorlooptijd)	DIMR rekentijd 1D-Flow
			Stap 0.025		
LSM3 sobek-lsm3-j18_5-v6	0.9	Met	DIMRSET november 2021	4 uur 57 min	17814 s
LSM3 sobek-lsm3-j18_5-v6	0.9	Met	DIMRSET november 2022	6 uur 24 min	23200 s
LSM light 1.2	2.0	Zonder	SOBEK 2.13.002	1 uur 51 min	n.v.t.

Ten opzichte van de DIMRSet versie van eind 2021 is de rekentijd weer flink langer (ruim een factor 2). Voor temperatuur zijn weliswaar invoergrids toegevoegd met de nodige invoer voor de temperatuurberekeningen, terwijl eerder met uniforme invoer voor temperatuur werd gerekend; dat scheelt wel iets in zowel inlezen als elke rekentijdstap de waarden voor de actuele tijdstap uit het grid interpoleren, maar verklaart nog niet dit grote verschil in rekentijd.

Dit moet nader onderzocht worden door de rekenkern aanpassingen na de DIMRSET van 23 november 2021 na te lopen op implicaties voor de performance.

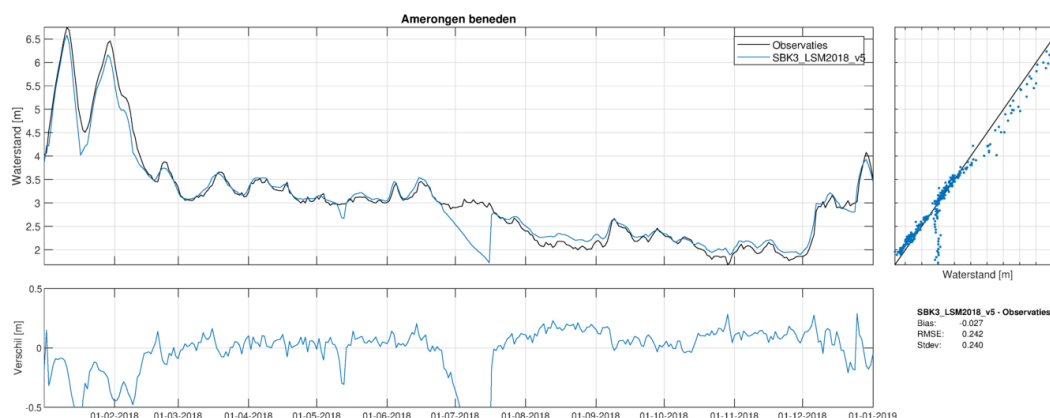
B.3 Resultaten waterstanden

In de volgende figuren wordt het verloop van de waterstanden getoond van alle locaties genoemd in Tabel 3 (paragraaf B.2.26). In de figuren zijn zichtbaar:

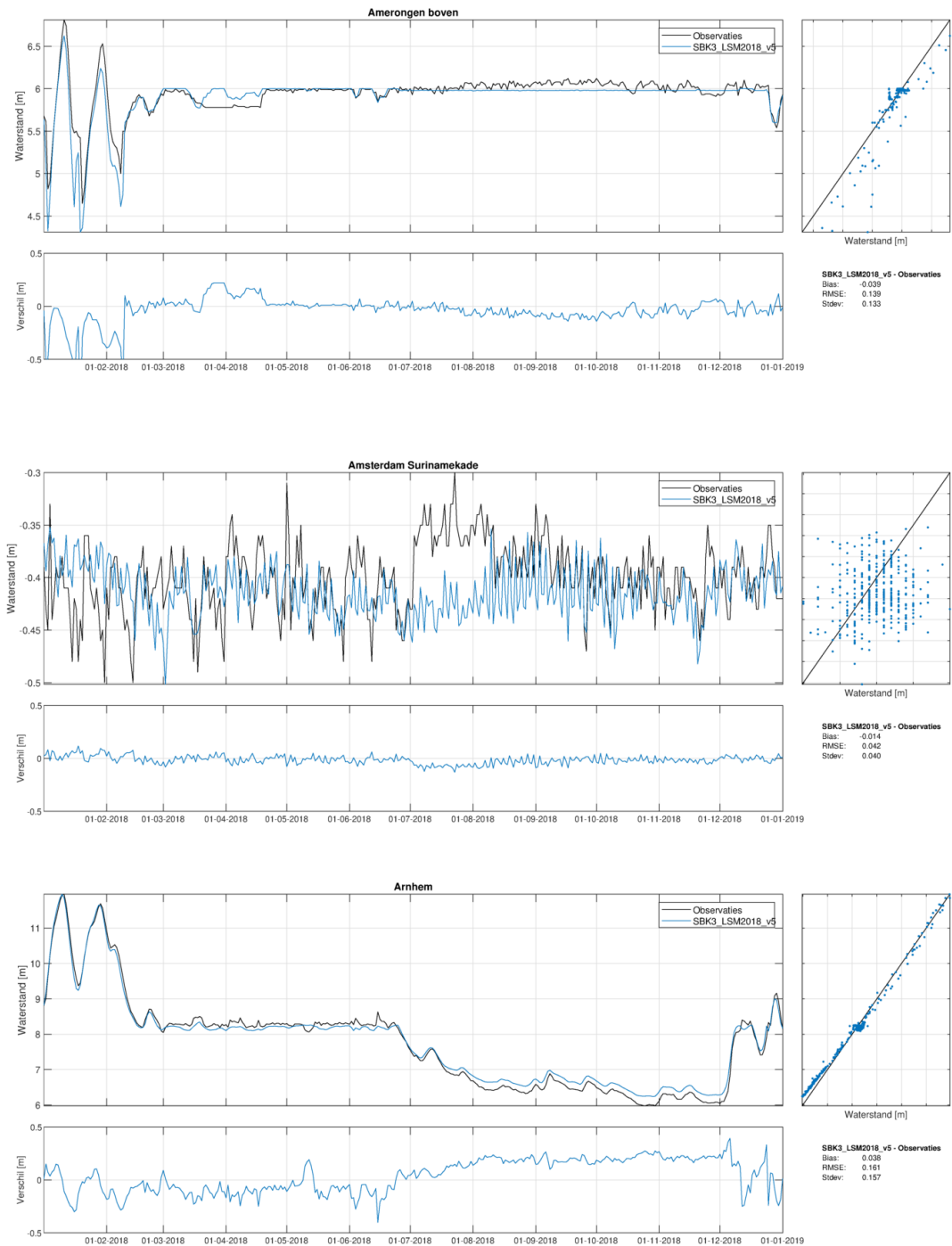
- De metingen, instantane dagwaarden, in zwart;
- De resultaten van sobek-lsm3-j18-5-v6 (november 2022), daggemiddelde waarden in blauw en gelabeld als SBK3_LSM2018_v5.

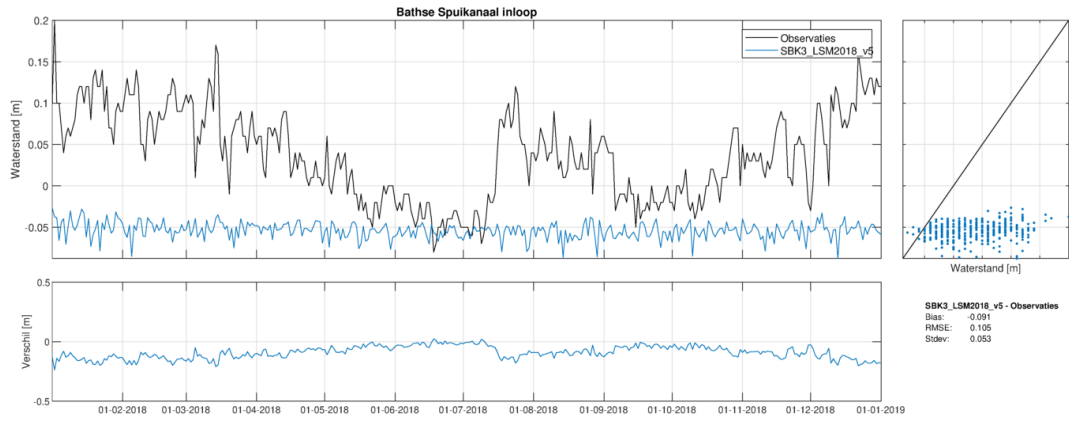
De figuren bevatten naast de metingen en de modelresultaten (bovenste plaatje) ook de verschillen van de modellen met de metingen (onderste plaatje), en rechts naast de plaatjes de kentallen voor bias, root mean square error en standaarddeviaties, en een plaatje waarbij de gemeten waterstanden zijn uitgezet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

Bij opvallende plaatjes wordt nog een korte toelichting gegeven.

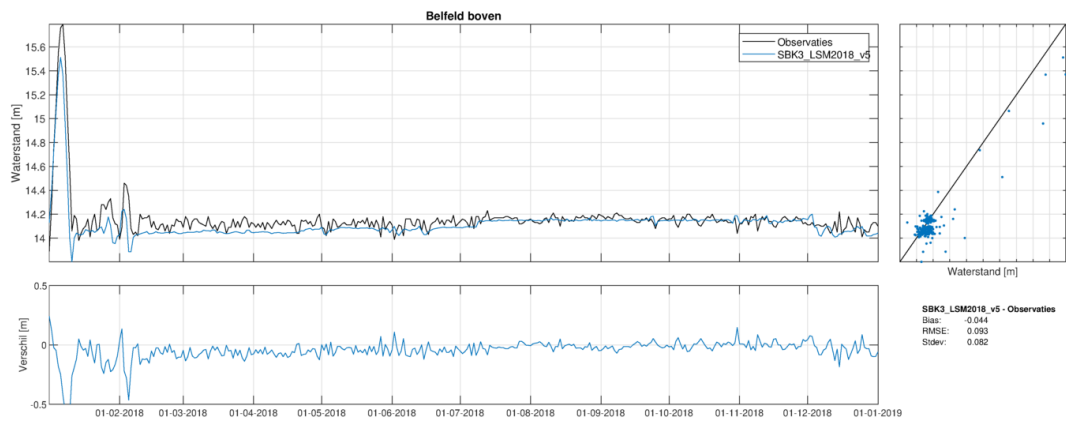
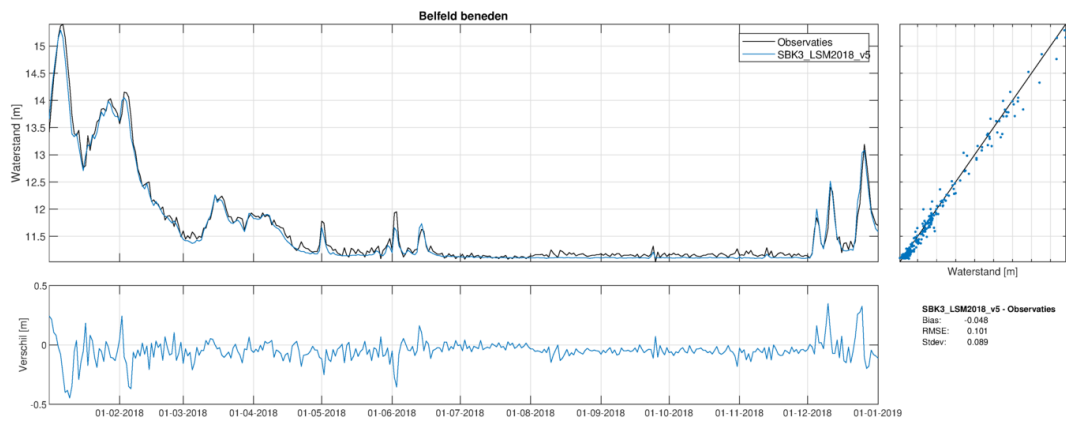


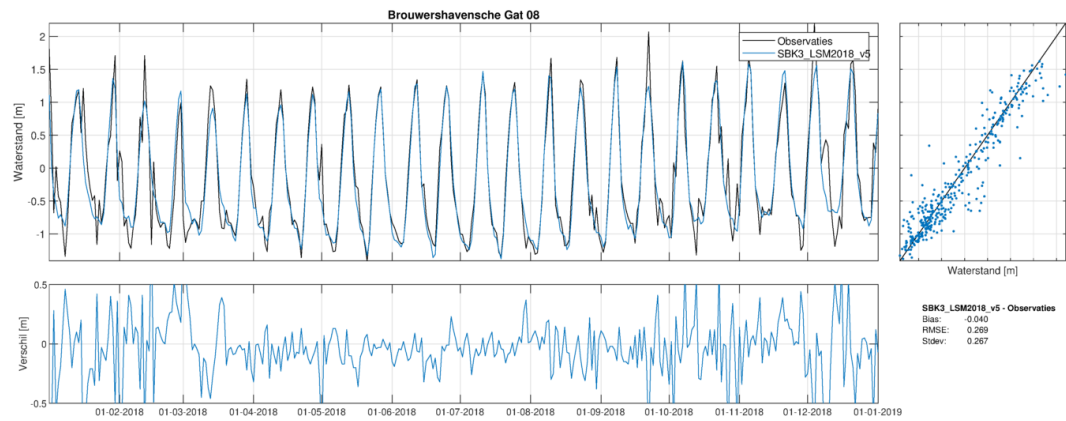
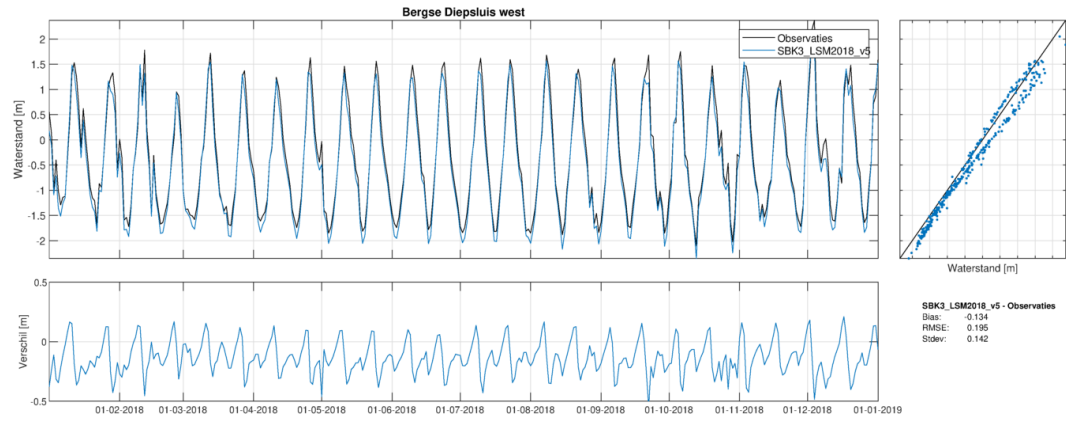
Het stuwpand Hagestein zakt in juli uit, terwijl dat in de metingen nog beperkt is. Een en ander hangt samen met het (niet-standaard) beheer dat gevoerd is in de droge zomer van 2018 (maatregelen LCW, werkzaamheden bij Driel, etc). In de nieuwe som zakt het peil ook iets verder uit dan in de december 2021 som (vergelijk met de rapportage van 2021).



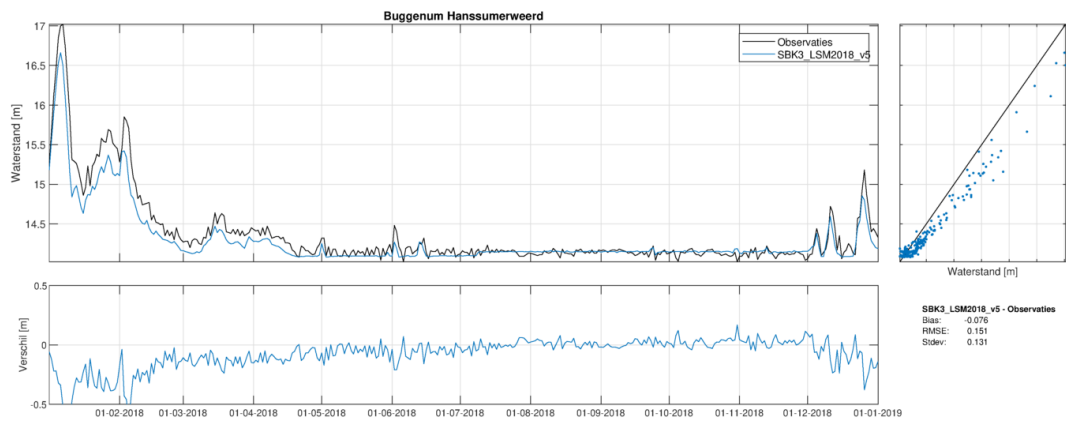


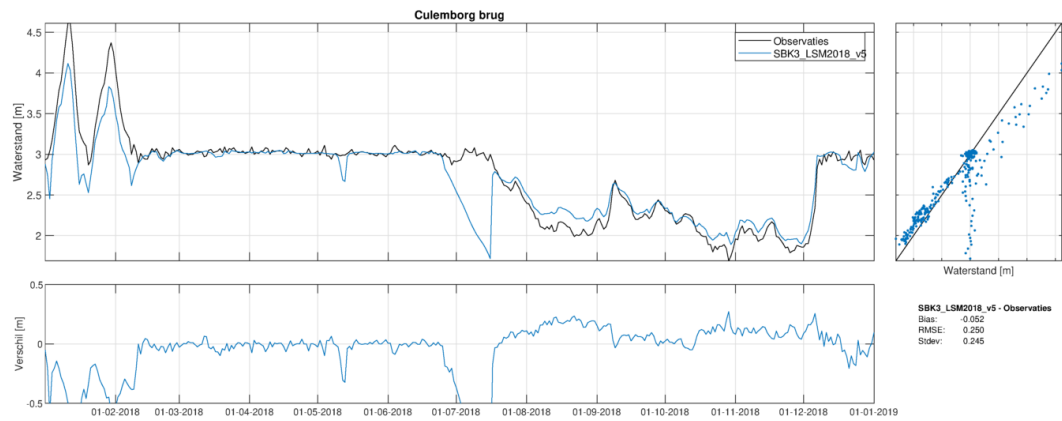
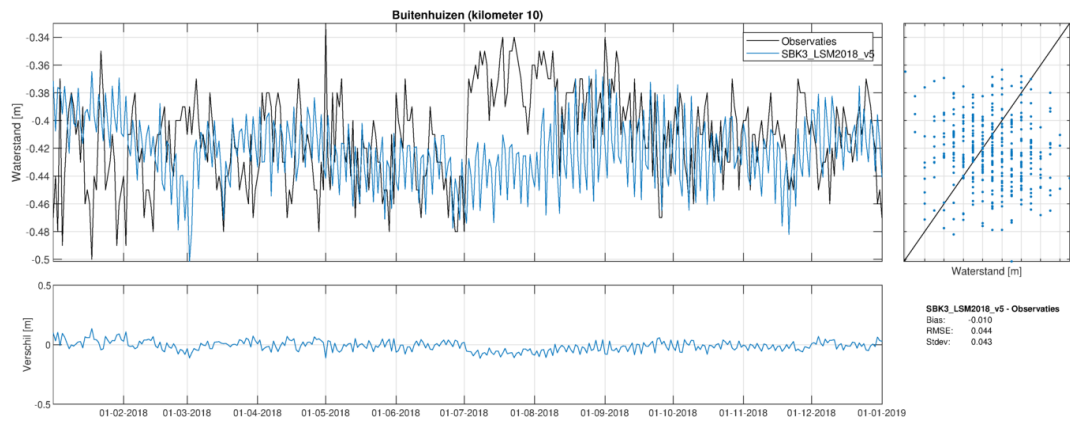
In het model wordt het peil in het Zoommeer en Bathse spuikanaal rond de -0.05 m NAP gehouden, terwijl het in de praktijk iets hoger en variabeler is.



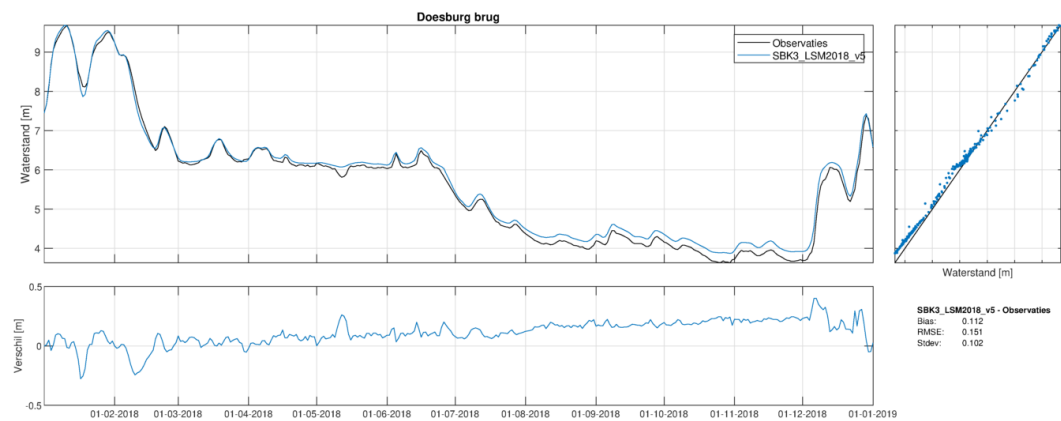
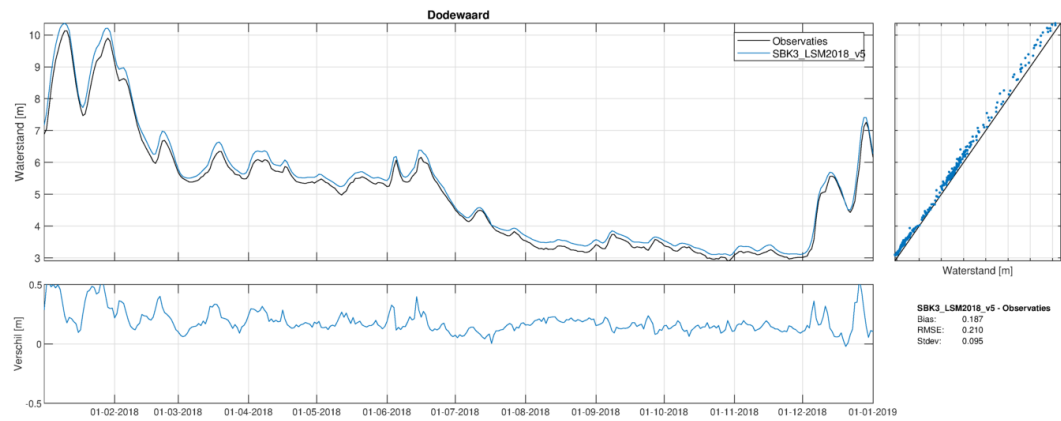
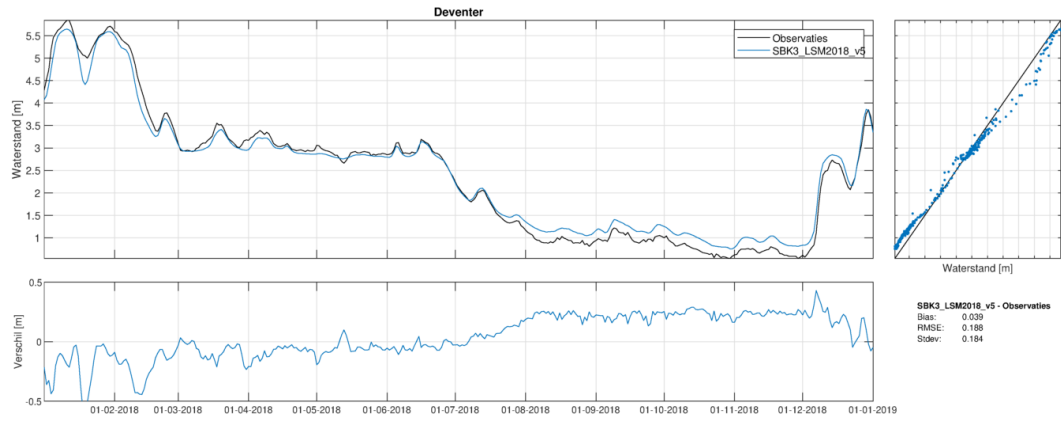


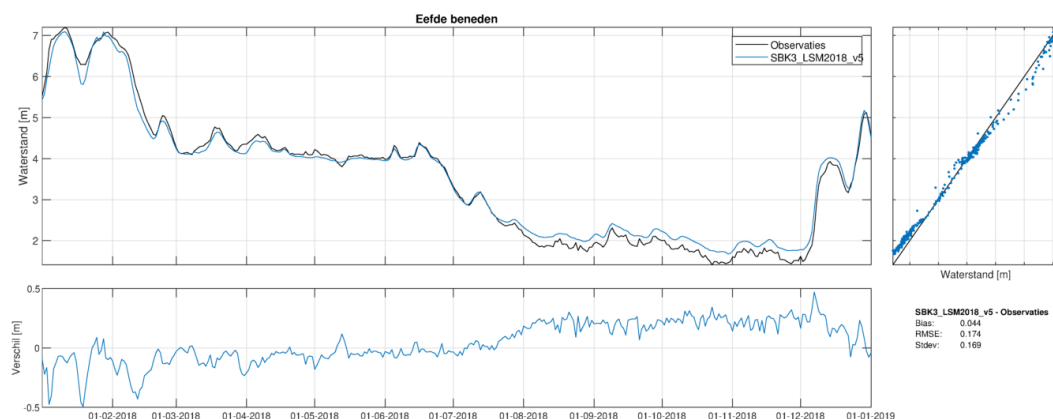
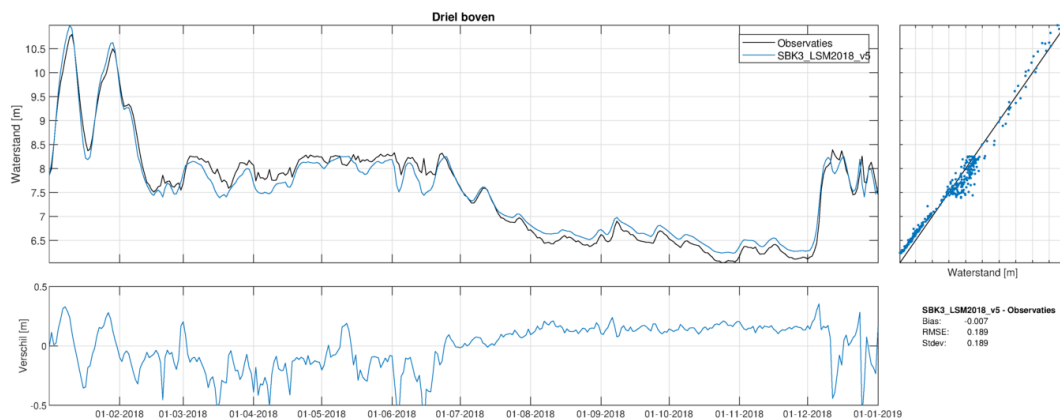
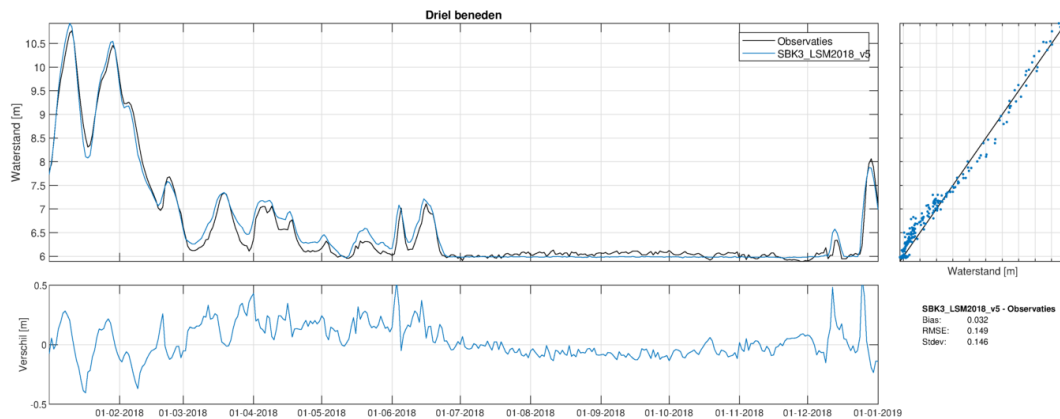
Bij het meetpunt Brouwershavensche Gat08 zijn de resultaten verbeterd, want eerder werd een buitenwaterstand vergeleken met een binnenwaterstand. Dat is gecorrigeerd.

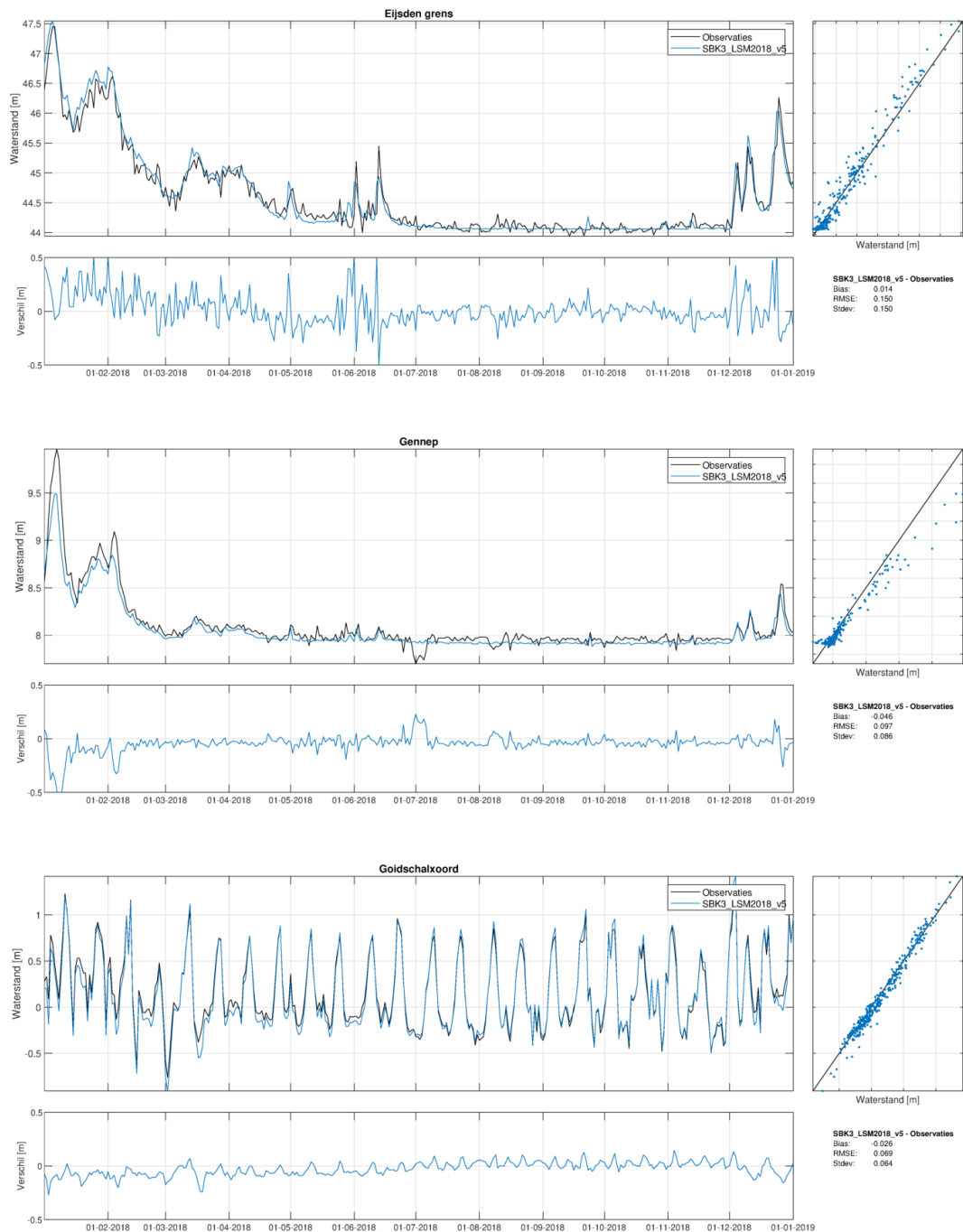




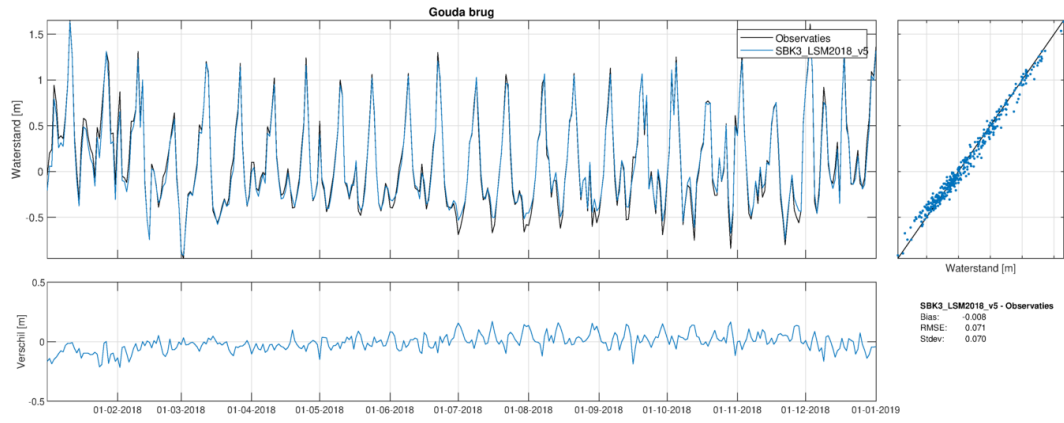
Het meetpunt Culemborg brug volgt het peil van stuwwand Hagestein, net als de meetpunten Amerongen beneden en Hagestein boven. Bij meetpunt Amerongen beneden is al toegelicht dat het peil verder uitzakt dan in de metingen.

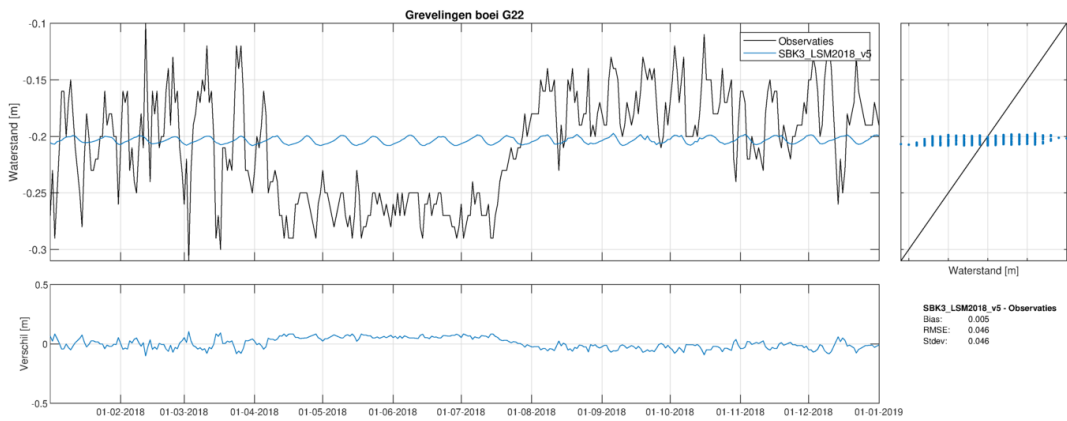
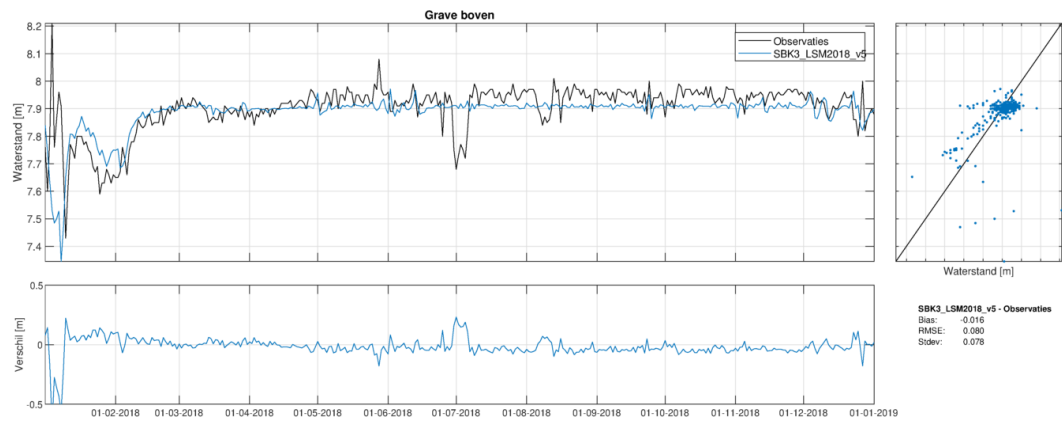




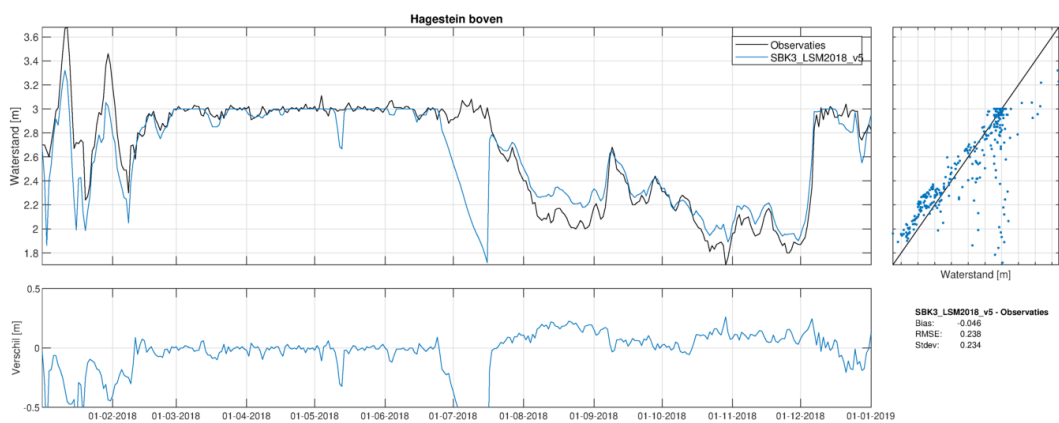
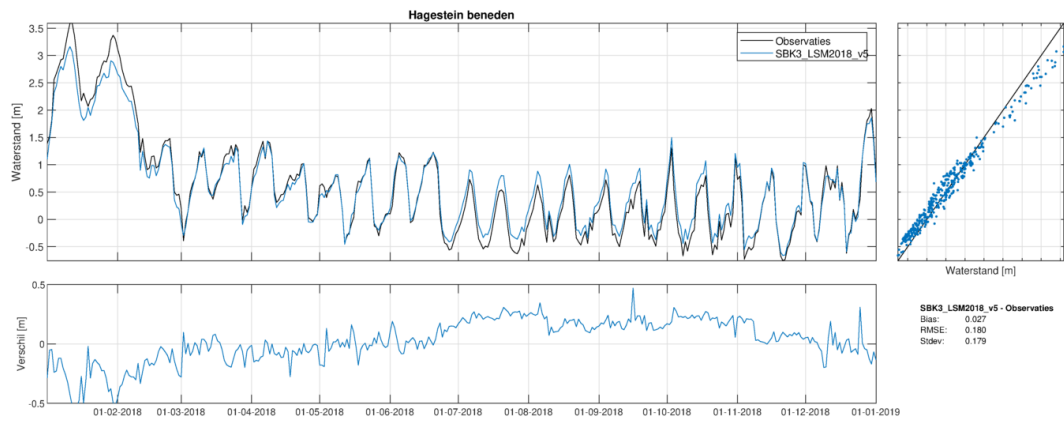
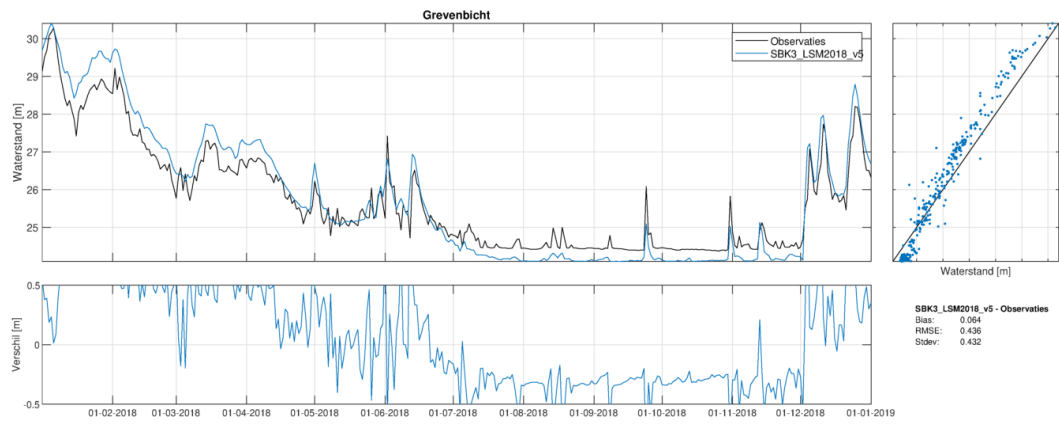


Door vergelijking van instantane modelresultaten in plaats van daggemiddelde modelresultaten is de vergelijking voor deze locatie en andere locaties onder invloed van getij verbeterd.

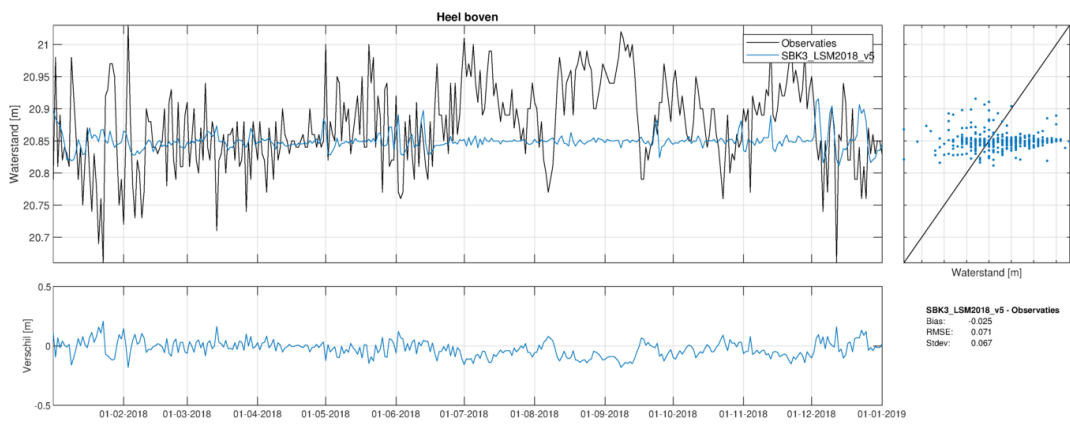
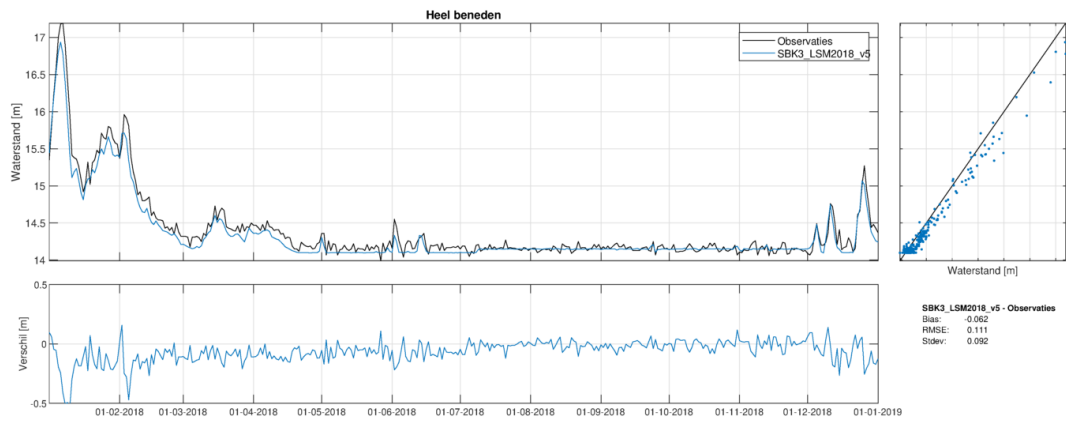
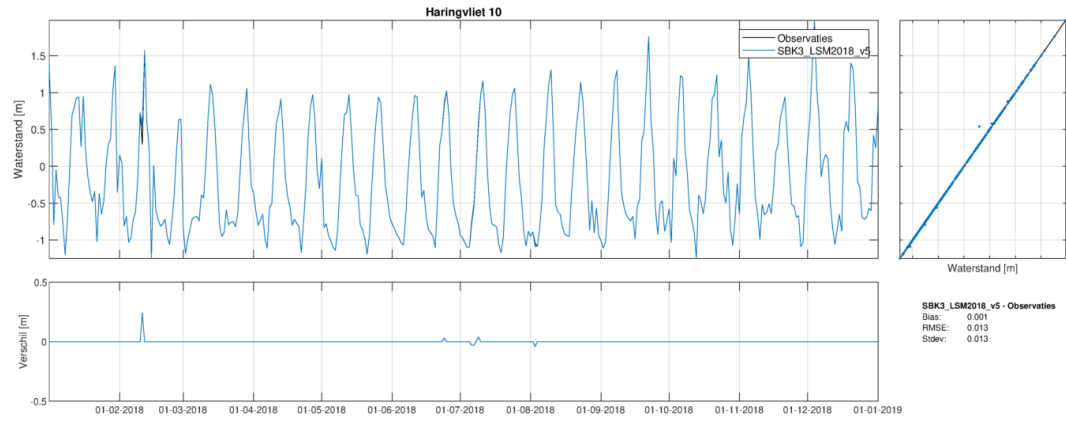


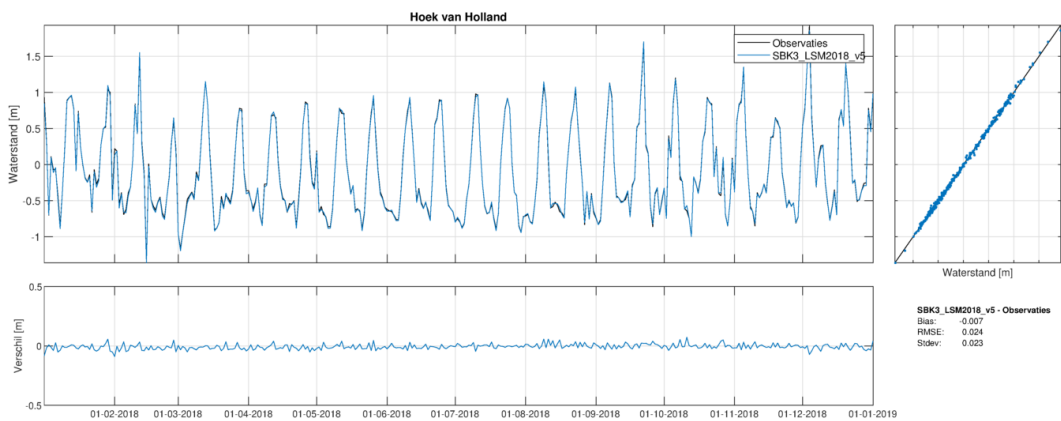
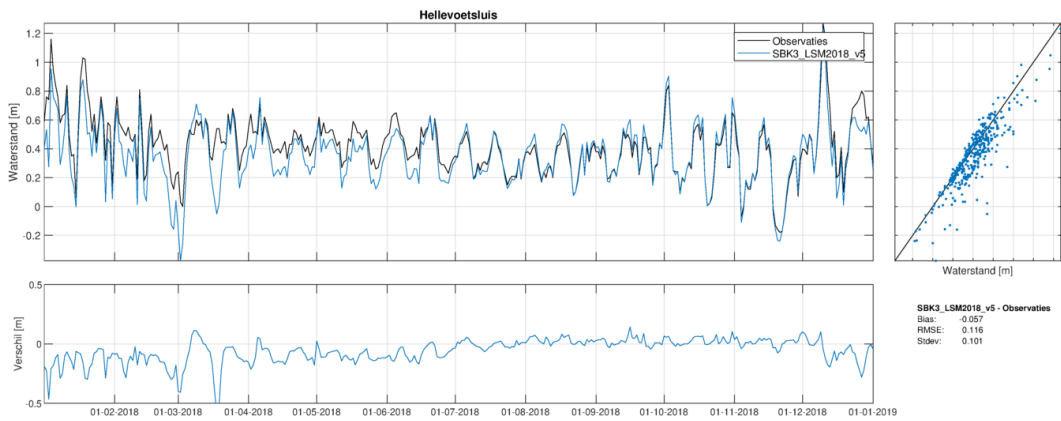
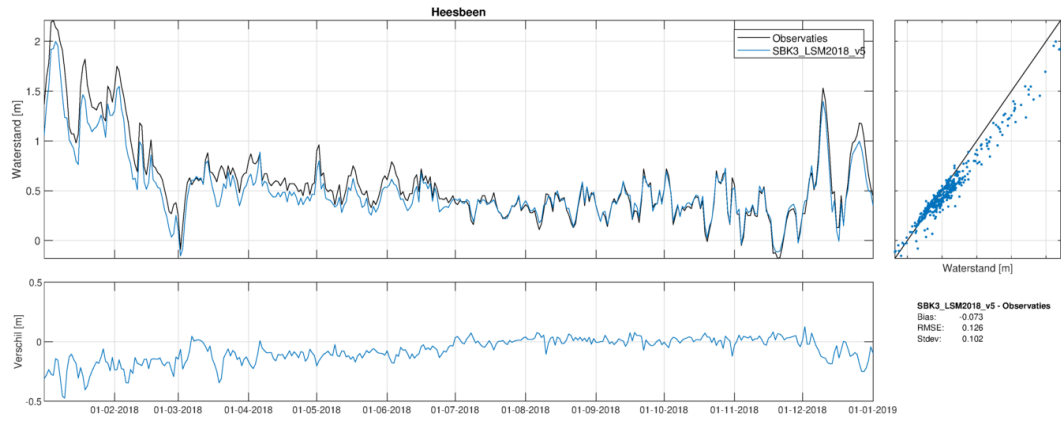


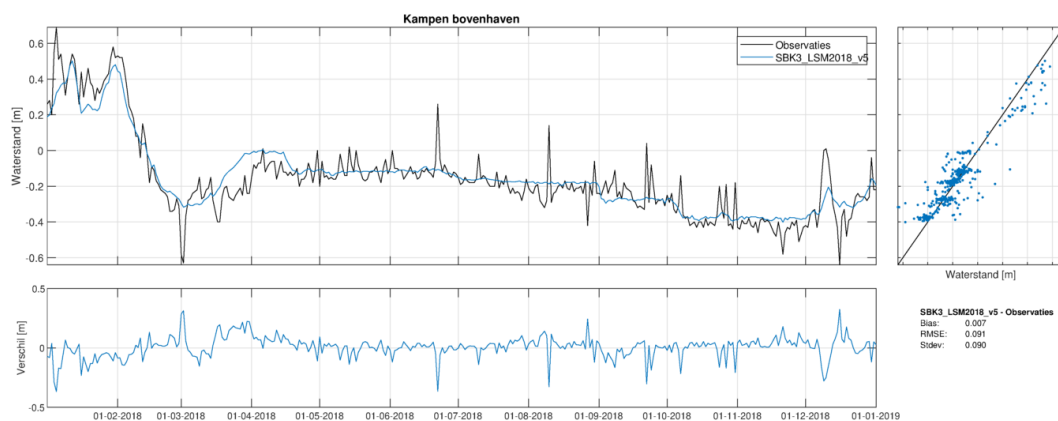
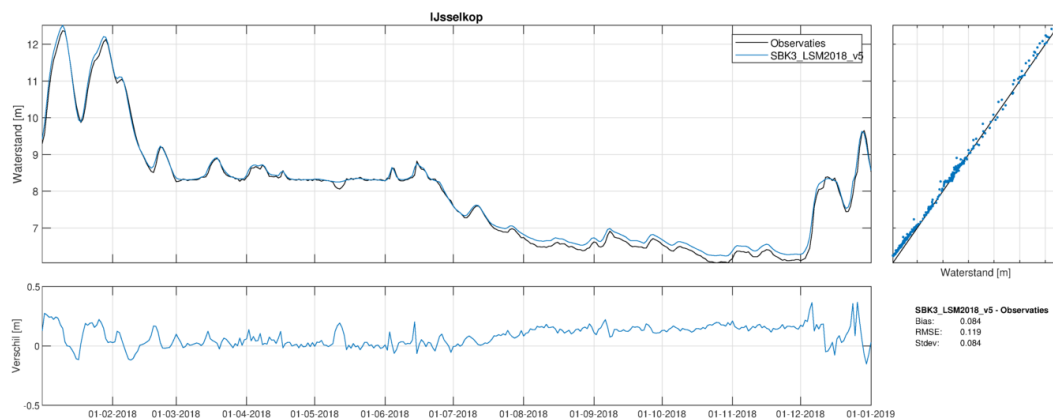
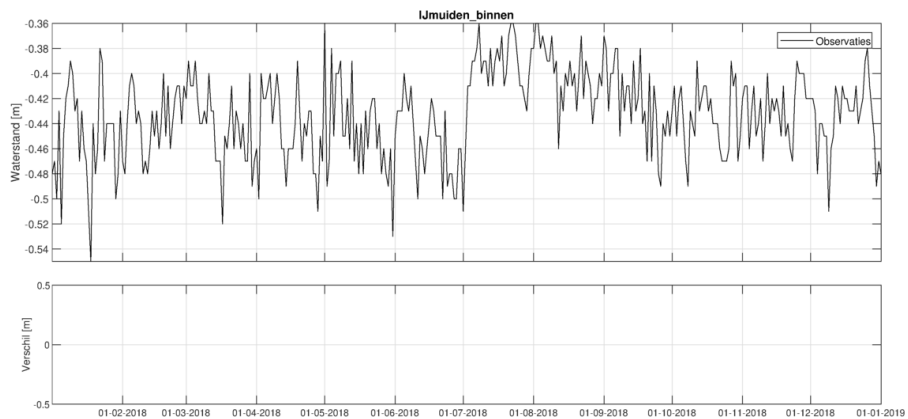
Het peil in de Grevelingen wordt in het model rond de -0.2 m NAP gehouden. In de metingen blijkt dat het peil in de periode april-juli iets is verlaagd.

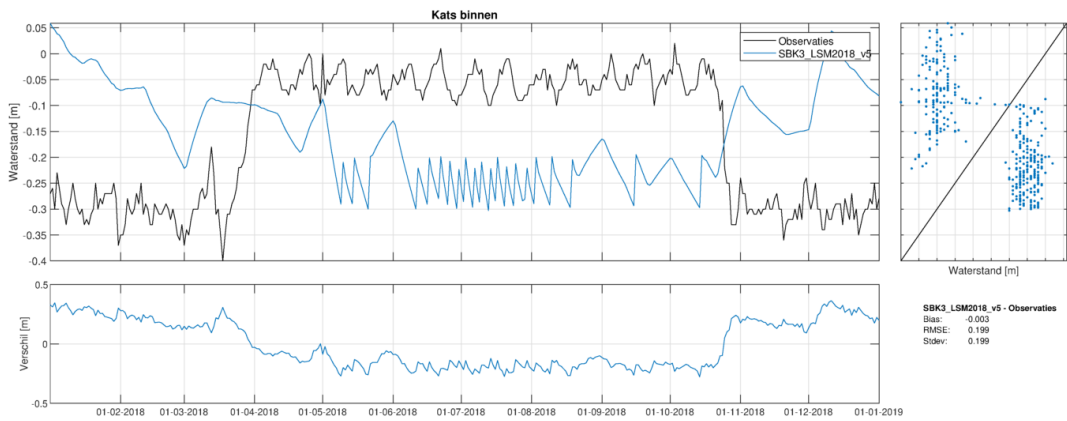
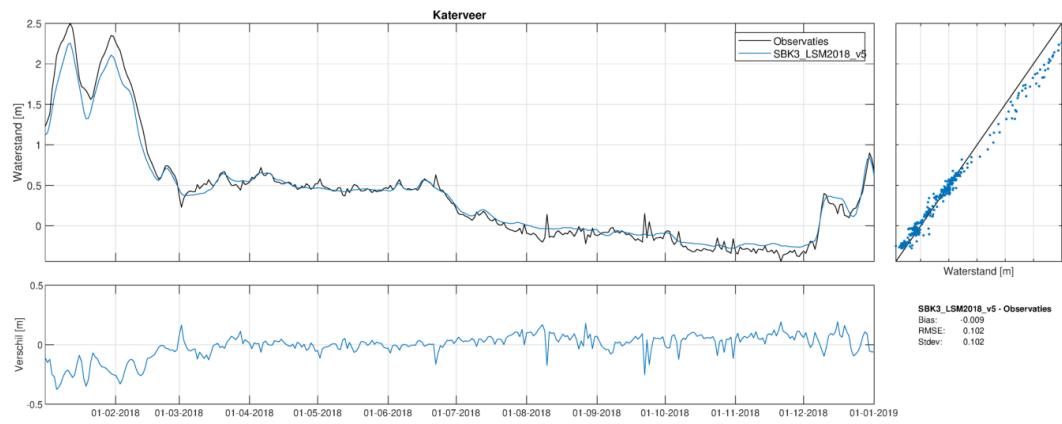


Voor Hagestein boven: zie de toelichting bij locatie Amerongen-beneden.

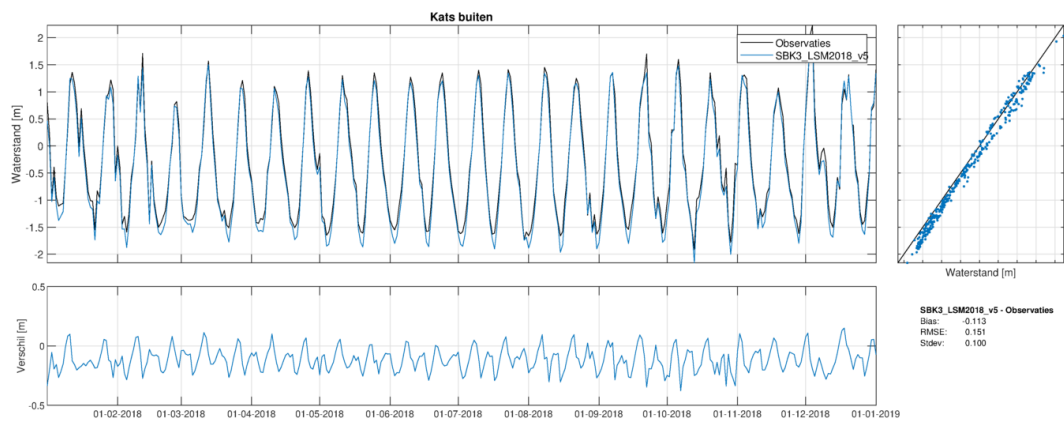


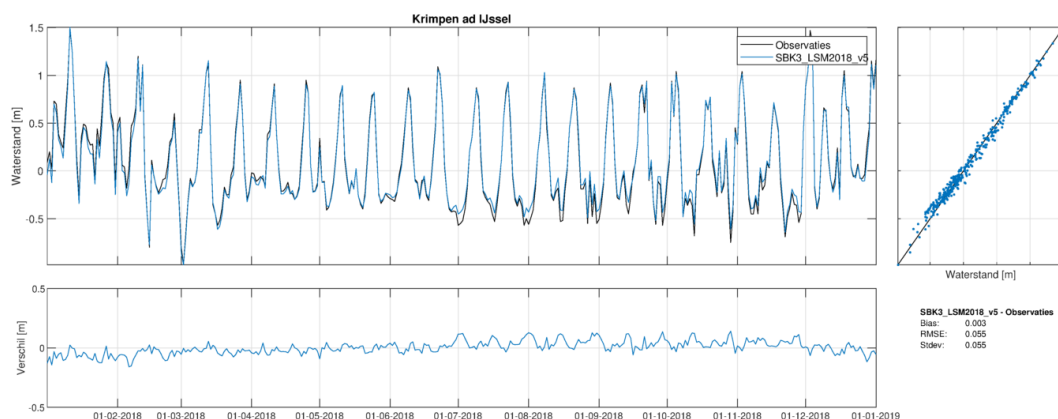
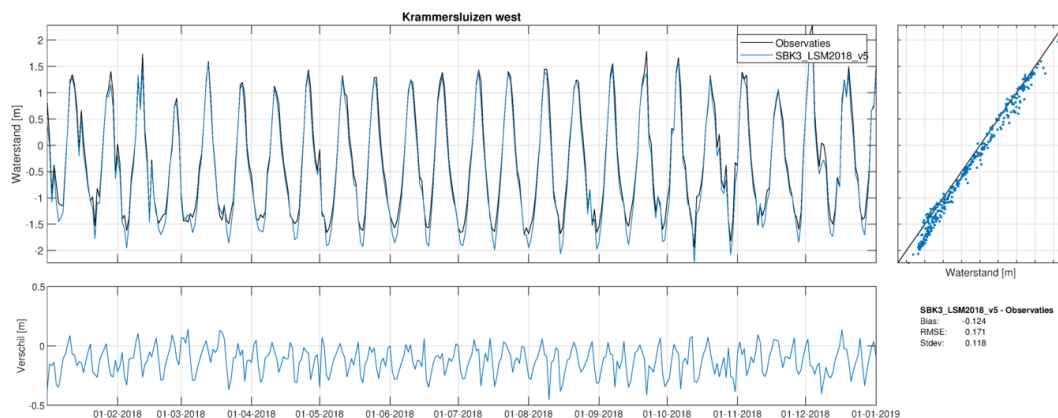
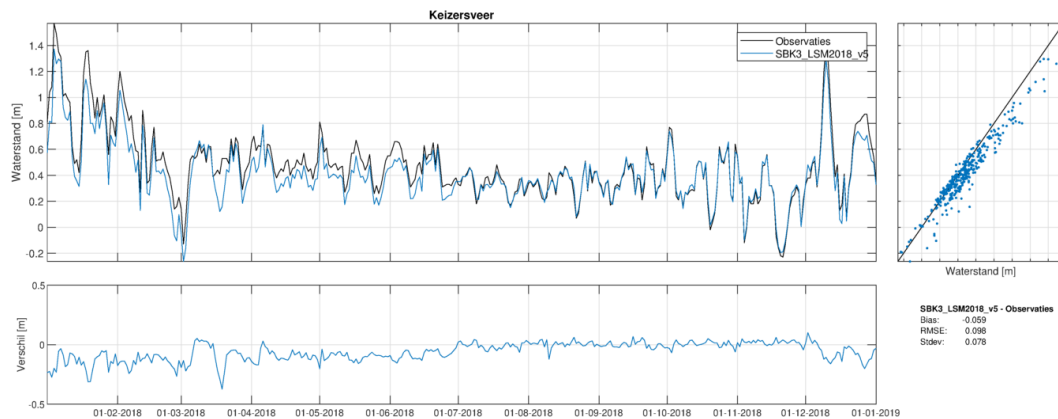


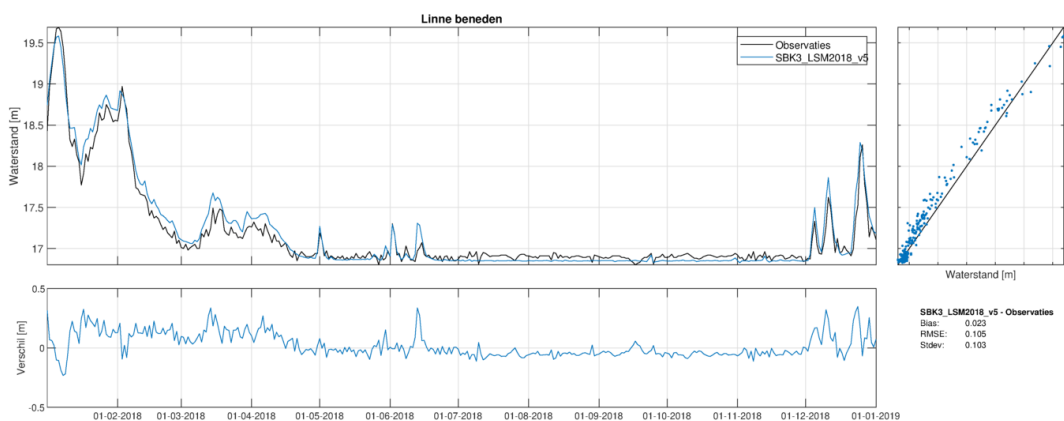
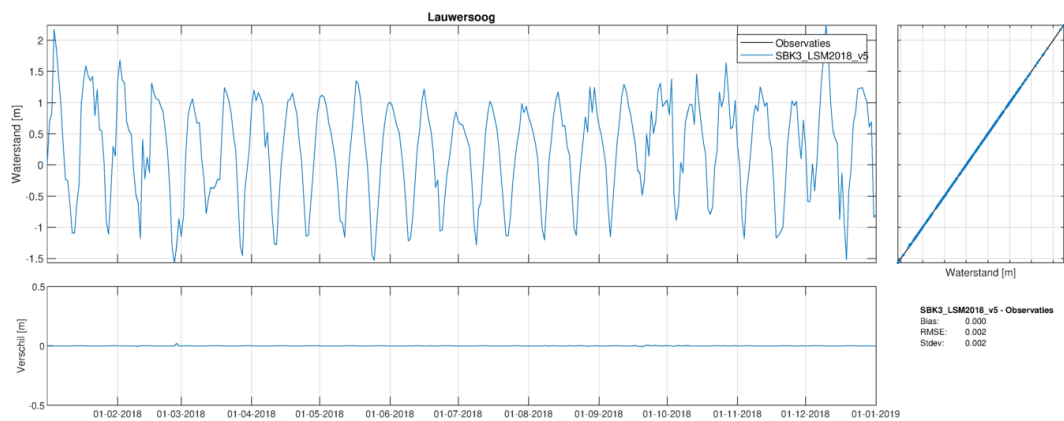
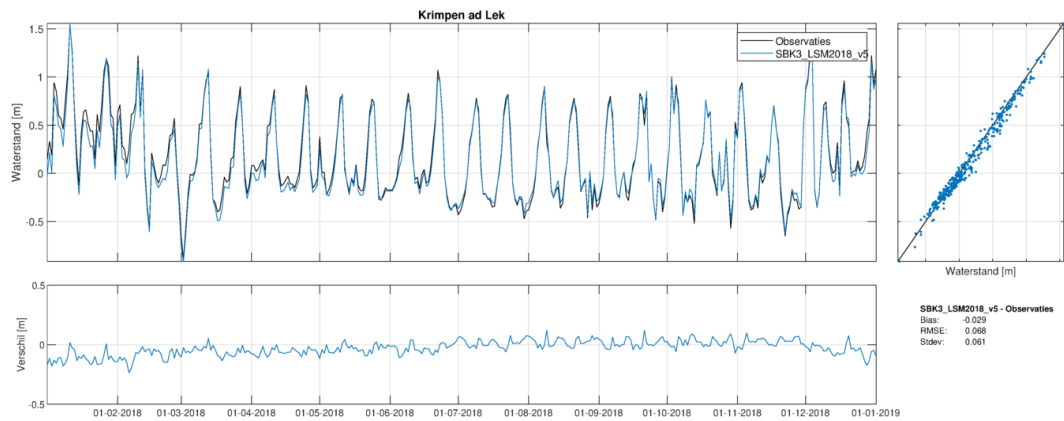


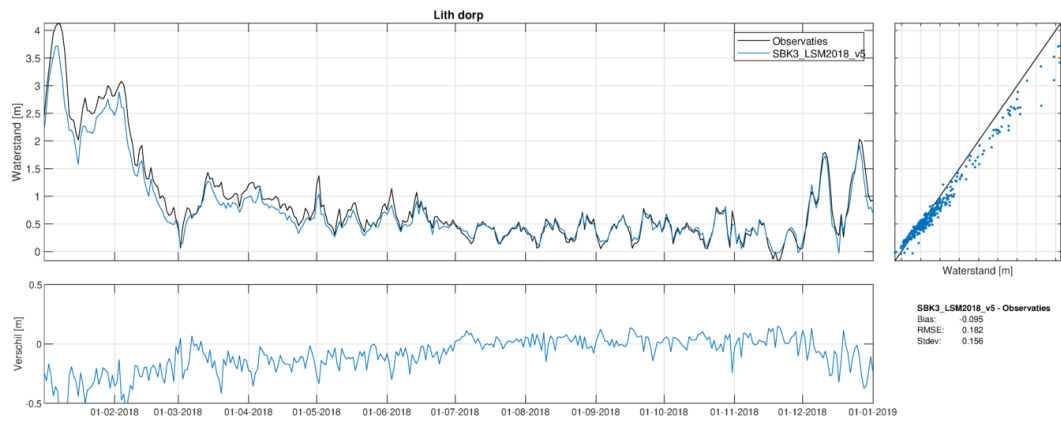
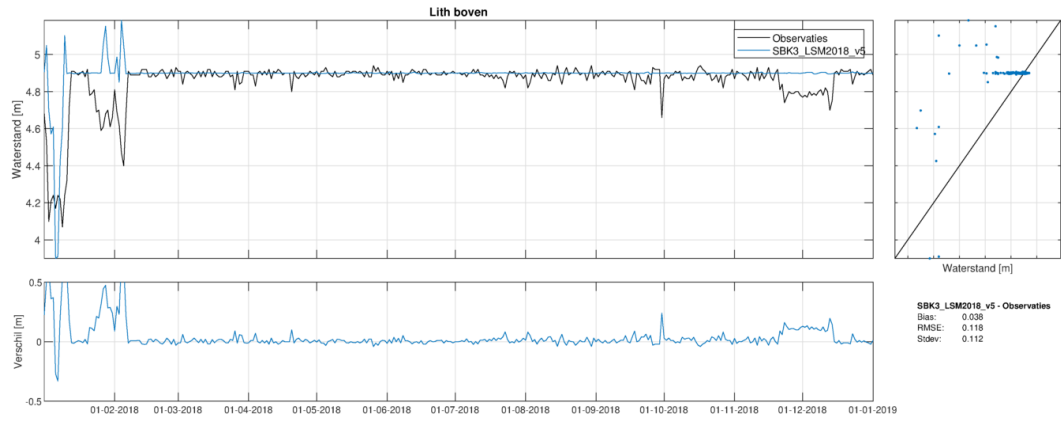


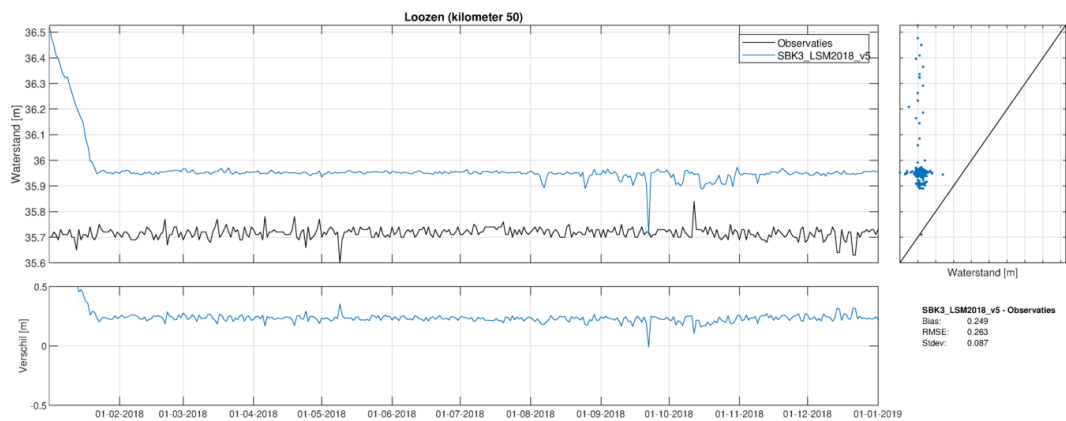
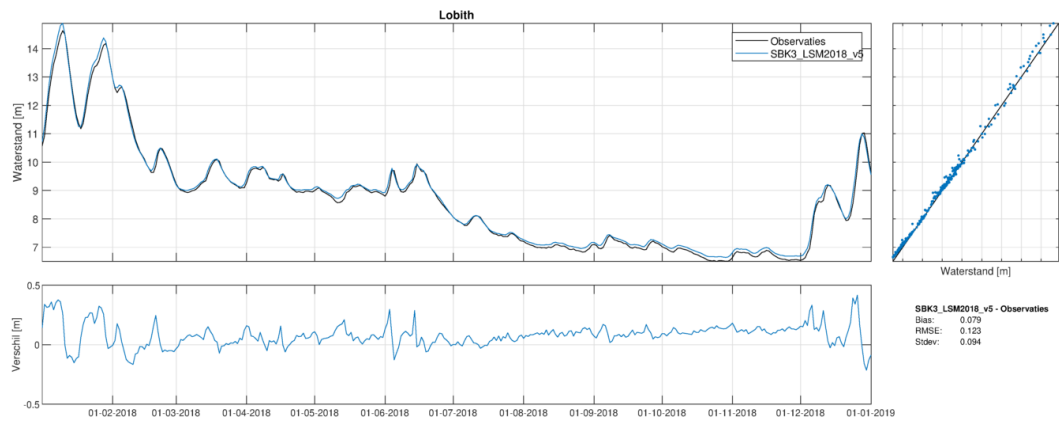
Bij locatie Kats-binnen (Veerse Meer) en ook Oranjeplaat (Schenge) blijkt dat het model een streefpeil Veerse Meer van rond de -0.25 m NAP aanhoudt, en geen verschil maakt naar zomer- en winterpeil. In de praktijk blijkt dit wel te gebeuren (winterpeil -0.30 m NAP, zomerpeil -0.05 m NAP). Kats buiten (Oosterschelde, getij) is wel redelijk goed.



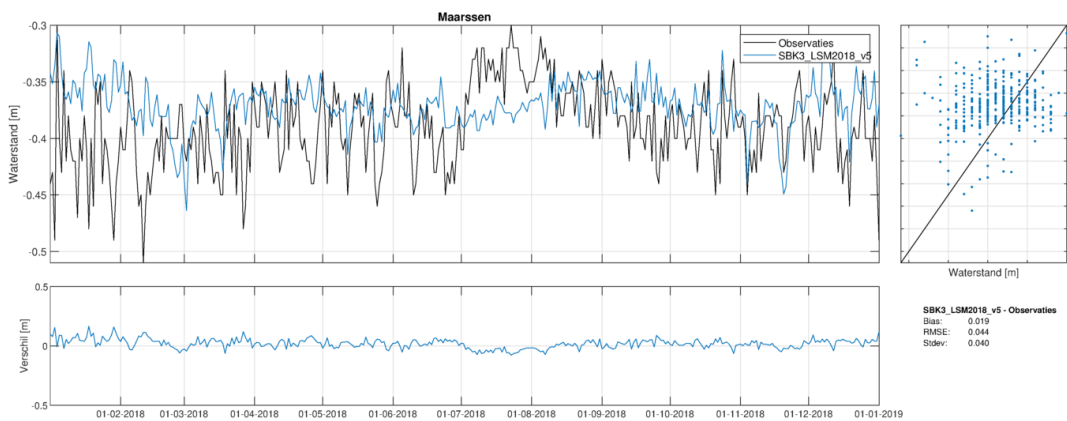


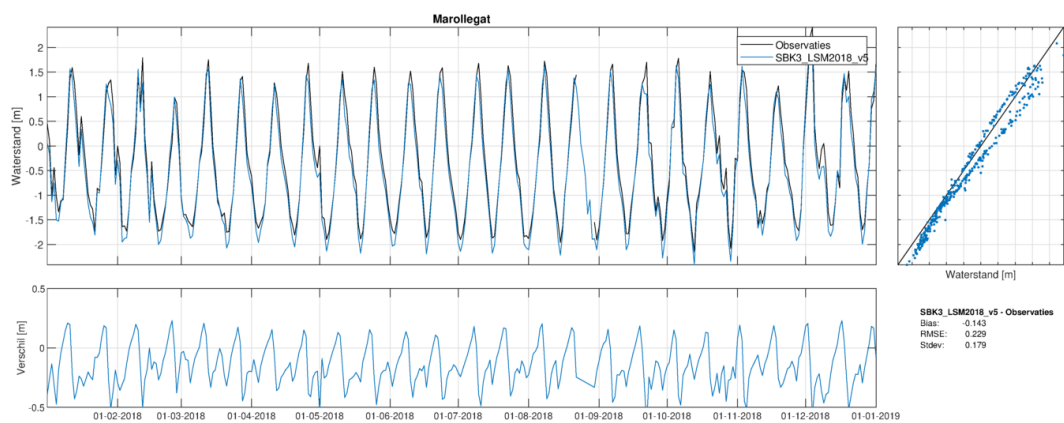
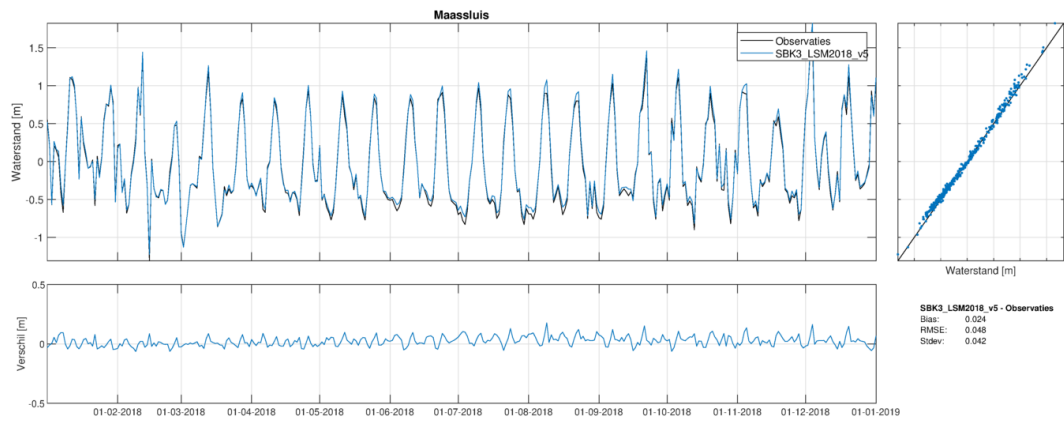
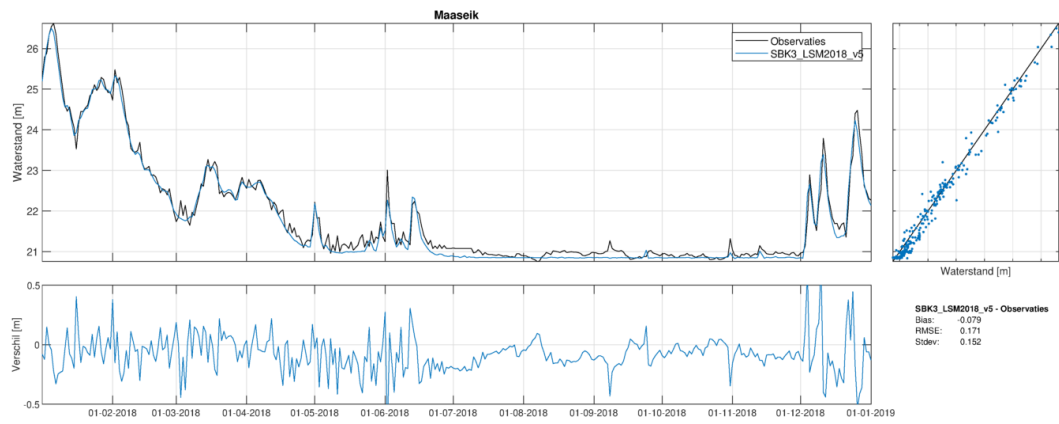


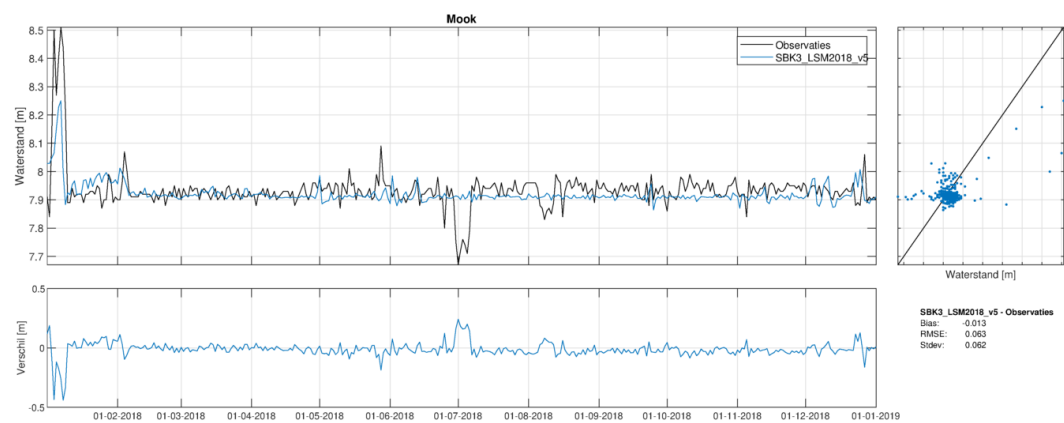
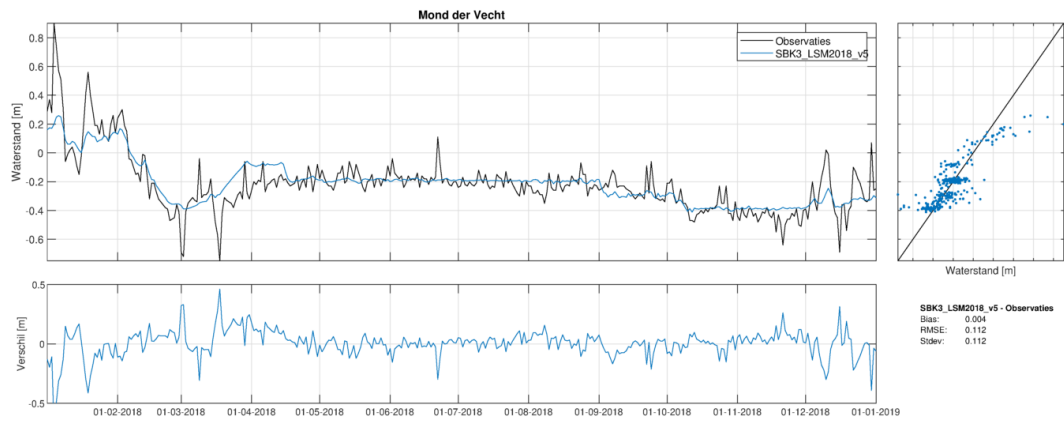
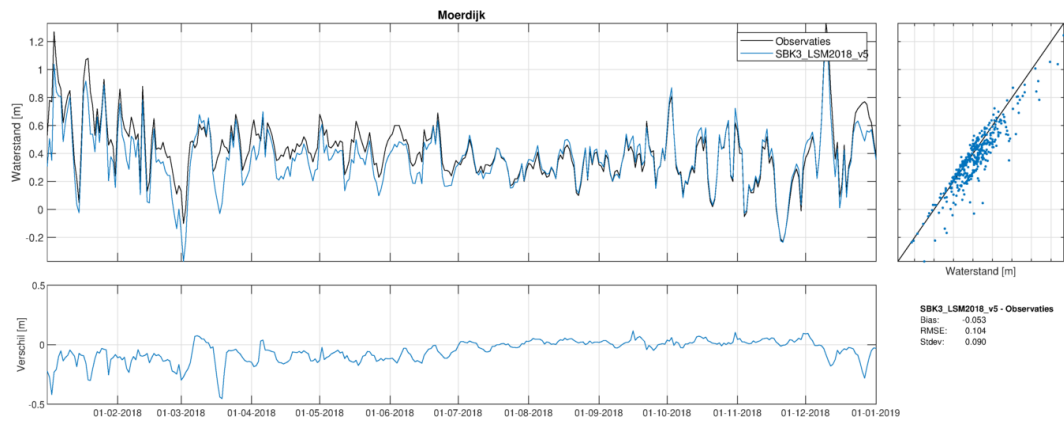


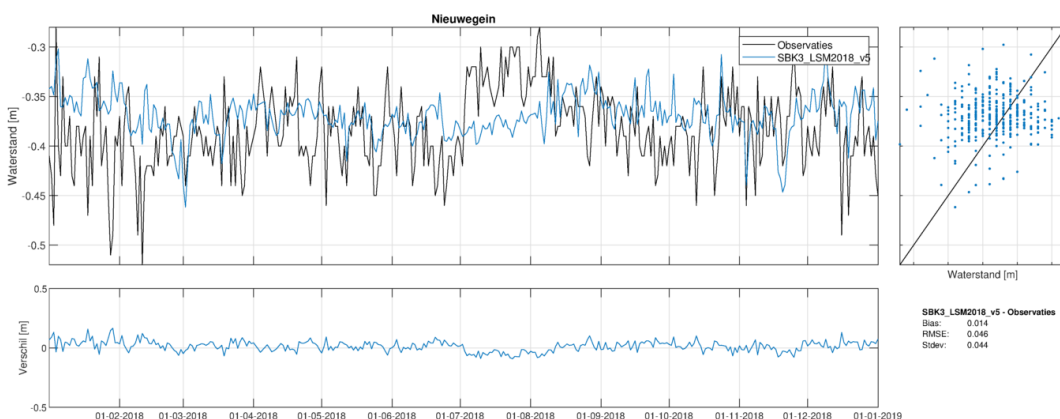
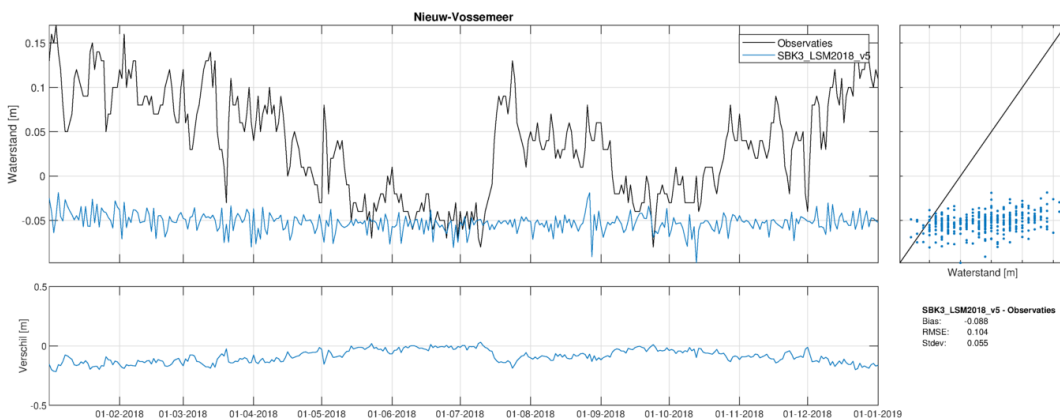
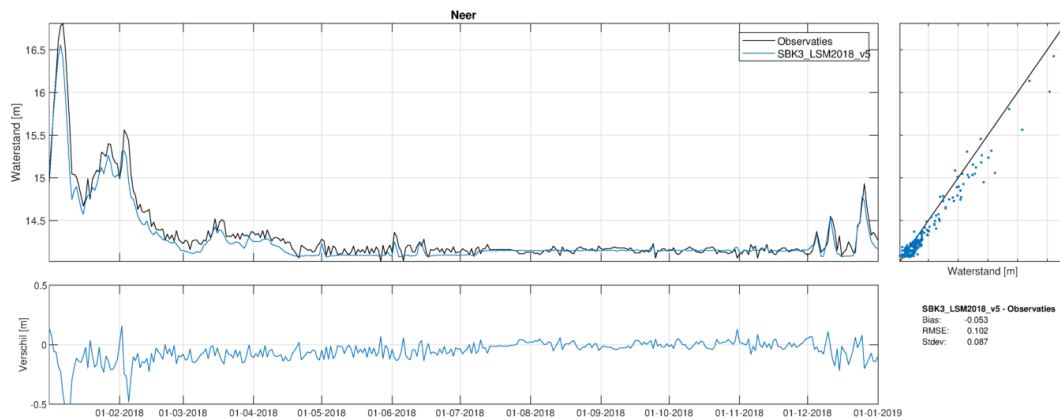


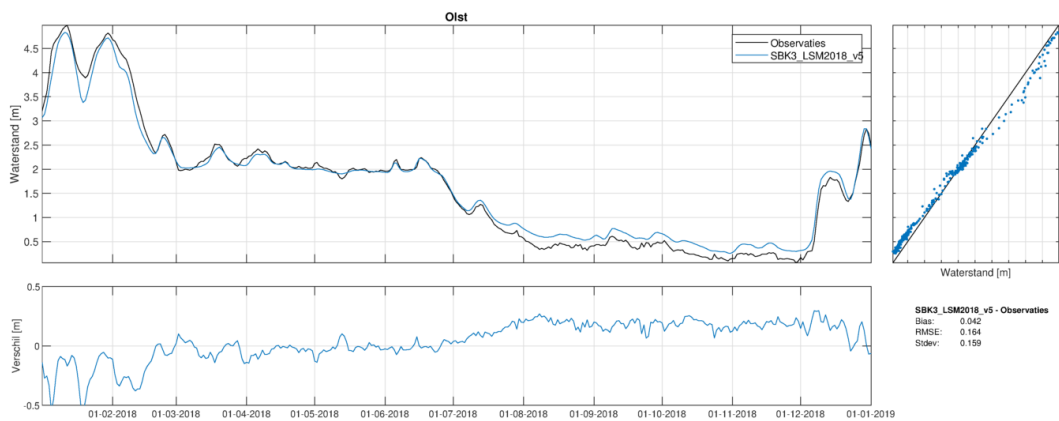
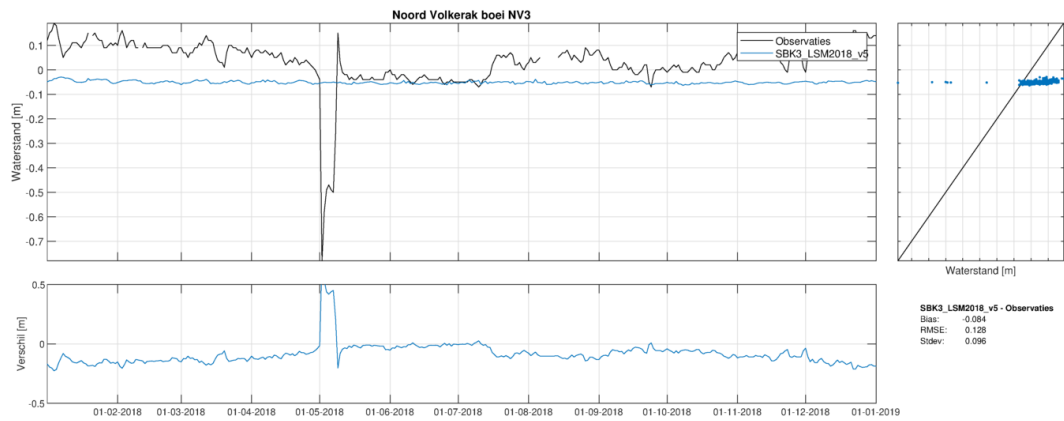
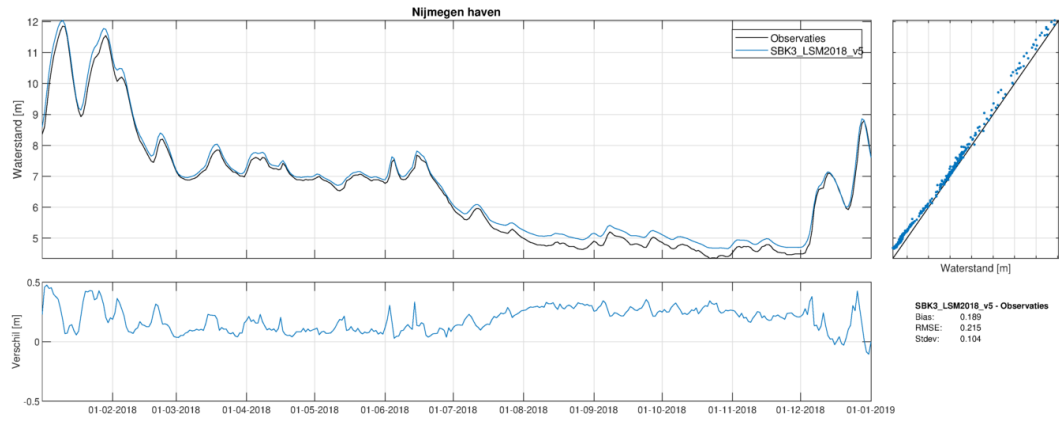
Voor Loozen en andere locaties op de Zuid-Willemsvaart en Wilhelminakanaal geldt dat de berekende peilen in het model vrij constant worden gehouden, maar met een systematische afwijking (bias) in vergelijking tot de metingen.

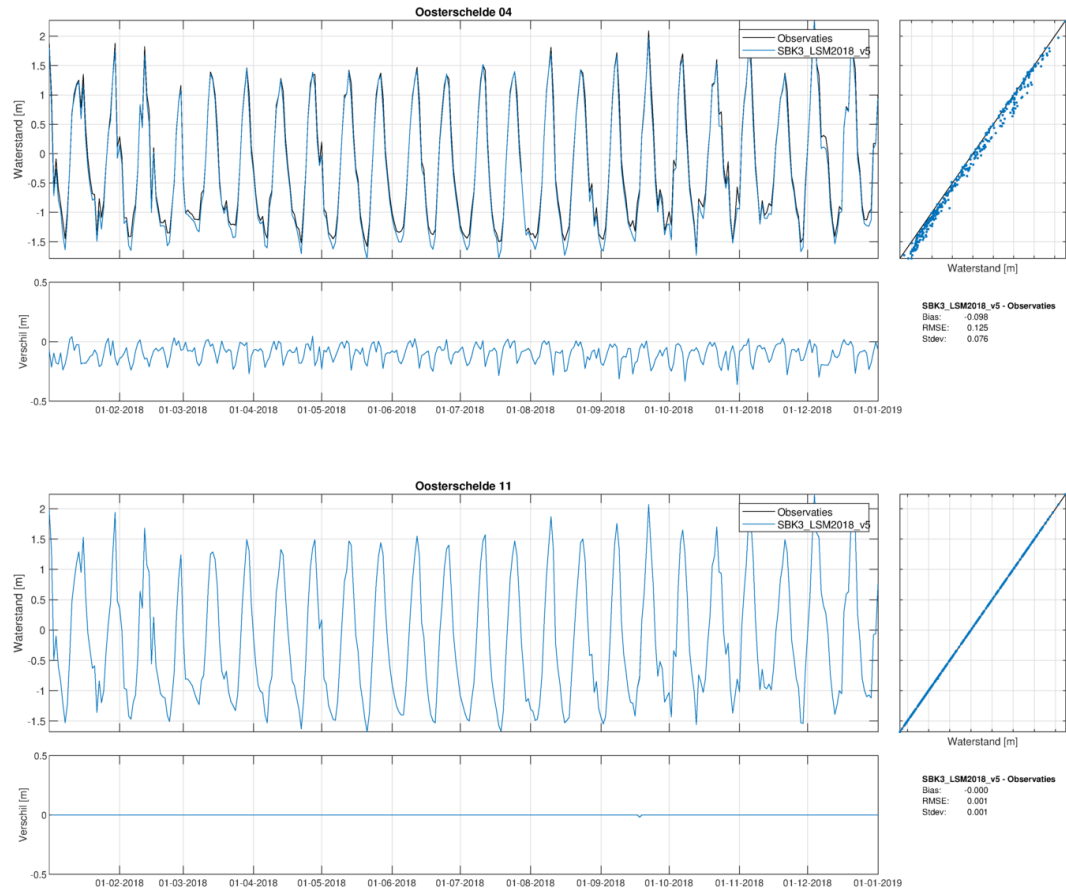




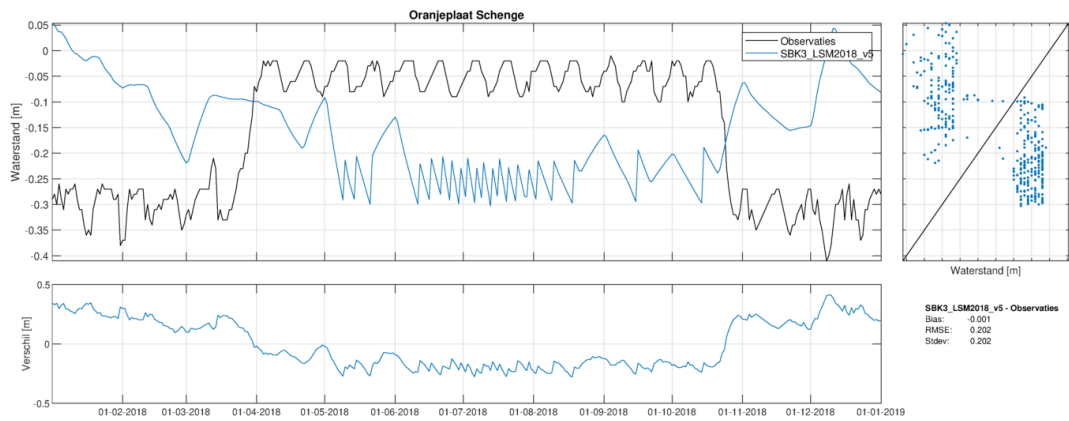
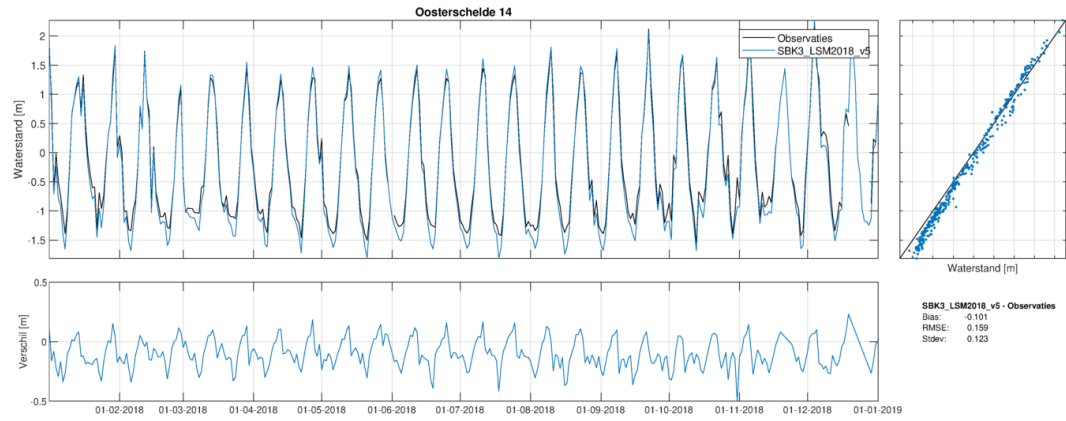




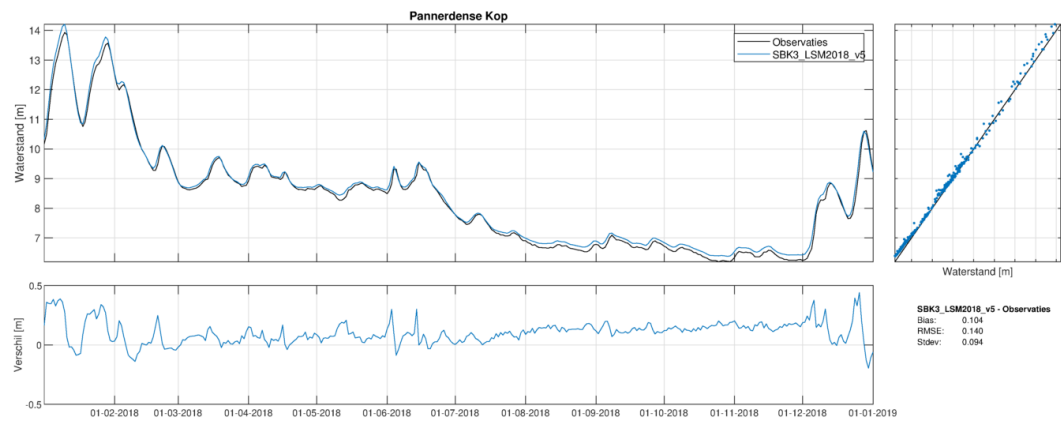


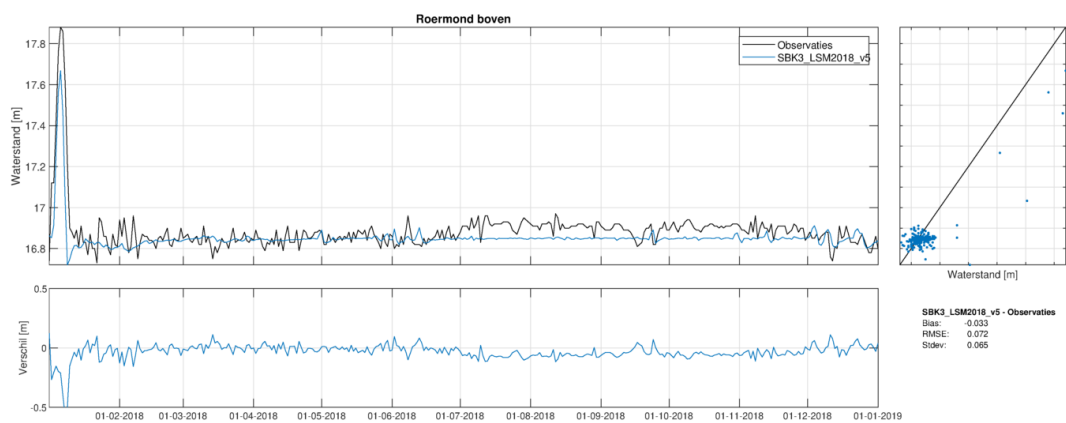
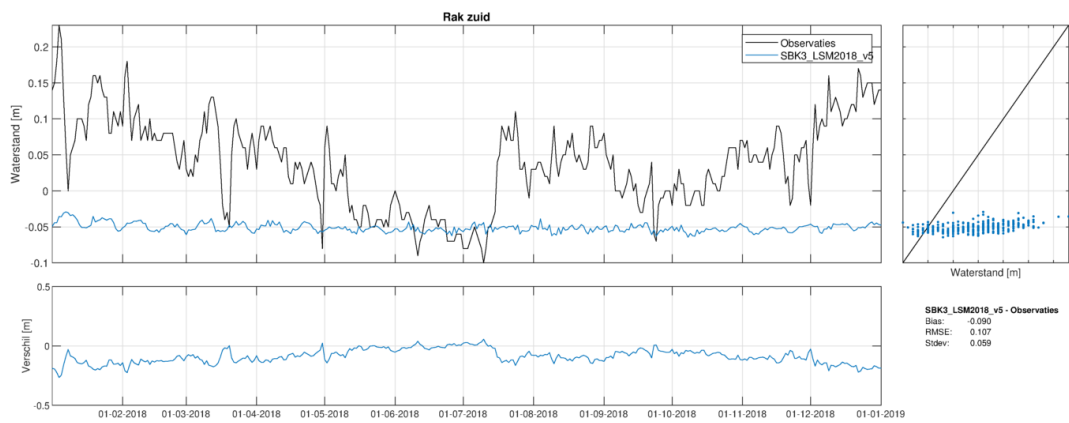
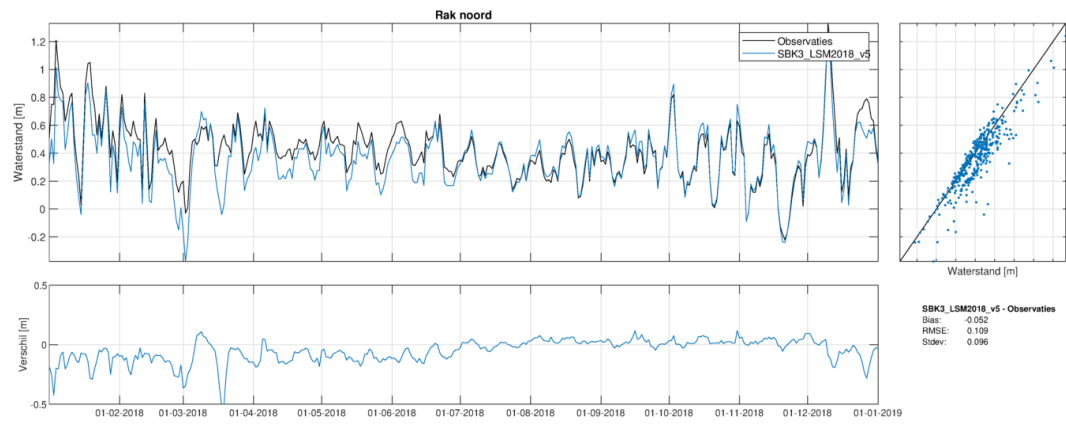


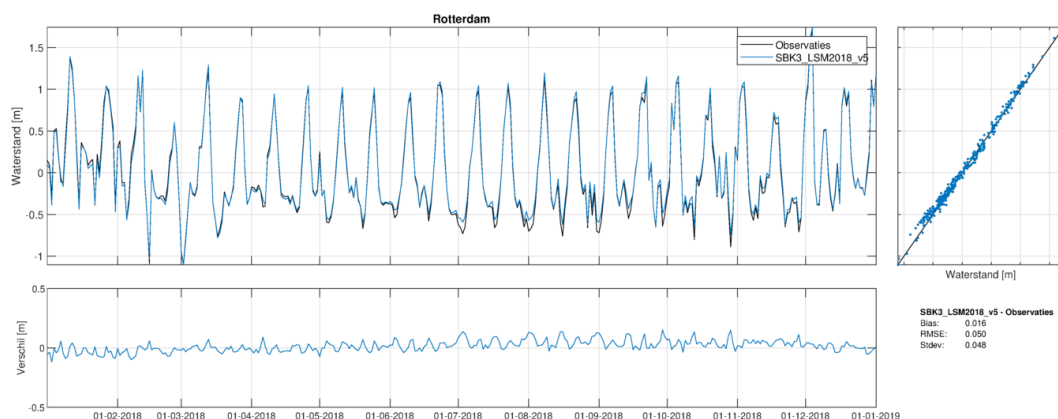
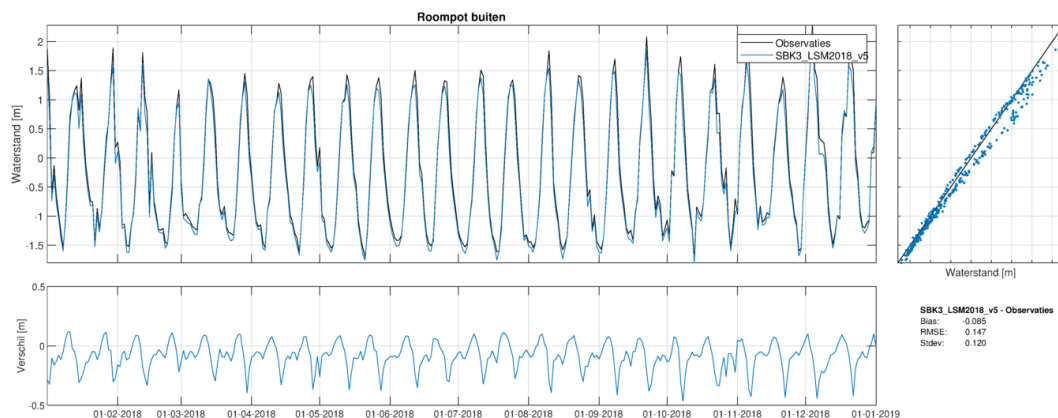
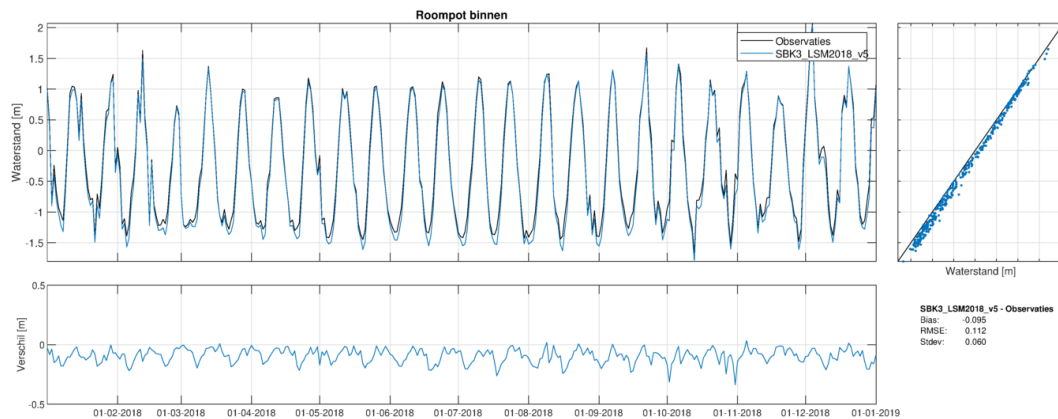
Voor de Oosterschelde randvoorwaarden (meerdere boundaries in het model) is de tijdserie van meetpunt Oosterschelde 11 gebruikt, ook bij de rand Oosterschelde 14. Daarom is Oosterschelde 11 perfect, maar wijkt Oosterschelde 14 iets af.

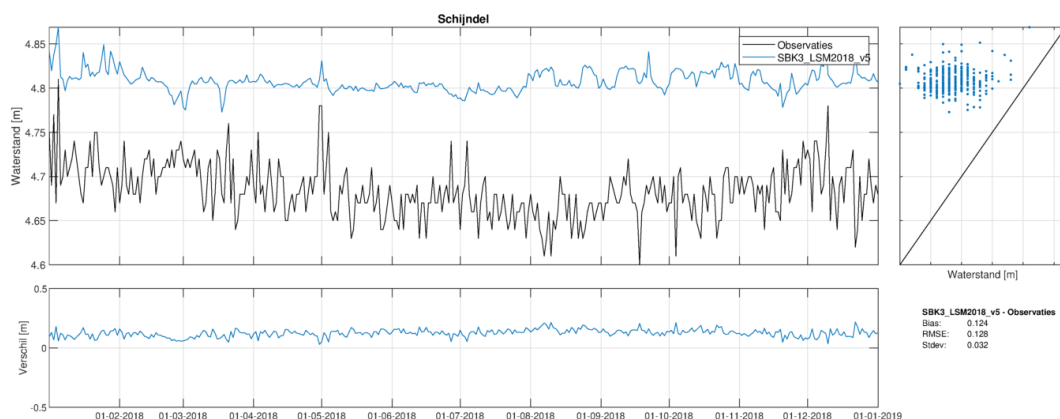
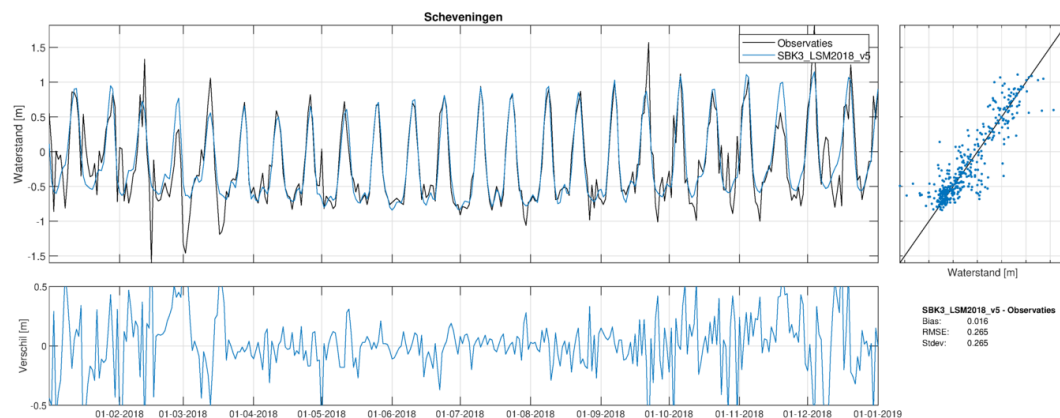
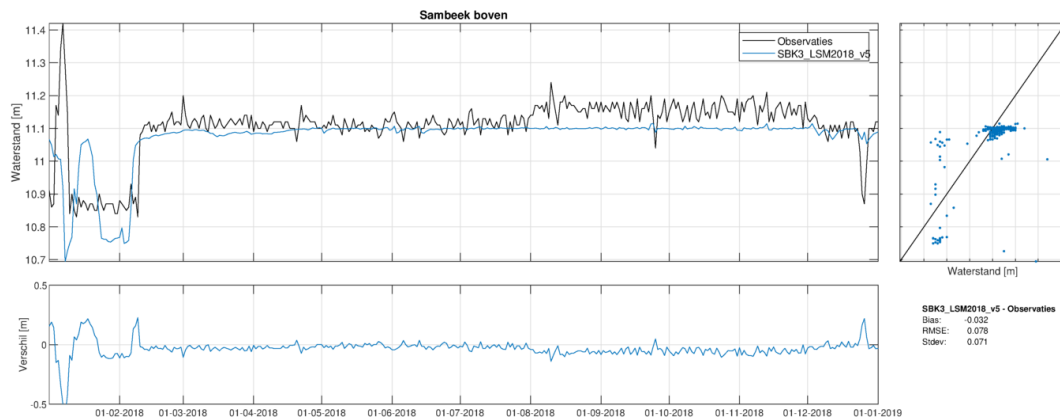


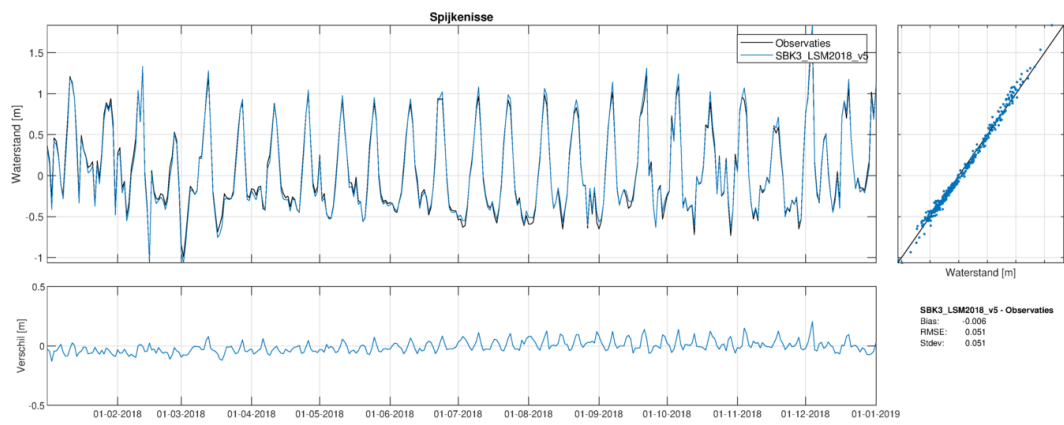
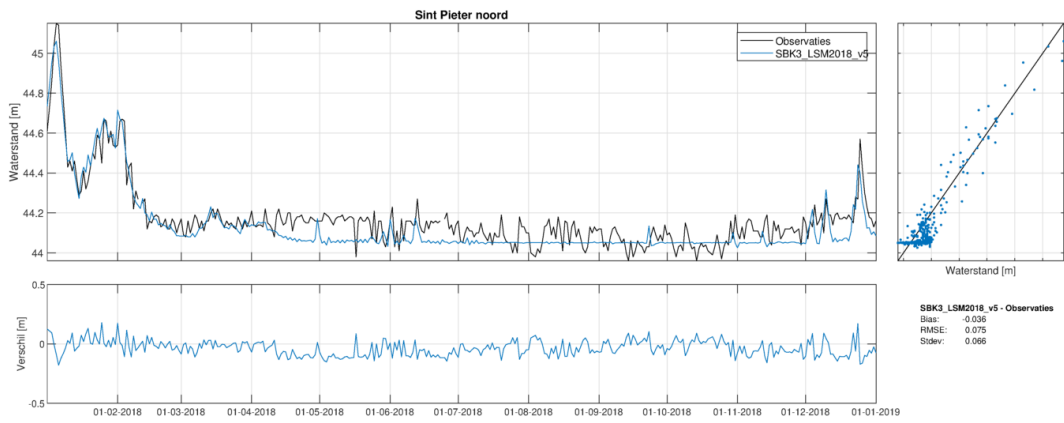
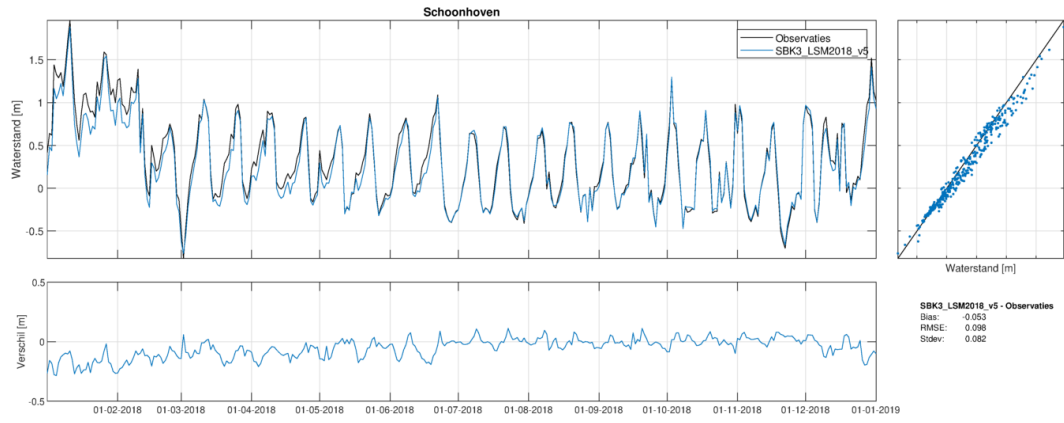
Verschil voor Oranjeplaat (Schenge) is peilbeheer Veerse Meer, zie ook meetpunt Katsbinnen.

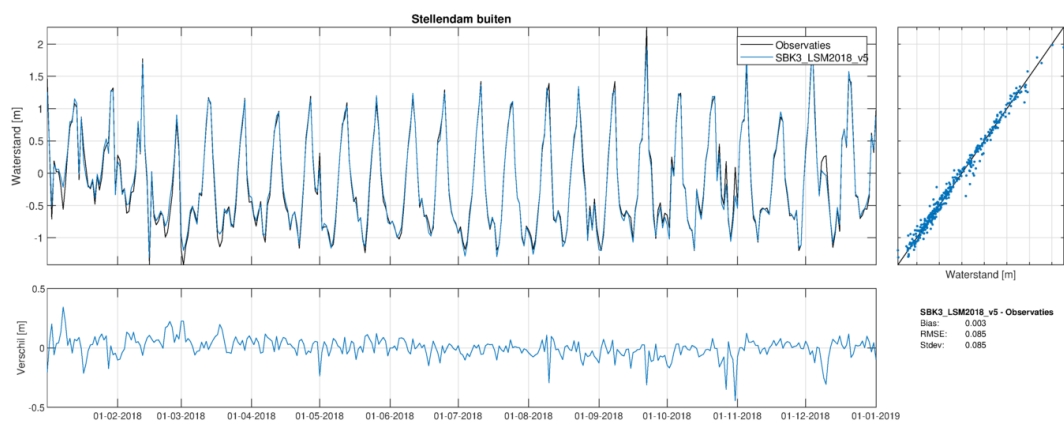
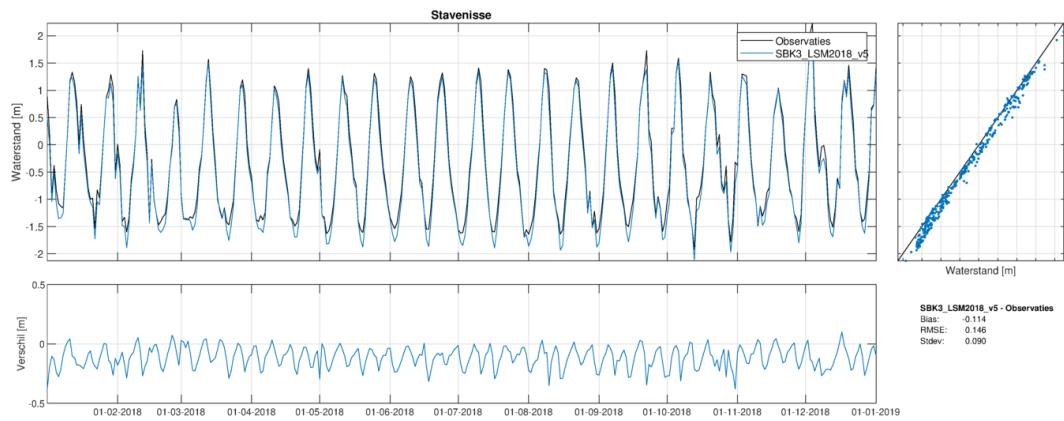
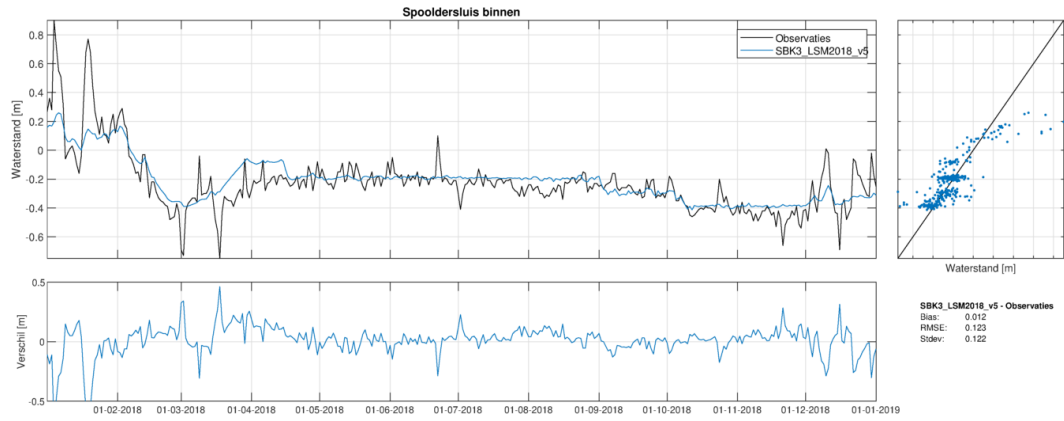


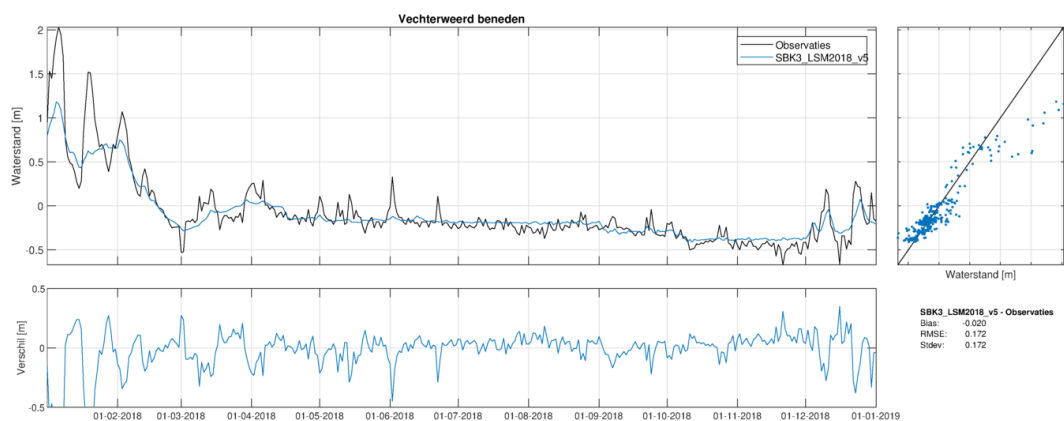
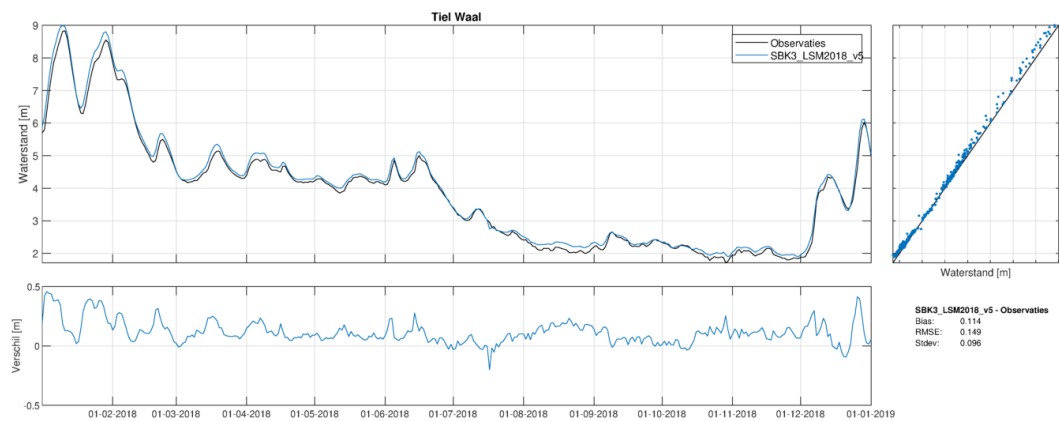
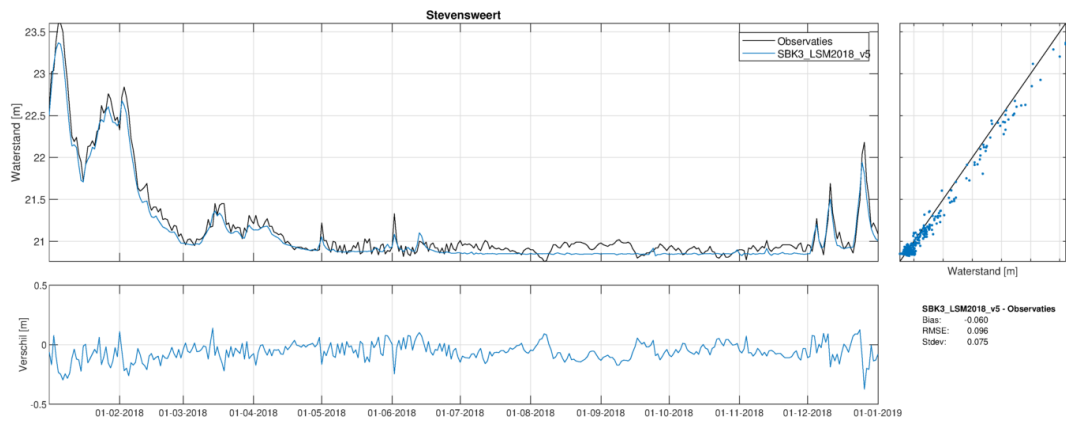


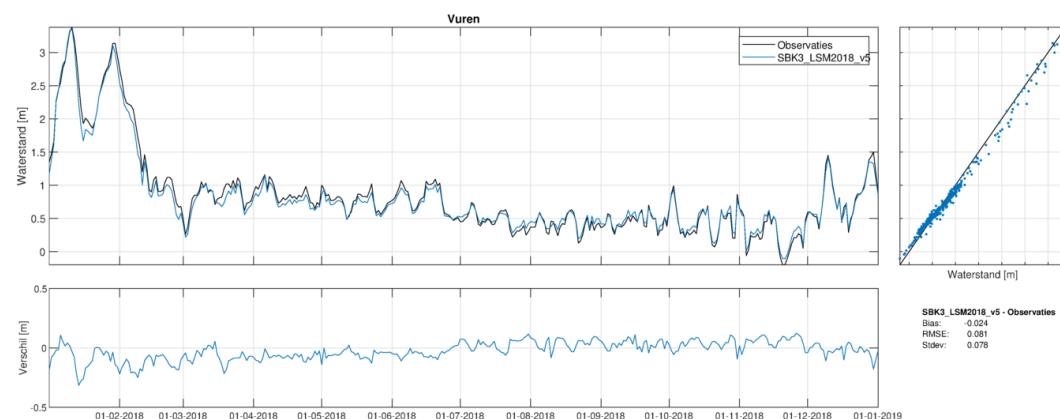
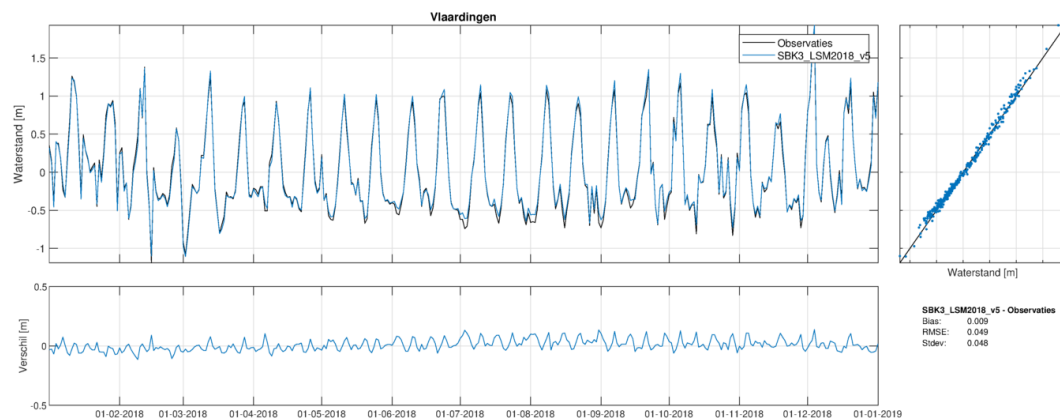
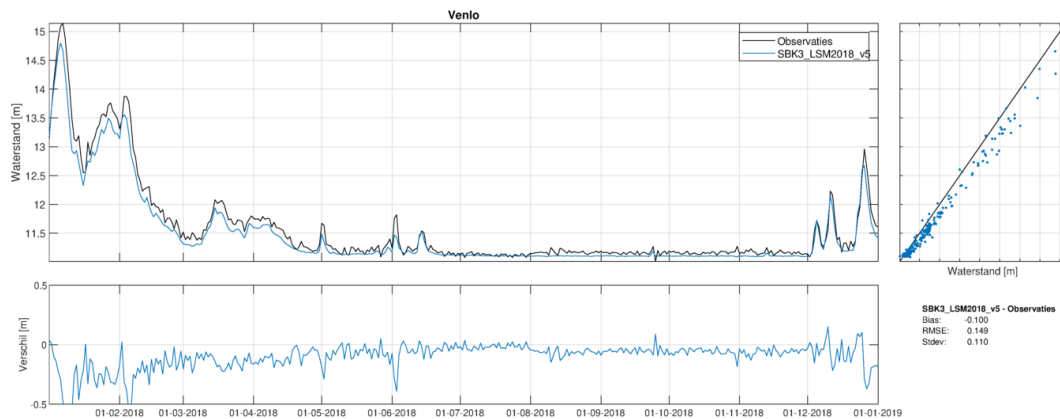


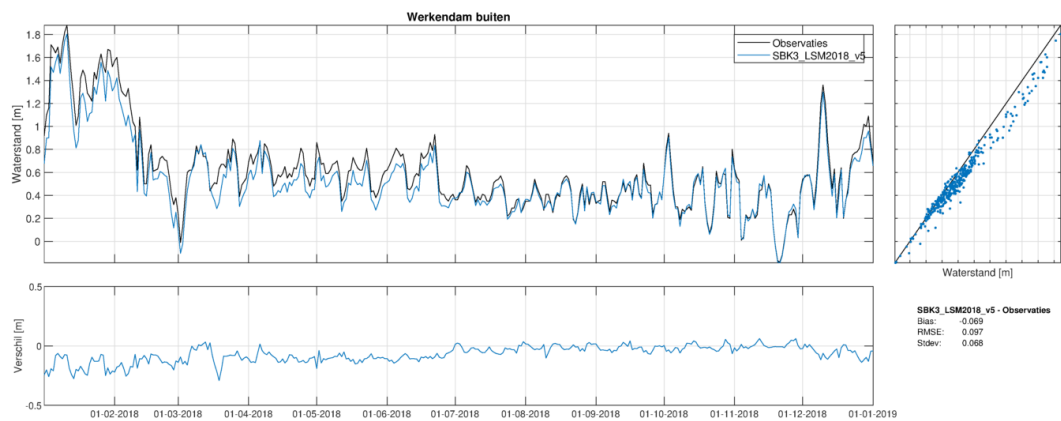
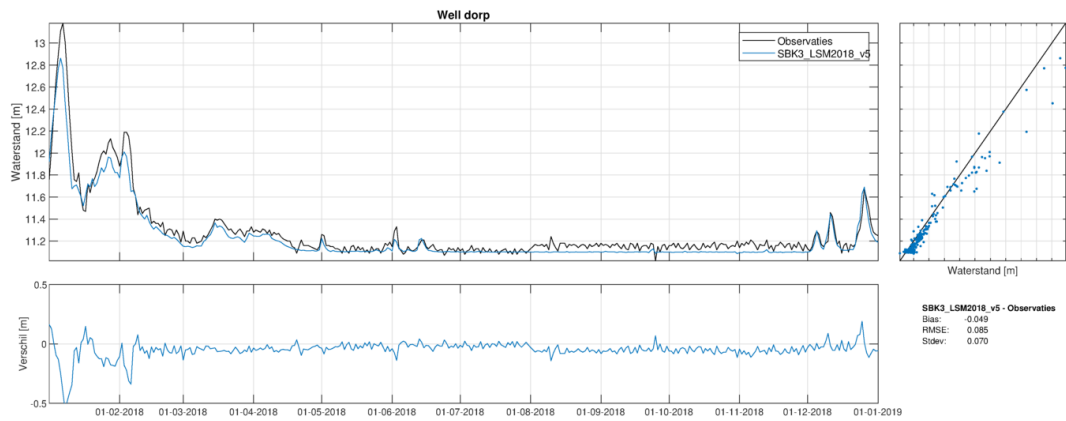
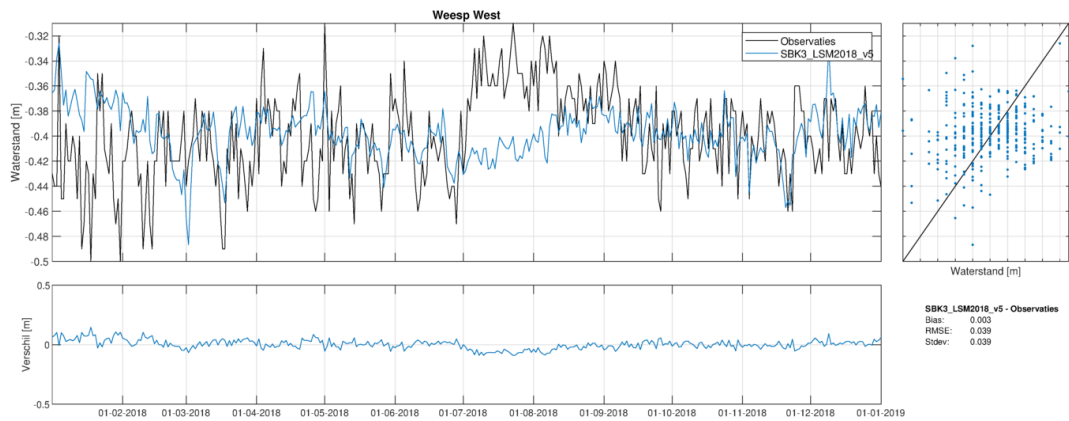


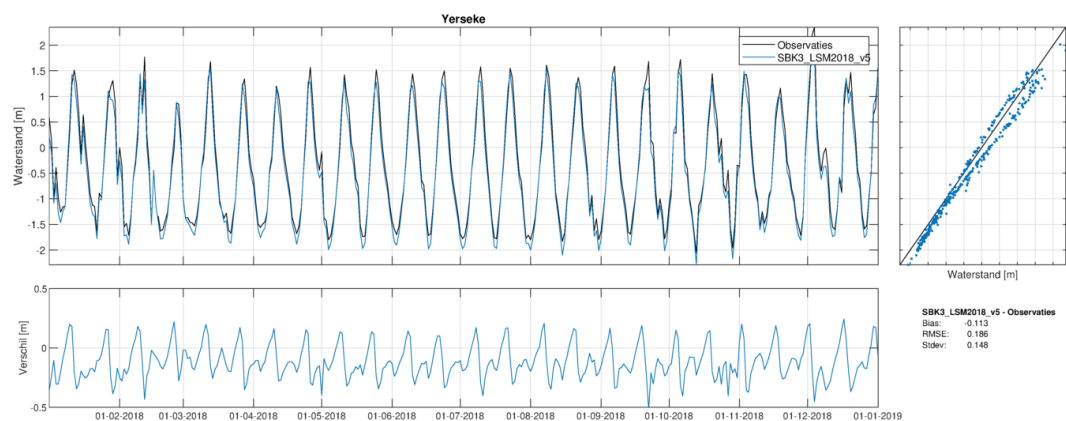
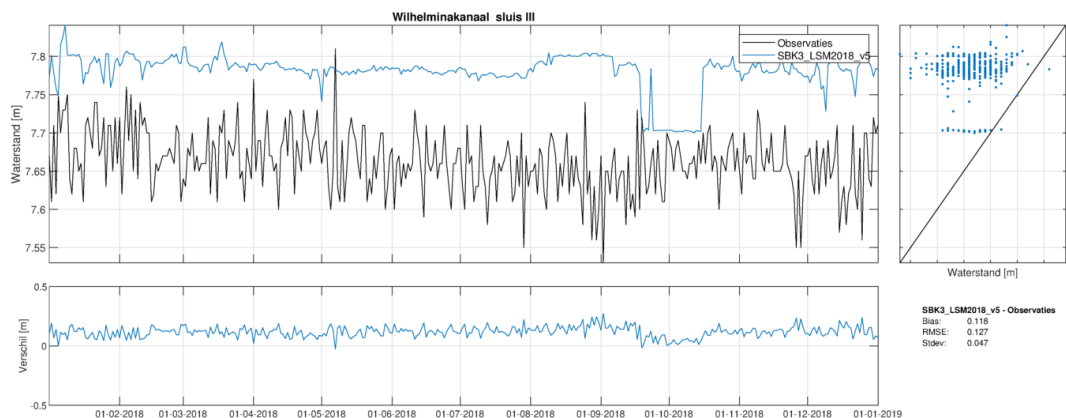
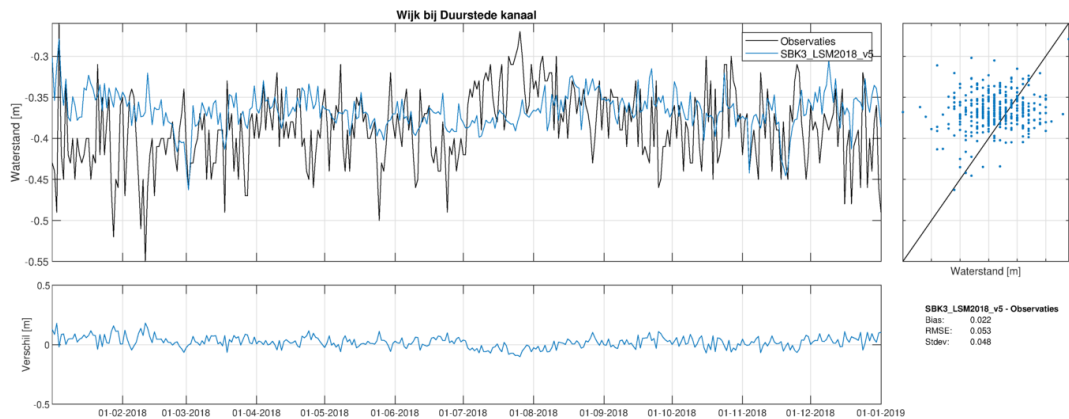


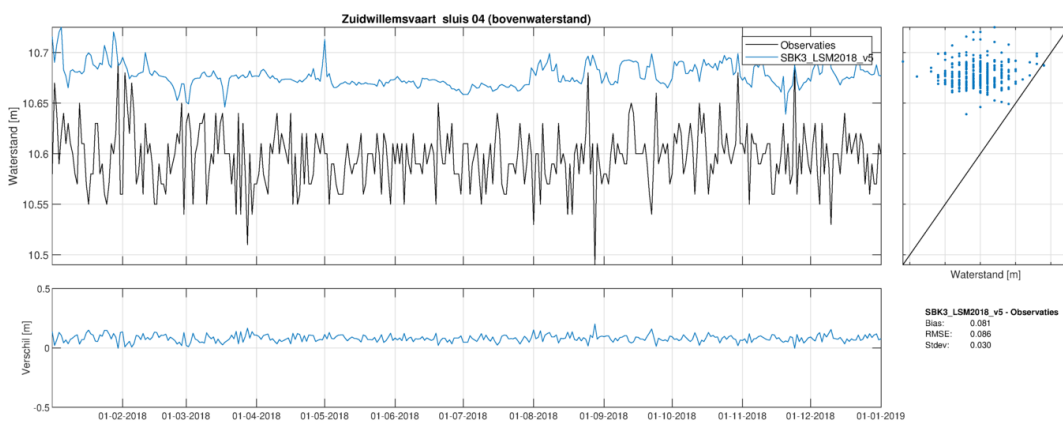
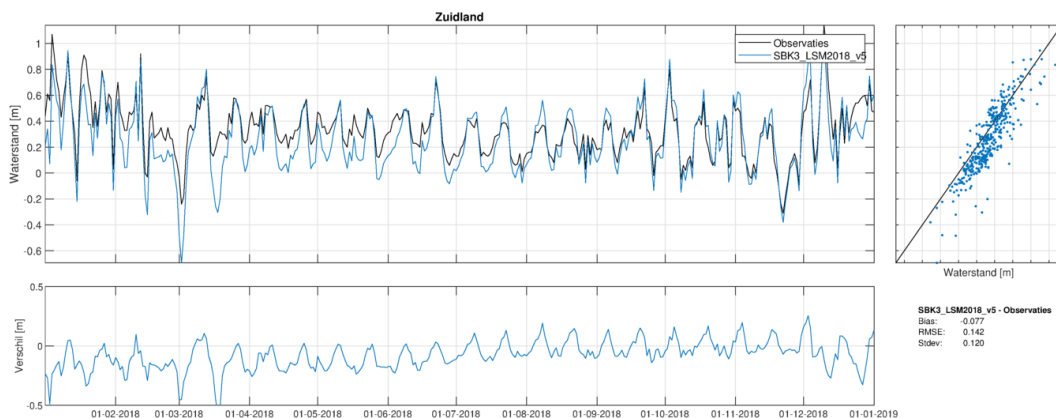
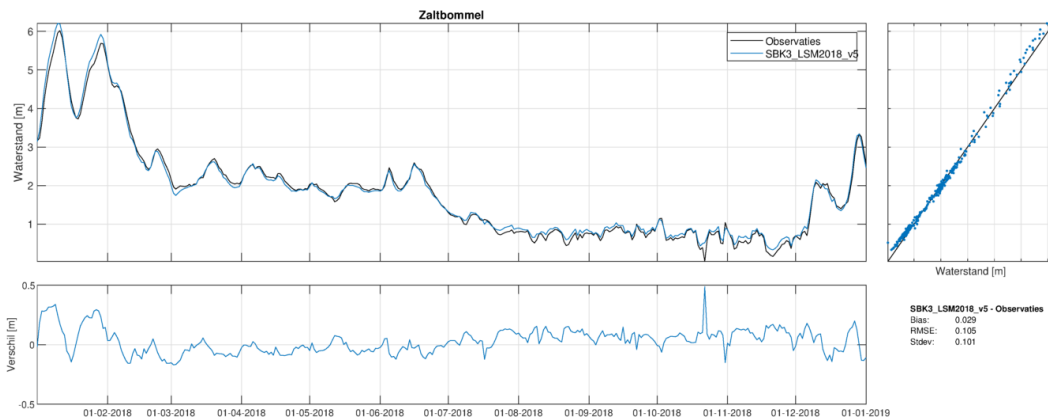


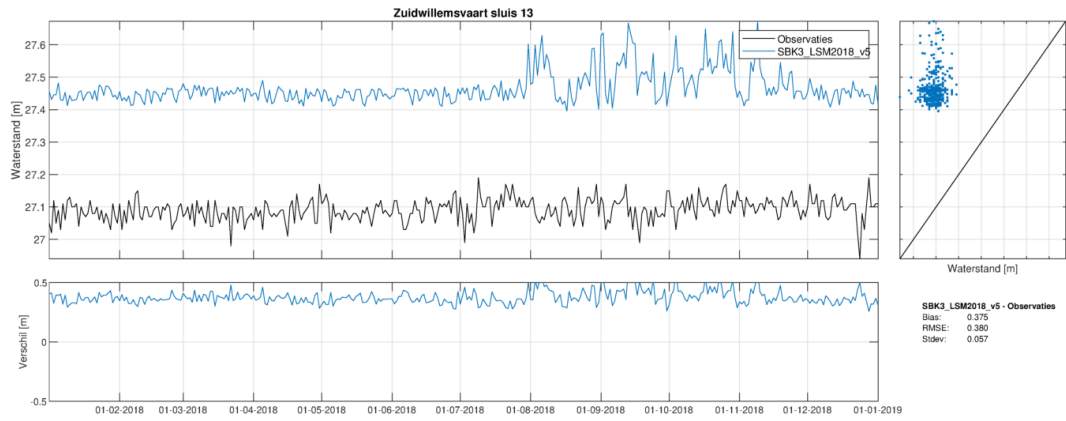
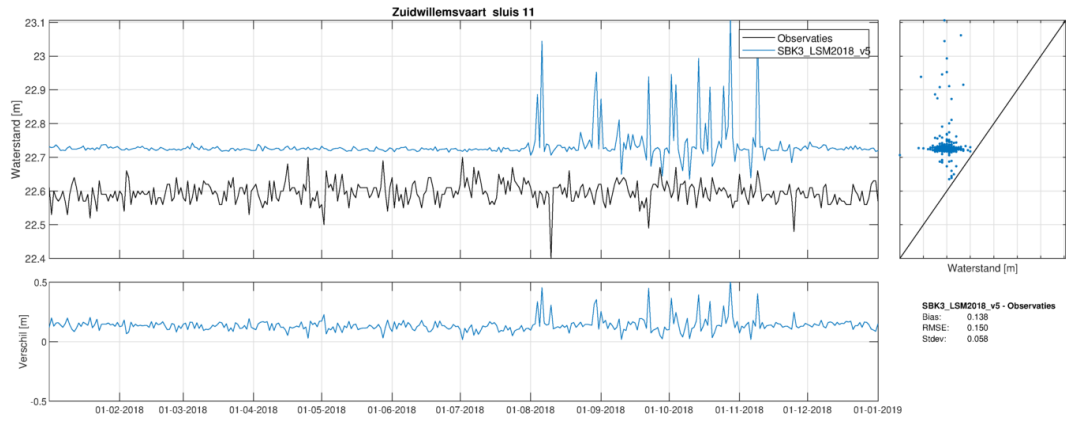


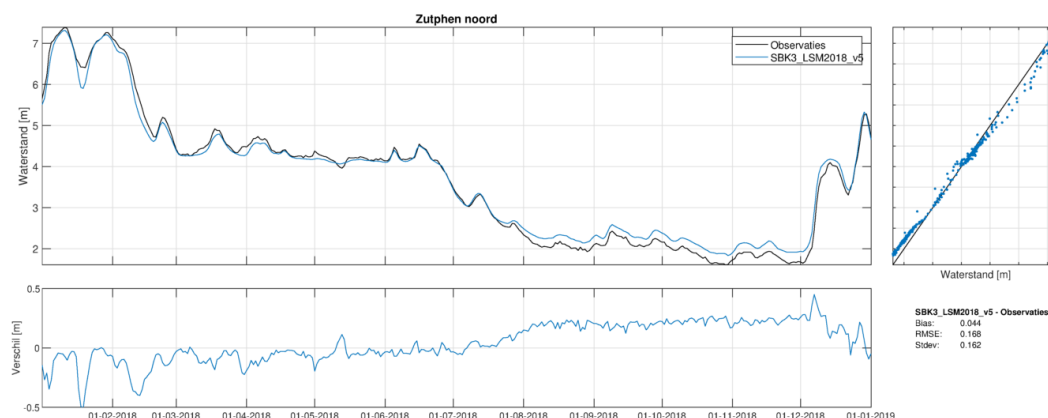
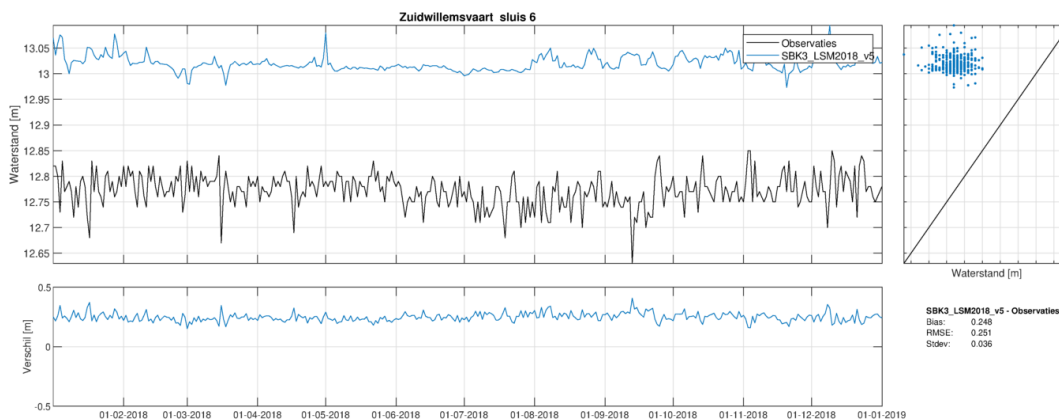












B.4 Conclusies en aanbevelingen

Waterbeweging

Voor de waterbeweging zijn nog een aantal verbeteringen qua laterale debieten en waterstandsranden geïmplementeerd, alsmede laatste verbeteringen uit het RMM model die relevant zijn voor de waterbeweging en berekende chlorideconcentraties in het RMM gebied. De verificatie van de waterbewegingsresultaten (waterstanden en debieten) laat hiermee een verbetering zien ten opzichte van de vorige LSM versie.

De rekentijd is met de laatste DIMRSet versie weer duidelijk hoger dan de DIMRSet versie dd. 23 november 2021. De verwachting is dat een deel hiervan toe te schrijven is aan de in tijd en ruimte nu variërende temperatuur invoergegevens, dat was in de december 2021 versie nog niet het geval. Maar dit verklaart bij eerste analyse nog niet de forse toename van de rekentijd. Dit moet derhalve nader door de rekenkernontwikkelaars worden onderzocht.

Versienummer

Voorstel is om de laatste versie van het LSM3 model het volgende versienummer te geven: sobek-lsm3-j18_5-v6.

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