

Landelijk SOBEK model in SOBEK 3 (LSM3)

Modelbouw en verificatiesom 2003



Landelijk SOBEK model in SOBEK 3 (LSM3)
Modelbouw en verificatiesom 2003

Auteur(s)

Carine Wesselius

Asako Fujisaki

Landelijk SOBEK model in SOBEK 3 (LSM3)

Modelbouw en verificatiesom 2003

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	Martin Scholten
Referenties	MA07ab, KPP2019,
Trefwoorden	Modelschematisaties, Gebiedschematisaties, LSM

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	30-03-2020
Projectnummer	11203714-012
Document ID	11203714-012-ZWS-0065
Pagina's	43
Status	definitief

Auteur(s)

	Carine Wesselius	
	Asako Fujisaki	

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
1.0	Carine Wesselius 	Geert Prinsen 	Gerard Blom 	
	Asako Fujisaki			

Samenvatting

In het kader van het KPP-project Hydraulica Schematisaties, deelproject LSM, is in 2016-2017 op basis van diverse deelmodellen een landelijk SOBEK3-model voor de zoete Rijkswateren ontwikkeld. Dit SOBEK3-model bevat wateren die in beheer zijn bij RWS of waarbij RWS een deel van de beheertaken heeft (bijvoorbeeld voor scheepvaart). Dit model zal in dit rapport verder LSM-RWS genoemd worden. In 2018 is in het kader van hetzelfde project getracht het LSM-RWS uit te breiden met de regionale systemen (in het beheer bij waterschappen. Uit de werkzaamheden die in dit kader zijn gedaan is gebleken dat dit grote (met name softwarematige) problemen geeft.

In 2019 is er een nieuwe poging gedaan om het LSM-RWS te updaten en uit te breiden met de regionale systemen. Daarnaast is chloride en temperatuur toegevoegd aan de schematisatie. Deze rapportage geeft de resultaten van de berekeningen LSM3 weer.

Uit de berekening blijkt dat de schematisatie redelijk goede resultaten geeft. Echter, zijn er nog wel aanbevelingen voor het verbeteren van de schematisatie. Met name de rekentijden zijn nog vrij lang. Daarnaast dienen enkele opmerkelijke resultaten beter te worden geanalyseerd. Dit kan eventueel leiden tot aanpassingen aan de schematisatie.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	6
1.1	Achtergrond	6
1.2	Gebiedsafbakening	6
1.3	Modelspecificaties	7
2	Werkwijze	8
2.1	Inventariseren RWS-modellen	9
2.2	Samenvoegen RWS-modellen	10
2.3	Omzetten regionale modellen van SOBEK 2 naar SOBEK3	11
2.4	Werkend krijgen regionale modellen in SOBEK3	11
2.5	Samenvoegen RWS-modellen en regionale modellen	12
2.6	Opleggen randvoorwaarden	13
2.7	Toevoegen chloride en temperatuur	13
2.8	Berekening 2003	13
3	Resultaten	14
3.1	Rekentijd	14
3.2	Debieten	15
3.2.1	Statistieken	15
3.2.2	Debieten	16
3.3	Waterstanden	18
3.3.1	Statistieken	19
3.3.2	Waterstanden	19
3.4	Chloride concentraties	21
3.5	Temperatuur	21
4	Conclusies en aanbevelingen	23
4.1	Conclusies	23
4.2	Aanbevelingen	23
	Bijlage A: Lijst met toegevoegde nodes	24
	Bijlage B: Aanpassingen in regionale modellen	27
	Bijlage C: Resultaten debieten	31
	Bijlage D: Resultaten waterstanden	35
	Bijlage E: Resultaten chloride	39

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Het landelijk SOBEK Model (LSM) is een land dekkend model waarin het hoofwatersysteem en de belangrijkste wateren van het regionale watersysteem in 1D zijn gemodelleerd. Als uitgangspunt van het LSM wordt gehanteerd dat we uitgaan van bestaande modellen en deze aan elkaar koppelen.

In het kader van het KPP-project Hydraulica Schematisaties, deelproject LSM, is in 2016-2017 op basis van diverse deelmodellen een landelijk SOBEK3-model voor de zoete Rijkswateren ontwikkeld. Dit SOBEK3-model bevat wateren die in beheer zijn bij RWS of waarbij RWS een deel van de beheertaken heeft (bijvoorbeeld voor scheepvaart). Dit model zal in dit rapport verder LSM-RWS genoemd worden. In 2018 is in het kader van hetzelfde project getracht het LSM-RWS uit te breiden met de regionale systemen (in het beheer bij waterschappen). Dit model wordt in dit rapport verder LSM2 genoemd. Uit de werkzaamheden die in dit kader zijn gedaan is gebleken dat dit grote (met name softwarematige) problemen geeft.

In 2019 is er een nieuwe poging gedaan om het LSM-RWS te updaten en uit te breiden met de regionale systemen. Daarnaast is chloride en temperatuur toegevoegd aan de schematisatie. Deze rapportage geeft de resultaten van de LSM3 berekeningen weer.

1.2 Gebiedsafbakening

Het LSM bevat de (voornamelijk zoete) wateren die in beheer zijn bij RWS of waarbij RWS een deel van de beheertaken heeft (bijvoorbeeld voor scheepvaart).

Voor de toepassing van LSM als vervanger van het huidige LSM-LT in NWM (SOBEK2) is alleen het netwerk van RWS-wateren niet voldoende. Om de watervragen en lozingen van de verschillende regionale netwerken op het RWS-netwerk goed te kunnen modelleren en analyseren, moeten er aanvullende regionale takken opgenomen worden opdat het RWS-netwerk gevoed wordt met de juiste watervragen en lozingen. Alleen dan kan LSM de waterverdeling in het netwerk bepalen.

Het gaat dan bijvoorbeeld om het modelleren van de wateraanvoer en waterafvoer in West Nederland. Hoogheemraadschap Rijnland loost overtollig water bij Halfweg en Spaarndam op het Noordzeekanaal, bij Katwijk op de Noordzee, en bij Gouda op de Hollandsche IJssel. In perioden van watervraag wordt water in principe ingelaten bij Gouda. In geval van hoge chloridegehalten bij de inlaat Gouda wordt de KWA (Kleinschalige Water Aanvoer, sinds 2018 ook wel Klimaatbestendige Water Aanvoer genoemd) ingeschakeld en wordt water uit Lek en Amsterdam-Rijnkanaal via het beheersgebied van Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden naar Bodegraven en Rijnland gebracht.

Bij het gebruik van LSM in NWM is het belangrijk dat de watervragen op de juiste locatie gesteld worden. Met alleen LSM-RWS is dit niet goed te doen, omdat de regionale wateren niet zijn opgenomen in het model. In dat geval zou al vóór het starten van een LSM-RWS berekening voor de watervraag van Rijnland besloten moet worden of het lateraal debiet op locatie X of locatie Y in het RWS netwerk gezet moet worden, en dat is niet de bedoeling. Het LSM-RWS moet tijdens de berekening kunnen besluiten dat in tijdstap T1 ingelaten kan worden via Gouda, en in tijdstap T2 niet. Dus het model zal, afhankelijk van de actuele situatie, moeten bepalen hoe de watervraag voorzien wordt (via Gouda of via Bodegraven). Hiervoor moet de watervraag in het regionale netwerk zijn opgenomen, zodat in LSM bepaald kan worden via welke route deze vraag voorzien wordt. Het model moet dus ook schematisaties van de relevante regionale netwerken bevatten.

De zoute wateren van de gebieden Dutch Continental Shelf Model, Zuidelijke Noordzee, Waddenzee, Eems/Dollard en Westerschelde zijn niet in LSM opgenomen.

1.3 Modelspecificaties

De officiële benaming van het uiteindelijke model wordt sobek-lsm3-j18_5-v1. Dit betekent dat het model onder deze naamgeving in het beheer en onderhoudssysteem van Rijkswaterstaat wordt opgenomen.

Voor het gebruik van het model moet de volgende software gebruikt worden:

- SOBEK3.7.20 (pre-release)

Voor de resultaten zoals beschreven in deze rapportage is gebruik gemaakt van een niet-officiële versie van SOBEK (een zogenaamde branch). Er zijn model specifieke aanpassingen gedaan in de laatste officiële versie SOBEK versie 3.7.19. Deze aanpassingen worden in de nieuwe release van SOBEK 3.7.20 opgenomen.

Er zal ter controle een berekening worden uitgevoerd met de huidige schematisatie in de officiële release. Dit wordt gedaan voordat de schematisatie wordt opgenomen in het beheer en onderhoudssysteem van Rijkswaterstaat.

Naast de software voor het LSM3 model is er voor deze rapportage ook gebruik gemaakt van andere modellen. De gebruikte software is hieronder weergegeven:

- LSM1.31: SOBEK 2.13.002
- LSM-RWS: SOBEK3.7.5.38350

2 Werkwijze

Om te komen tot de berekeningen zijn er verschillende stappen uitgevoerd. Deze zijn als volgt samen te vatten:

- Inventariseren RWS-modellen;
- Samenvoegen RWS-modellen;
- Omzetten regionale modellen van SOBEK 2 naar SOBEK3;
- Werkend krijgen regionale modellen in SOBEK3;
- Samenvoegen RWS-modellen en regionale modellen;
- Opleggen randvoorwaarden;
- Toevoegen chloride en temperatuur;
- Berekening 2003.

In dit hoofdstuk worden deze verschillende stappen verder besproken. In Figuur 2.1 is de uiteindelijke schematisatie van sobek-lsm3-j18_5-v1 weergegeven.



Figuur 2.1: Schematisatie sobek-lsm3-j18_5-v1

2.1 Inventariseren RWS-modellen

In Tabel 2.1 zijn de gebruikte modellen weergegeven.

Tabel 2.1: Versies van de RWS-deelmodellen

Gebied	Status SOBEK3	Originele SOBEK versie	Opmerkingen
DCSM/ZUNO			n.v.t.
IJmuiden			n.v.t.
Waddenzee en Eems-Dollard			n.v.t.
Volkerak Zoommeer	sobek-rmm-vzm-j15_5-v2	Kalibratie in 3.7.13	
Grevelingen	sobek-grevelingen-j12_5-v1	3.7.13	
Veerse Meer			Uit SOBEK2
Oosterschelde	sobek-oosterschelde-j12_5-v1		
Westerschelde			n.v.t.
Maas	sobek-maas-j18_5-v2	3.7.9	
Rijn	sobek-rijn-j17_5-v3	3.7.9	
Rijn Maas Monding	sobek-rmm-vzm-j15_5-v2	Kalibratie in 3.7.13	
Overijsselse Vechtdelta	sobek-ovd-j14_5-v2	3.4.1 (i.v.m. PID)	
IJsselmeer en IJsseldelta	sobek-ym_ijd-j16_5-v3	3.4.1 (i.v.m. Ruwheid)	
Markermeer	sobek-markermeer-j10_5-v2	3.3.1	
Veluwerandmeren	sobek-vrm-j10_5-v2	3.3.1	
NZK-ARK	sobek-nzk_ark-j15_5-v2 (zonder zout) sobek-nzk_ark-j15_5-v3 (met zout)	3.7.4)	
Twentekanaal	sobek-twentekanaal-j10_5-v2	3.3.1 (i.v.m. PID)	
Brabantse kanalen	sobek-mlnbk-j14_5-v2	3.5.7	
Meppelediep			Uit SOBEK2
Lemmer-Delfzijl			Uit SOBEK2
ZuidWillemsvaart België			Uit SOBEK2
Monsin-Eijsden			Oorspronkelijk uit SOBEK-RE, en al eerder in SOBEK3 omgezet.

2.2 Samenvoegen RWS-modellen

Voor het samenvoegen van de verschillende deelmodellen zijn de volgende aannamen gehanteerd:

- Het meer bovenstroomse model heeft voorrang op het benedenstroomse model; dit betekent dat wanneer er overlap in de modellen is, de schematisatie van het bovenstroomse model wordt gebruikt.
- De aannamen voor de verbindingen in de overgangsgebieden zijn overgenomen van het LSM-LT: Dit betekent dat wanneer er geen sturing op een kunstwerk zat, deze sturing is overgenomen van het LSM-LT model.

Het gaat hier om de volgende aansturingen:

Toegevoegde controllers

- CNTL_Irenesluis
- CTNL_Irene_KWA
- CNTL_Beatrixsluis
- CNTL_IJmuid_U
- CNTL_IJmuid_B3
- CNTL_Nijkerkerpomp
- CNTL_Nijkerkersl
- CNTL_Krabgatsluis
- CNTL_Houtribsluis

Verwijderde control groups

- CG:IJ_Oranjesluizen (dubbel)
- CG: IJmuiden binnenspiikan

Niet toegevoegd

- IJmuid_nr4 (geen reden voor)
- Op dpij_markermeerpeil

- Sommige verbindingstukken tussen de deelmodellen waren in beide deelmodellen niet aanwezig. Deze zijn toegevoegd op basis van het LSM-LT. Het gaat hier om de volgende locaties:
 - Prinses Beatrixsluis (Lekkanaal)
 - Emmabrug and Oranjebrug (Merwedekanaal)
 - Prinses Irenesluis (ARK)
 - Sluis Eefde (Twentekanaal)
 - IJsselmeer26 branch is omgedraaid
 - IJsselmeer37 branch is omgedraaid
 - Nijkerkersl_Open (gecorrigeerd from -1.5m to 1.5m)
 - dpij_Ramsdiep crest level aangepast van -4.24m naar -4.25m
 - dpij_Ramsgeul_HeadDifference -> Dpij_Ramsgeul_Discharge; Gelijk gesteld als in WAQUA
- Ook zijn er in de originele modellen enkele aanpassingen:
 - Haringvlietsluizen: Uitzetten van de switch HVSL_0x_switch en toevoegen regel1. Dit voorkomt dat de Haringvlietzuizen altijd dicht blijven (switch) en openen op basis van een relatie tussen debiet en gate lower edge level (rule)
 - Haringvlietsluizen: Head difference veranderd van 12 cm naar 0 cm voor alle sluisen ter voorkoming van instabiliteiten
 - Grevelingen: CNTL_Grevelingen lookup table van constant naar een lookup table welke lineair interpoleert
 - Brouwerssluis: schematisatie aangepast naar LSM-RWS versie
 - IJsselmeer26 branch is omgedraaid
 - IJsselmeer37 branch is omgedraaid
 - Nijkerkersl_Open (gecorrigeerd van -1.5m to 1.5m)
 - dpij_Ramsdiep opening crest level van -4.24m to -4.25m

- dpij_Ramsgeul_HeadDifference -> Dpij_Ramsgeul_Discharge; is nu hetzelfde als in WAQUA

Na het samenvoegen van de deelmodellen is er een test-berekening uitgevoerd om te zien of het model goed draait. Toen dit het geval bleek, is doorgedaan naar de volgende stap; het toevoegen van de regionale modellen.

2.3 Omzetten regionale modellen van SOBEK 2 naar SOBEK3

Voor de regionale systemen zijn de modellen overgenomen uit het LSM-LT (SOBEK 2). Hiervoor zijn de volgende acties uitgevoerd:

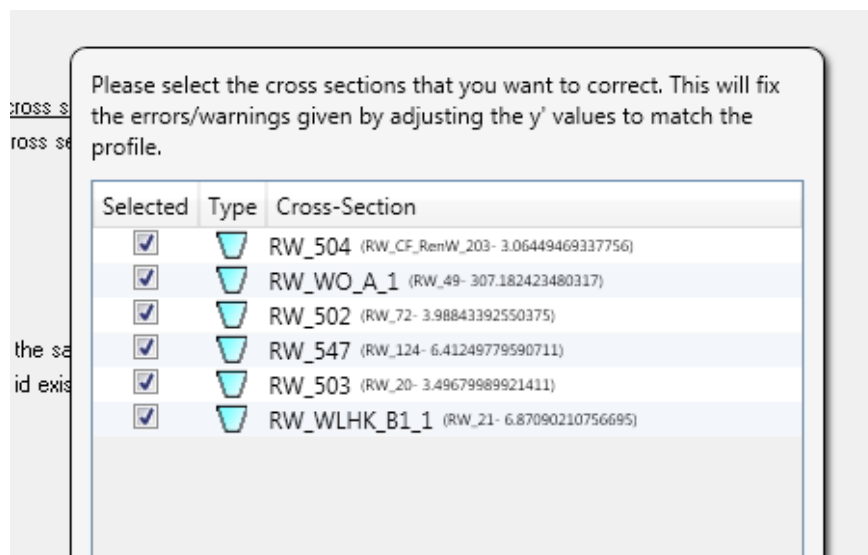
- Uitknippen van de regio uit LSM-LT; Vanwege de omvang van de modellen is het niet mogelijk om alle regionale modellen in één keer over te zetten naar SOBEK3. Hierdoor is het uitknippen van de regio in verschillende delen gedaan. Hiervoor is zoveel mogelijk aangesloten bij de waterschapsgrenzen.
- Vervolgens zijn de modellen ingeladen in SOBEK3 en gecheckt op eventuele fouten / foutmeldingen.
- Op enkele plaatsen zijn vaste boundaries voor de testberekening toegevoegd (indien geen boundary conditions aanwezig waren).
- Er is gekeken of de modellen zonder problemen de eerste tijdstappen van de berekening binnen SOBEK3 doorlopen.

Tijdens deze acties is er niet gekeken naar de resultaten van de berekening. Dit omdat er op de randen een vaste waarde is opgedrukt. De berekening heeft hiermee geen realiteitswaarde en is alleen gedaan om te zien of het model de eerste tijdstappen zonder problemen doorkomt.

2.4 Werkend krijgen regionale modellen in SOBEK3

Voor het werkend krijgen van de regionale modellen in SOBEK3 moesten er aanpassingen aan de schematisatie gedaan worden. Deze zijn hieronder weergegeven:

- Alle bruggen zijn verwijderd.
- Breedte correctie bij profielen; Was het eerder mogelijk elke waarde voor de breedte van subsecties in te vullen, in deze versie van SOBEK3 moet de som van de breedtes van de secties gelijk zijn aan de totale breedte (zie Figuur 2.22).



Figuur 2.2: Automatische breedte correctie bij profielen.

- Aanpassingen ruwheid: In YZ-profielen waren dubbele/driedubbele ruwheidstypes gedefinieerd. Hier kon de gebruikte SOBEK3 versie niet mee omgaan en zijn daarom aangepast.
- Bodembreedte profielen: Sommige profielen hadden een bodembreedte van 0 m. Onnodig scherpe punten zijn aangepast
- Randvoorwaarden: Randvoorwaarden en lateralen met een standaard debiet van 0 m³/s zijn verwijderd. Dit vanwege een beperking van Deltashell en Windows wat betreft het omgaan met files.
- Randvoorwaarden: De namen zijn beperkt tot 40 karakters, Deltashell staat geen langere namen toe.
- RTC input: Veel RTC input was geen (veelvoud van) de initiële tijdstap van 10 minuten. Deze zijn aangepast naar een tijdstap van 10 minuten (zie Figuur 2.3).

Time [yyyy-MM-dd HH:mm:ss]	Value [-]
2003/01/01 00:00:00	0
2003/06/01 00:00:00	0
2003/06/01 00:01:00	2
2003/06/11 00:00:00	2
2003/06/11 00:01:00	6.5
2003/09/21 00:00:00	6.5
2003/09/21 00:01:00	2
2003/10/01 00:00:00	2
2003/10/01 00:01:00	0
2004/01/01 01:00:00	0
*	

Time [yyyy-MM-dd HH:mm:ss]	Value [-]
2003/01/01 00:00:00	0
2003/06/01 00:00:00	0
2003/06/01 00:10:00	2
2003/06/11 00:00:00	2
2003/06/11 00:10:00	6.5
2003/09/21 00:00:00	6.5
2003/09/21 00:10:00	2
2003/10/01 00:00:00	2
2003/10/01 00:10:00	0
2004/01/01 01:00:00	0
*	

Figuur 2.3: De originele tijdserie met input op 1-minuutbasis links, (vb Brabantse Delta). Dit is aangepast naar de initiële tijdstap (rechts)

- Section-widths voor main/floodplain1/floodplain2 zijn gecorrigeerd volgende de laatste SOBEK3 versie

Naast bovenstaande aanpassingen zijn er meer aanpassingen gedaan. Deze staan beschreven in bijlage B.

2.5 Samenvoegen RWS-modellen en regionale modellen

Om de regionale modellen te kunnen koppelen aan het hoofdwatersysteem zijn de volgende aanpassingen gedaan:

- Het toevoegen van knopen (connection nodes) in het hoofdwatersysteem om de koppeling te kunnen maken (zie bijlage A).
- In veel gevallen waren er al lateralen aanwezig waar lozingen of onttrekkingen van het regionale model aan het hoofdwatersysteem werden gekoppeld. Deze lateralen zijn verwijderd.
- In LSM-LT waren er bij een aantal zeeranden standalone takken toegevoegd (dus niet verbonden met de rest van het netwerk). Deze waren oorspronkelijk voor de district lozingen vanuit LHM. Deze zijn verwijderd.
- Bij overlappende stukken tussen het regionale model en het hoofdwatersysteem, is de schematisatie uit het hoofdwatersysteem overgenomen.

2.6 Opleggen randvoorwaarden

Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van de volgende versies van de programmatuur:

- LSM1.31: SOBEK 2.13.002
- LSM-RWS: SOBEK3.7.5.38350
- LSM3: SOBEK3.7.19; Er is een branch van deze versie gebruikt die modelspecifieke aanpassingen heeft

De modelsimulaties zijn uitgevoerd voor het jaar 2003. De simulatieperiode en de tijdstappen zijn als volgt:

- Simulatieperiode: vanaf 01-12-2002 t/m 31-12-2003, waarbij de eerste maand als inspeelperiode wordt beschouwd.
- Simulatietijdstap: 10 minuten.
- Uitvoertijdstap: daggemiddelde.

Bij de simulatie van het LSM3 zijn randvoorwaarden als volgt gedefinieerd:

- Er is zonder wind gerekend.
- De waterstanden op zee zijn afkomstig van LSM 1.31 (zie [Prinsen en Wesselius, 2015]). Deze randen zijn gebaseerd op de metingen en worden ook gebruikt in LSM-LT.
- Het debiet van de rivieranden: BovenLobith, BovenEijsden en Boven_Emlichheim zijn afkomstig van LSM 1.31. Deze randen zijn gebaseerd op de metingen en worden ook gebruikt in LSM-LT. De randvoorwaarde van Eijsden is aangepast zodat deze minder sprongen bevat. Dit is gedaan om instabiliteiten tegen te gaan.
- De laterale debieten in LSM-RWS zijn afkomstig van LSM 1.31. Hiervoor zijn de laterale debietlocaties in LSM-RWS gekoppeld aan laterale debietlocaties in LSM 1.31 (zie [Prinsen en Wesselius, 2015]). De laterale debieten zijn op LHM berekeningen gebaseerd.

2.7 Toevoegen chloride en temperatuur

Voor chloride zijn de uitgangspunten, zoals randvoorwaarden en dispersiecoëfficiënten, uit het Rijn-Maasmonding model overgenomen. Voor de overige gebieden is er gebruik gemaakt van standaard waarden voor de dispersiecoëfficiënten. Deze standaard waarden zijn: $f_3=25$ en $f_4=6$. Dit zijn de default waarden uit het Rijn-Maasmonding model welke zijn overgenomen.

Voor de temperatuurberekening is uitgegaan van een achtergrondtemperatuur van 12 graden Celsius. Voor de lateralen is uitgegaan van de data beschikbaar in LTM (binnen NWM). Hier is de "heat discharge" gegeven. Om vervolgens te komen tot een temperatuurslozing (lateraal) is de volgende formule gebruikt (pers. comm. P. Boderie):

$$T = [\text{default temperature (C)}] + [\text{heat discharge (MW)}] / 4.2 \text{ (J/m}^3\text{/C)} / [\text{hydraulic discharge (m}^3\text{/s)}]$$

Hier moet een afvoer (hydraulic discharge) van 1 m³/s worden aangenomen, wat resulteert in:

$$T = 12 + \text{MW}/4.2/1.0$$

De lateralen waar geen temperatuurslozing van bekend is, hebben een temperatuur van 12 graden Celsius meegekregen.

De hierboven beschreven methode is ook gehanteerd voor het LTM.

2.8 Berekening 2003

Na de modelbouw en het opleggen van de randvoorwaarden is een jaarsom voor het simulatiejaar 2003 gedraaid. Deze som is gedraaid in februari 2020. In het volgende hoofdstuk zijn de resultaten van deze berekening weergegeven.

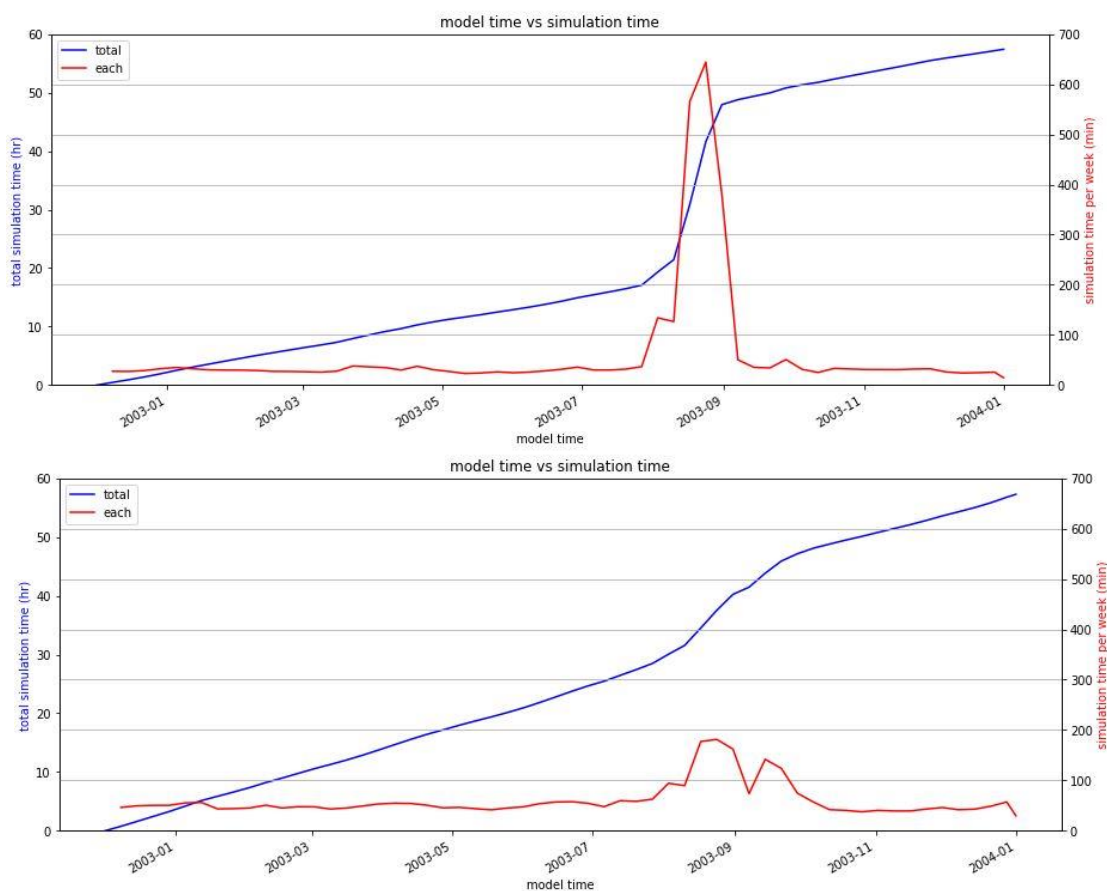
3 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de berekening van februari 2020 (jaarsom simulatiejaar 2003) weergegeven. Wanneer in dit hoofdstuk wordt gesproken over:

- SBK2 wordt het LSM-LT model in SOBEK 2 bedoeld;
- SBK3-LSM2017 wordt LSM-RWS in SOBEK3 van 2017 bedoeld;
- SBK3-LSM2019 Wordt LSM3 uit deze rapportage bedoeld.

3.1 Rekeningtijd

In Figuur 3.1 is de rekeningtijd van het hydrodynamische model (boven) en het hydrodynamische model met chloride en temperatuur (onder) weergegeven.



Figuur 3.1: Rekeningtijd van het hydrodynamische model (boven) en het hydrodynamische model met chloride en temperatuur (onder)

De blauwe lijn geeft de cumulatieve rekeningtijd weer. De rode lijn de rekeningtijd per (simulatie-) week. Uit de Figuur blijkt dat de totale rekeningtijd voor beide modellen nagenoeg gelijk is. Dit is een vrij onverwacht resultaat. De verwachting was namelijk dat het hydrodynamische model een kortere rekeningtijd heeft dan het hydrodynamische model met chloride en temperatuur. Wanneer er wordt gekeken naar de rekeningtijd per week, blijkt dat dit met name komt door de piek in augustus. Hier heeft het hydrodynamische model een flink grotere rekeningtijd nodig. Deze piek is momenteel nog niet verklaard, maar kan te maken hebben met een instabiliteit rond een kunstwerk.

Chloride heeft in het zoet-zout overgangsgebied invloed op de waterstanden, waardoor de waterstand enkele centimeters hoger of lager uit kan vallen. Wanneer de waterstand dan net rond het openen of sluiten van een kunstwerk ligt, kan dit invloed hebben. Er wordt aanbevolen om dit in de toekomst verder te analyseren.

De ontwikkeling van het LSM3 is mede tot stand gekomen door wensen vanuit het Nationaal Water Model (NWM). Om het LSM3 op te nemen in het NWM zijn de rekentijden op dit moment nog te hoog. Ter vergelijking; Het LSM-LT (alleen hydrodynamica) heeft een rekestijd van circa 4 uur. De gehele reeks berekeningen binnen LSM met LSM-LT (hydrodynamica), NDB (chloride) en LTM (temperatuur) die potentieel wordt vervangen door het LSM3 heeft een rekestijd van circa 8 tot 10 uur, terwijl LSM3 een rekestijd van meer dan 55 uur heeft.

3.2 Debieten

In deze paragraaf worden de resultaten voor wat betreft de debieten besproken. In sectie 3.2.1 staan de statistieken van de verschillende locaties. In sectie 3.2.2 zijn figuren van de belangrijkste locaties weergegeven. Voor de figuren van alle locaties wordt verwezen naar bijlage C.

3.2.1 Statistieken

In Tabel 1 zijn de statistieken voor de verschillende locaties weergegeven. Met groen zijn de locaties aangegeven die vrij goede resultaten geven. Rood geeft aan dat deze locatie nog niet hele goede resultaten geeft. Dit is hier alleen aangegeven voor de vergelijking tussen het LSM3 en de metingen.

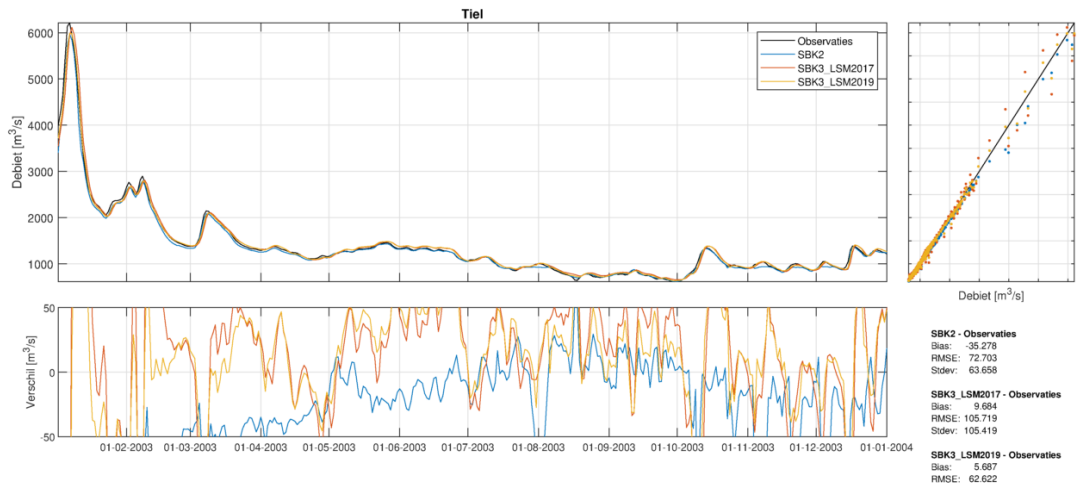
Tabel 3.1 Statistieken voor de debiet resultaten

	SBK2-minus-Observaties			SBK3-LSM2017-minus-Observaties			SBK3-LSM2019-minus-Observaties		
	B	RMSE	stdv	B	RMSE	stdv	B	RMSE	stdv
Tiel	-35,3	72,7	63,7	9,7	105,7	105,4	5,7	62,6	62,4
Den Oever	-338,4	550,0	434,1	-231,3	340,1	249,6	-134,8	255,6	217,4
Kornwerderzand	-164,9	336,5	293,7	-95,1	143,3	107,4	-106,6	268,5	246,8
Haringvliet	-20,6	766,4	767,1	-123,6	492,3	477,2	18,3	737,6	738,4
Oranjesluizen	13,1	44,2	42,3	10,2	18,6	15,6	110,3	222,2	193,2
Irenesluizen	1,5	6,4	6,2	0,086	7,5	7,5	0,097	7,5	7,5
IJmuiden	-96,0	133,7	93,2	-23,5	40,4	32,9	201,5	311,1	237,4
Eefde	-5,5	8,3	6,3	-2,0	8,3	8,0	14,0	28,7	25,0
Driel	8,6	43,2	42,4	-27,9	57,7	50,6	-29,3	50,1	40,6
Hagestein	66,1	208,8	198,4	-17,8	53,3	50,3	-24,8	51,3	44,9
Bunde	0,181	4,0	4,0	-12,9	13,7	4,6	-12,9	13,7	4,6
Mean_stations	-52,0	197,6	177,4	-46,8	116,5	100,8	3,8	182,6	165,3
RMS_stations	119,6	312,4	289,0	85,2	190,3	170,4	87,6	276,0	262,0

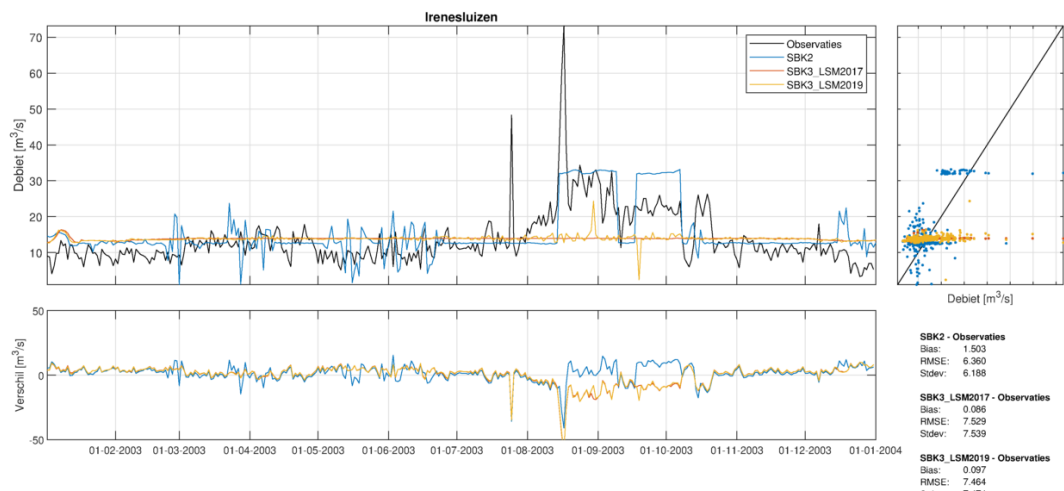
3.2.2 Debieten

Op basis van bovenstaande Tabel is ervoor gekozen de “goede” locaties Tiel en Irenesluizen en de “slechte” locaties Oranjesluizen en IJmuiden hier nader te beschouwen.

In Figuur 3.2 zijn de resultaten van Tiel weergegeven. Uit de Figuur blijkt dat deze locatie inderdaad de metingen en de eerdere berekeningen mooi volgt. Wanneer echter naar de locatie Irenesluizen (Figuur 3.3) wordt gekeken lijkt deze toch slechter dan op basis van de statistiek is aangenomen. Er lijkt hier weinig fluctuatie van het debiet, terwijl de metingen dit wel weergegeven. Dit lijkt nog een fout in de aansturing van de kunstwerken. Dit lijkt een vaker voorkomend probleem in het Amsterdam-Rijnkanaal/Noordzeekanaal (ARK/NZK). De sturing van de kunstwerken is veelal overgenomen uit SOBEK 2. Het lijkt er op dat deze in SOBEK3 (deels) aangepast dienen te worden. Hier is al een iteratie slag geweest, maar uit de berekening blijkt dat dit nog onvoldoende is. Er wordt aanbevolen hier nader naar te kijken.

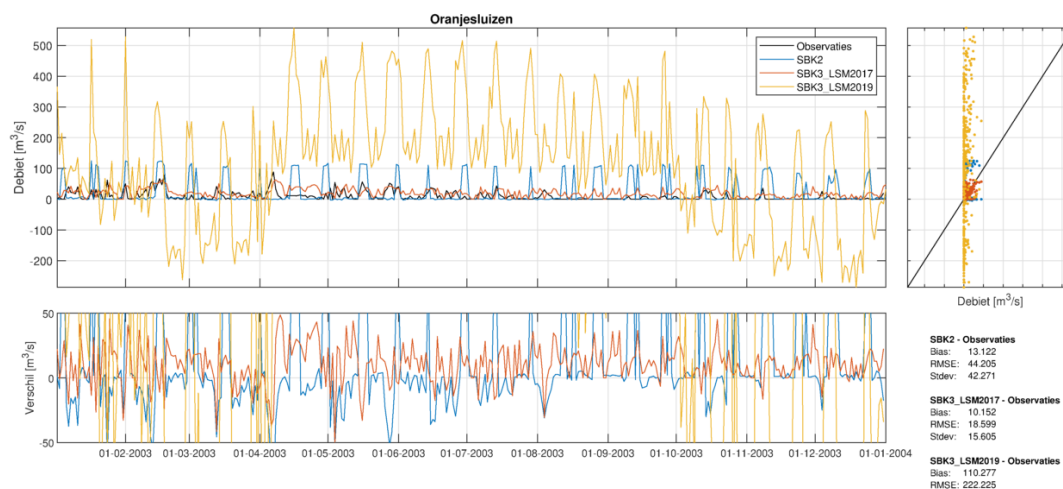


Figuur 3.2: Debiet resultaten bij Tiel

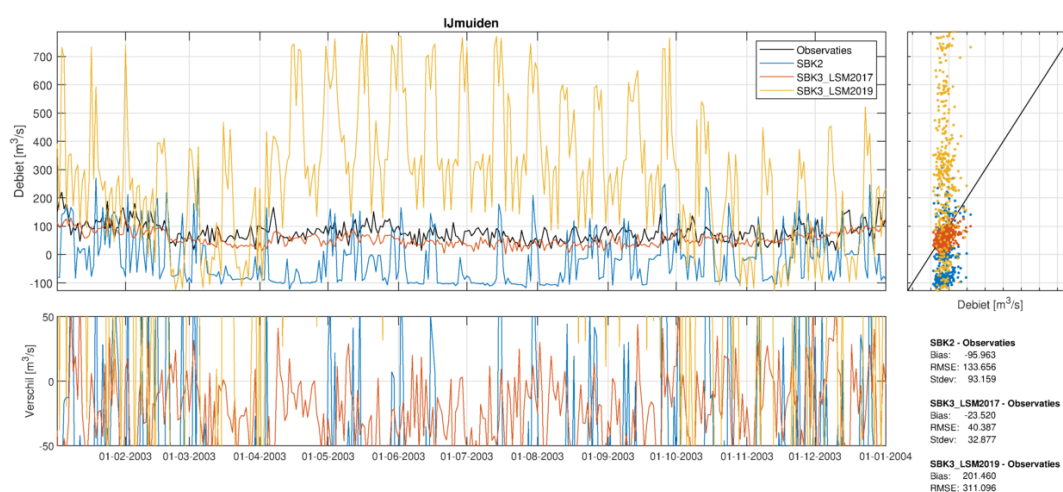


Figuur 3.3: Debiet resultaten bij Irenesluizen

Uit Figuur 3.4 en Figuur 3.5 blijkt dat de resultaten van het LSM3 voor de locaties Oranjesluizen en IJmuiden hoger te liggen dan de metingen en eerdere berekeningen. Ook deze locaties liggen binnen het ARK/NZK systeem. Zoals eerder genoemd lijkt dit een fout in de aansturing van de kunstwerken. Er wordt aanbevolen hier nader naar te kijken.



Figuur 3.4: Debiet resultaten bij Oranjesluizen



Figuur 3.5: Debiet resultaten bij IJmuiden

In Bijlage C zijn de resultaten van de overige locaties weergegeven. Op basis van deze resultaten worden de volgende opmerkingen gemaakt:

- In het deelmodel van het Twentekanaal (sobek-twentekanaal-j10_5-v2) speelt de Rainfall-Runoff module een grote rol. Deze module is in het LSM3 niet opgenomen. In LSM worden deze lateralen gevuld op basis van de LHM (decade) berekeningen. Hierdoor worden de piekafvoeren onderschat, en daarmee wordt het debiet op de IJssel onderschat tijdens een stormseizoen
- De kunstwerken op de Zuid-Willemsvaart worden nog niet goed aangestuurd. Het is nog onduidelijk of dit komt door de RTC of de locatie van de meting waar wordt vergeleken. Er wordt aanbevolen hier nader naar te kijken.

3.3 Waterstanden

In deze paragraaf worden de resultaten van de waterstanden besproken. In sectie 3.3.1 staan de statistieken van de verschillende locaties. In sectie 3.3.2 zijn figuren van de belangrijkste locaties weergegeven. Voor de figuren van alle locaties wordt verwezen naar Bijlage D.

3.3.1 Statistieken

In Tabel 3.2 zijn de statistieken voor de verschillende locaties weergegeven. Met groen zijn de locaties aangegeven die vrij goede resultaten geven. Rood geeft aan dat deze locatie nog niet hele goede resultaten geeft. Dit is hier alleen aangegeven voor de vergelijking tussen het LSM3 en de metingen.

Tabel 3.2 Statistieken voor de waterstand resultaten

	SBK2-minus-Observaties			SBK3-LSM2017-minus-Observaties			SBK3-LSM2019-minus-Observaties		
	B	RMSE	stdv	B	RMSE	stdv	B	RMSE	stdv
Arnhem				0,14	0,189	0,126	0,159	0,189	0,103
Deventer				0,038	0,216	0,212	0,017	0,185	0,185
Hagestein_beneden	0,179	0,397	0,354	0,124	0,468	0,452	0,032	0,174	0,172
Ijmuiden_binnen	0,052	0,089	0,072	0,019	0,052	0,048	0,114	0,141	0,082
Kampen_boven	0,049	0,121	0,111	0,062	0,155	0,142	0,071	0,153	0,136
Krimpen_ad_Lek	0,025	0,093	0,09	0,021	0,417	0,417	0,01	0,063	0,062
Linne_beneden	0,029	0,093	0,088	0,033	0,164	0,161	0,048	0,094	0,081
Lobith	0,115	0,154	0,103	0,104	0,164	0,126	0,172	0,188	0,077
Moerdijk	0,094	0,116	0,069	0,128	0,187	0,137	0,014	0,076	0,075
Nijmegen	-1.551	1.872	1.051	0,11	0,183	0,146	0,083	0,116	0,081
Rotterdam	0,003	0,131	0,131	0,083	0,542	0,536	0,033	0,077	0,07
SintPieternoord	0,041	0,102	0,094	0,058	0,127	0,114	0,002	0,096	0,096
TielWaal	0,137	0,221	0,174	0,338	0,374	0,16	0,037	0,087	0,079

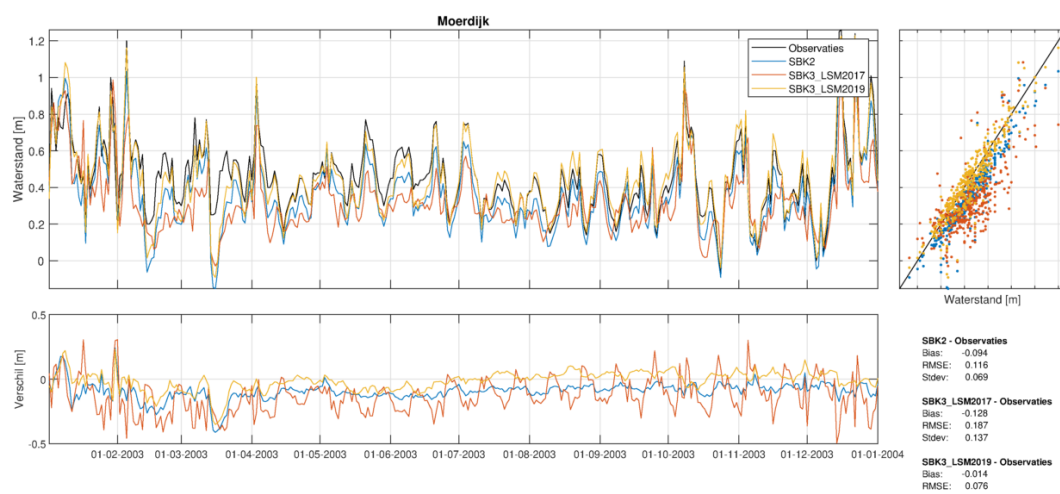
3.3.2 Waterstanden

Op basis van bovenstaande Tabel is ervoor gekozen de “goede” locaties Sint Pieter Noord en Moerdijk en de “slechte” locatie Ijmuiden hier nader te beschouwen.

De locaties Sint Pieter Noord en Moerdijk lijken de metingen inderdaad goed te volgen.

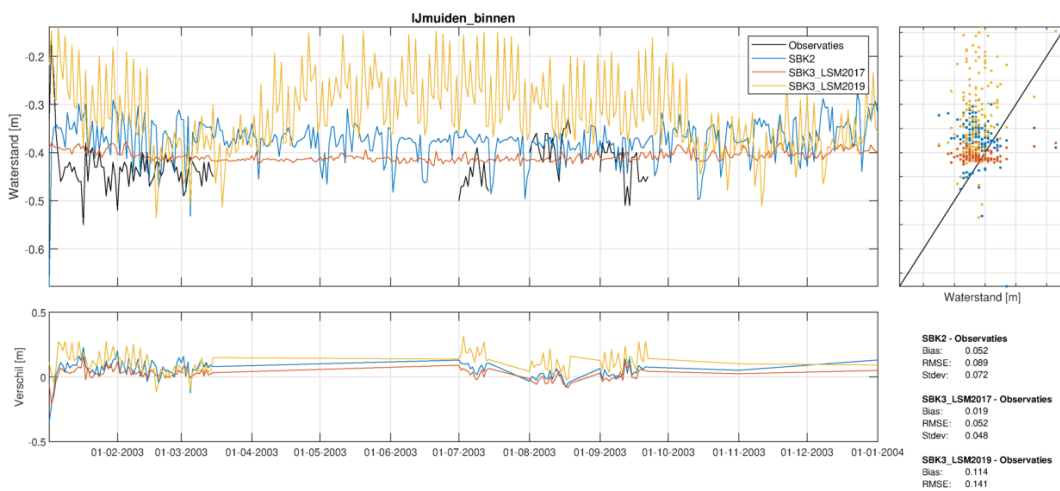


Figuur 3.6: Waterstandsresultaten bij Sint Pieter Noord



Figuur 3.7: Waterstandsresultaten bij Moerdijk

Uit Figuur 3.8 blijkt dat de waterstanden bij IJmuiden hoger zijn dan verwacht op basis van de metingen en eerdere berekeningen. In paragraaf 3.2.2 is bij de debieten al aangegeven dat er wat mis lijkt te gaan op het ARK/NZK. Hier moet nog nader naar gekeken worden.



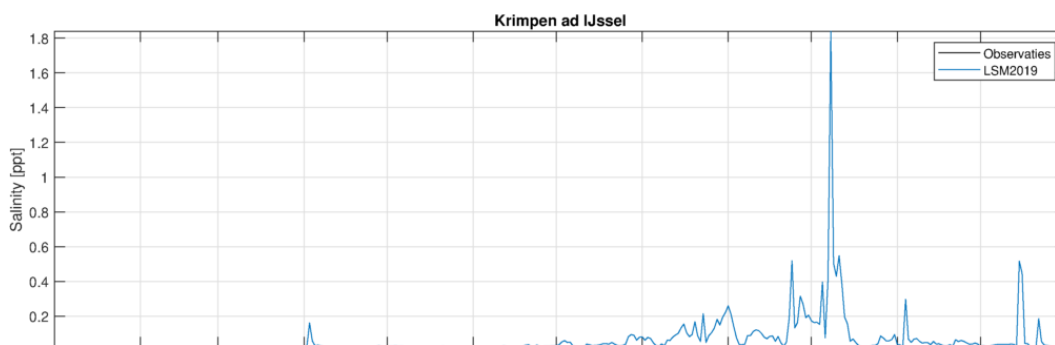
Figuur 3.8: Waterstandsresultaten bij IJmuiden

3.4 Chloride concentraties

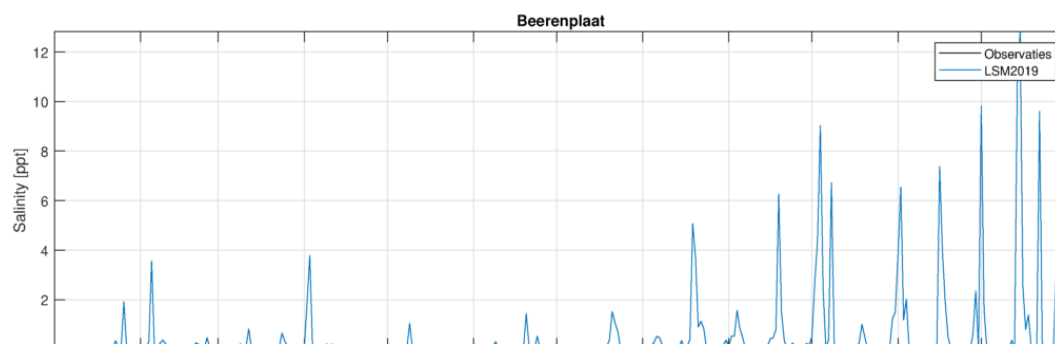
In deze paragraaf worden de resultaten van de chloride concentraties besproken. De figuren van de belangrijkste locaties zijn weergegeven. Voor de figuren van alle locaties wordt verwezen naar bijlage E.

Voor het jaar 2003 zijn er geen chloride metingen bekend. Ook het deelmodel van RMM is niet doorgerekend voor 2003.

Vaak wordt de locatie Krimpen aan den IJssel genomen als maatgevende locatie in het benedenrivierengebied. In Figuur 3.9 zijn daarom de resultaten van deze locatie weergegeven. Daarnaast zijn in Figuur 3.10 de resultaten van de locatie Beerenplaat weergegeven.



Figuur 3.9: Chlorideresultaten bij Krimpen aan den IJssel



Figuur 3.10: Chlorideresultaten bij Beerenplaat

Op basis van expert judgement kan worden gezegd dat het beeld dat in beide figuren is weergegeven overeenkomt met het gedrag van deze locatie in eerdere berekeningen met andere simulatiejaren. Echter, wordt aanbevolen deze resultaten nog te vergelijken met metingen of andere modelresultaten.

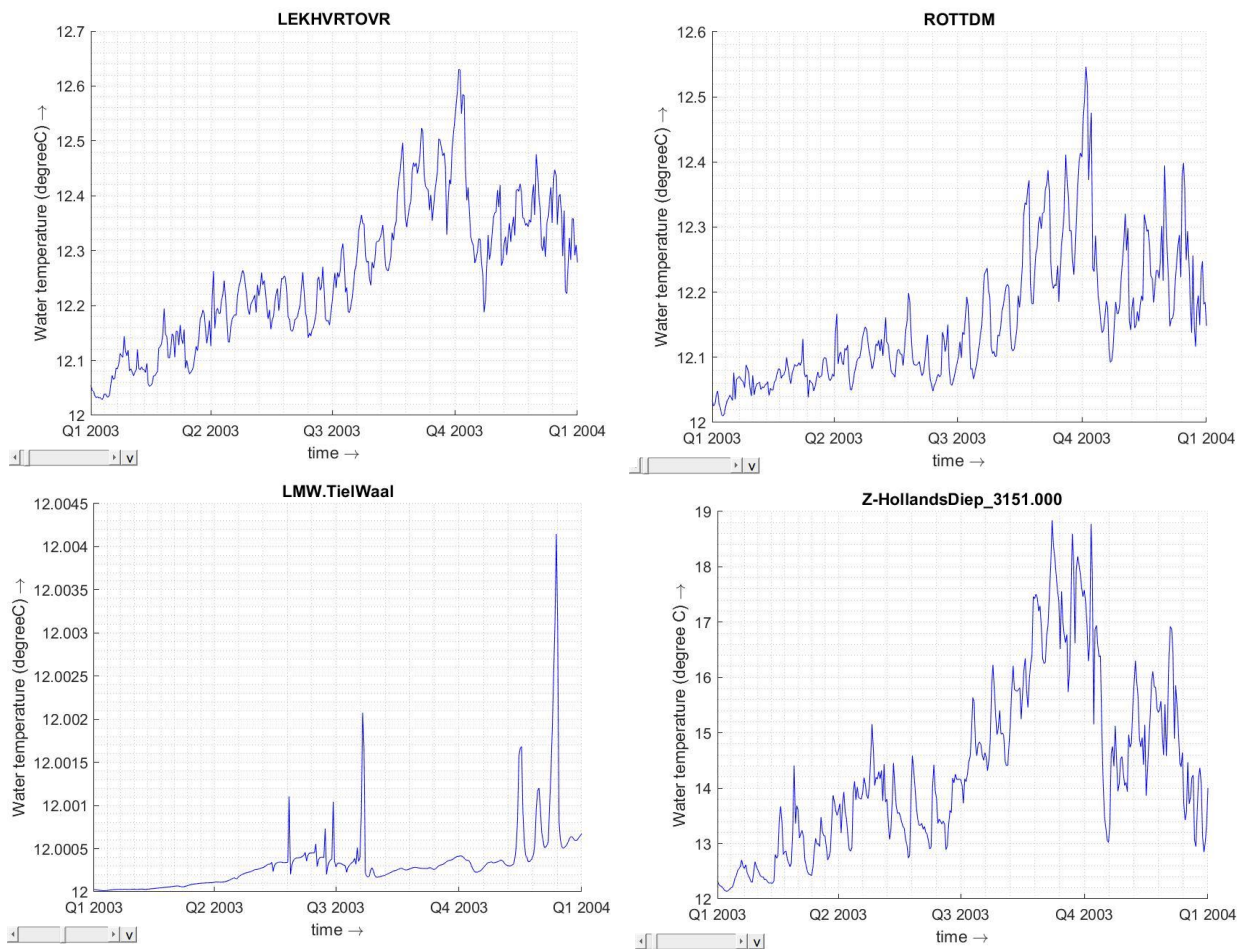
3.5 Temperatuur

In deze paragraaf worden de resultaten van de temperatuur besproken.

Voor het jaar 2003 zijn er geen temperatuur metingen bekend. Ook het deelmodel van RMM is niet berekend voor 2003.

In Figuur 3.11 zijn de temperatuur resultaten van een viertal locaties weergegeven. Uit de figuren blijkt dat er variatie in watertemperatuur optreedt. Of deze variatie volgens de werkelijke situatie verloopt is moeilijk te zeggen, aangezien er (nog) weinig vergelijkingsdata is. Er wordt aanbevolen de resultaten in meer detail met een expert op het gebied van temperatuur door te nemen.

Daarnaast lijkt het erop dat de standaard temperatuur (achtergrond temperatuur en temperatuur ontvangende water) van 12 graden Celsius een grote invloed heeft op de resultaten. Daarom wordt aanbevolen hier nogmaals goed naar te kijken.



Figuur 3.11: Temperatuur resultaten voor Lekhaven (LB), Rotterdam (RB), Tiel (LO) en Hollands Diep (RO)

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

Op basis van de resultaten van het model kan worden geconcludeerd dat het model redelijk goed presteert. Alleen in het systeem ARK/NZK zijn duidelijk nog verschillen ten opzichte van de metingen en eerdere berekeningen aanwezig. De Rijntakken, Maas en de Rijn-Maasmonding lijken redelijk goed te presteren.

Daarnaast zijn de rekestijden nog vrij hoog. Momenteel zijn de rekestijden ca 60 uur ten opzichte van ca 4 uur voor het LSM-LT.

4.2 Aanbevelingen

PID aanpassingen

Veel PID parameters in de regionale modellen en de overgangsgebieden zijn afgestemd op de oude implementatie van PID controllers in SOBEK 2. In de huidige versie van SOBEK3 is de implementatie van de PID controller aangepast, aangezien bij gebruik van ongewijzigde parameters wordt het gedrag van de kunstwerken instabiel.

Met name in de regionale systemen vormt dit een probleem. Om dit op te lossen is een herkalibratie noodzakelijk. Echter lijkt dit niet wenselijk vanwege de huidige kwaliteit van de modellen en het feit dat ze zijn overgenomen uit SOBEK2.

ARK/NZK

De waterstanden en debieten in ARK/NZK lijken nog niet voldoende goed. De oorzaak hiervan lijkt de aansturing van de kunstwerken die in het gebied liggen. De sturing van de kunstwerken is veelal overgenomen uit SOBEK 2. Het lijkt er op dat deze in SOBEK3 (deels) aangepast dienen te worden. Hier is al een iteratie slag geweest, maar uit de berekening blijkt dat dit nog onvoldoende is. Er wordt aanbevolen dit nader te analyseren.

Rekestijden

De rekestijden zijn vrij hoog. Momenteel zijn de rekestijden ca 60 uur ten opzichte van ca 4 uur voor het LSM-LT. Er wordt aanbevolen dit nader te analyseren.

Twentekanaal

In het deelmodel van het Twentekanaal speelt de Rainfall-Runoff module een grote rol. Deze module is in het LSM3 niet opgenomen. In LSM worden deze lateralen gevuld op basis van de LHM (decade) berekeningen. Hierdoor worden de piekafvoeren onderschat, en daarmee wordt het debiet op de IJssel onderschat tijdens een stormseizoen. De focus van het model is echter niet het stormseizoen. Er wordt aanbevolen hier nader naar te kijken indien het doel van het model verandert.

Zuid-Willemsvaart

Uit de resultaten blijkt dat de kunstwerken op de Zuid-Willemsvaart nog niet goed worden aangestuurd. Het is nog onduidelijk of dit komt door de RTC of de locatie van de meting waar wordt vergeleken. Er wordt aanbevolen hier nader naar te kijken.

Bijlage A: Lijst met toegevoegde nodes

Hieronder een lijst met toegevoegde nodes om het hoofdwatersysteem te kunnen koppelen met het regionale watersysteem. Bij de meeste nieuwe verbindingen is al een kunstwerk aanwezig. Indien deze niet aanwezig is, is deze toegevoegd op basis van de LSM-LT schematisatie.

RMM

- ZuidHollen
 - Nieuwe knoop bij NM_1007 om 2 branches te koppelen
 - Schie is gekoppeld naar de bestaene knoop tussen Maashaven en Nieuwe Maas
 - Nieuwe knoop bij NM_1011 (bij Vlaardingen)
 - Nieuwe knopen bij NM_1018 en NW_1019
 - Nieuwe knoop bij NW_1025.5
 - Nieuwe knoop bij HollandseIJssel at HY_7.00
- Rotterdam
 - Koppeling op bestaande knoop bij Nieuwe Maas en Koningshaven
 - Nieuwe knopen bij NM_998.5 en NM_999.5
- BrielseMeer
 - Nieuwe knoop bij Bernisse op het Spui
 - Nieuwe knoop bij HV_1018
 - Nieuwe knoop bij HV_1023.5 en VD-Buitenhaven
- BrabantDelta
 - Bestaande knoop bij HD_985.50
 - Koppeling op bestaande knoop bij Volkeraksluizen en Volkrakspuisluis
 - Koppeling op bestaande knoop bij Schelde-Rijn-Kanaal en Volkerak Hoofdgeul
- KWA
 - Bestaande knoop bij HollensIJssel
- Linge
 - Nieuwe knoop bij Beneden Merwede BE_963.00
- Gouda
 - Nieuwe knoop bij HollensIJssel at HY_3.00

Rijntakken

- KWA
 - Nieuwe knoop bij 965.00_LE
- (Utrecht) Vecht
 - Bestaande knoop bij 926.5_NR
- Linge
 - Bestaande knoop bij TielWaal
 - Bestaande knoop bij 902.00_NR
 - Bestaande knoop bij Pannerdensch Kanaal bij 870.00_PK
- Linge2
 - Bestaande knopen bij 950.00_LE en 962.00_LE

Maas

- Zuid-Willemsvaart
 - Nieuwe knoop bij 14.00_MA
- Monsin-Eijsden
 - Nieuwe knoop bij the upstream boundary condition at Eijsden

NZK-ARK

- KWA
 - Bestaande knoop bij Zuidersluis
- ZuidHollen
 - Leidse Rijn connect to the existing node in the west of Utrecht
 - Bestaande knopen bij Breukelen, Nieuwersluis, Nigtevecht, Driemond
- (Utrecht) Vecht
 - Leidse Rijn van ZuidHollen gaat door naar Leidse Rijn in Vecht
 - Bestaande knoop en 2 nieuwe knopen bij Utrecht
 - Bestaande knoop bij Cothen Wijk bij Duurstede
 - Bestaande knoop bij Nieuwersluis, Driemond, Derde Diem en Nieuwe Diep
 - Bestaande knopen bij Sluisbuurt
 - Bestaande knopen bij Amsterdam Centraal Station
 - Bestaande knoop bij Zijkanaal F to Amerikahaven
 - Bestaande knoop bij Spaarndam
- NoordHollen
 - Bestaande knoop bij Afrikahaven op het Noordzeekanaal
 - Bestaande knoop bij Zaenam

IJsselmeer

- NoordHollen
 - Bestaande knoop bij Den Oever
- Friesland-Groningen-Drenthe
 - Bestaande knoop bij Stavoren
 - Bestaande knoop bij Lemmer
 - Bestaande knoop bij LemmerPort
- Flevolen
 - Bestaande knoop bij IJsseloog in Ketelmeer

Markermeer

- NoordHollen
 - Nieuwe knoop bij two branches in the south of Hoorn
 - Bestaande knoop bij Edam
 - Nieuwe knoop bij Monnickendam
- (Utrecht) Vecht
 - Bestaande knoop bij Muiden
- Flevolen
 - Nieuwe knoop bij the north of Almere

Veluwerenmeren

- Flevolen
 - Nieuwe knoop bij Gemaal Lovink (the other side of Harderwijk)

Twentekanaal

- Almelo-De Haenrik en Overijssels Kanaal
 - Bestaande knoop bij Aadorp

MLNBK

- Brabantse Delta
 - Bestaande knopen bij Oosterhout
- Zuid-Willemsvaart
 - Bestaande knoop bij Lozen, Belgium

OverijsselseVecht

- Meppelerdiep
 - Nieuwe knoop bij Zwartsluis op het Zwarte Water
- Friesland-Groningen-Drenthe
 - Bestaande knoop bij Coevordersluis
- Almelo-De Haenrik en Overijssels Kanaal
 - Bestaande knoop bij Zwolle
 - Bestaande knoop bij De Haenrik Stuw

Naast het verbinden van het hoofdwatersysteem en het regionale watersysteem was het om sommige locaties ook nodig de beide regionale watersystemen te koppelen. Het gaat hier om de volgende locaties:

Linge: Linge2

- Bestaande knoop bij Arkel

(Utrecht) Vecht :: KWA

- Bestaande knoop bij IJsselstein

Meppelerdiep :: Friesland-Groningen-Drenthe

- Bestaande knopen bij Meppel

Gouda: ZuidHollen

- Bestaande knoop bij Gouda

ZuidHollen :: Rotterdam

- Bestaande knopen bij de Maasboulevard in Rotterdam

ZuidHollen :: KWA

- Bestaande knopen bij HollenselJssel

ZuidHollen :: BrielseMeer

- Bestaande knoop bij Maeslantkering

Bijlage B: Aanpassingen in regionale modellen

In de regionale system in waren er veel stabiliteitsproblemen. Dit komt met name doordat er een andere methode voor het schematiseren is gebruikt. Bij het samenvoegen van de modellen heeft dit veel effect op de reketijden. Om deze reden zijn er in de regionale systemen aanpassingen gedaan aan de schematisatie. De aanpassingen zijn vaak gedaan op basis van trial-en-error. Aangezien deze aanpassingen allemaal zijn gedaan binnen de regionale systemen, en de oorspronkelijke modellen niet worden aangepast, zijn niet alle aanpassingen in detail opgeschreven.

- Alle bruggen in de regionale modellen zijn verwijderd.
- Sommige kunstwerken zijn omschreven naar de methode binnen SOBEK3 (zie Figuur 0.1 en Figuur 0.2).
- Sommige rekenpunten zijn toegevoegd of verwijderd
- Branches die zijn gelinkt aan retentie zijn verwijderd.(zie Figuur 0.4 en Figuur 0.5)
- Sommige RTC triggers hebben geen input vanwege een error in de importer Deze zijn handmatig aangepast (van Figuur 0.6 naar Figuur 0.7).
- Retentiegebieden zonder storage zijn gesteld op een minimum van 1 m²



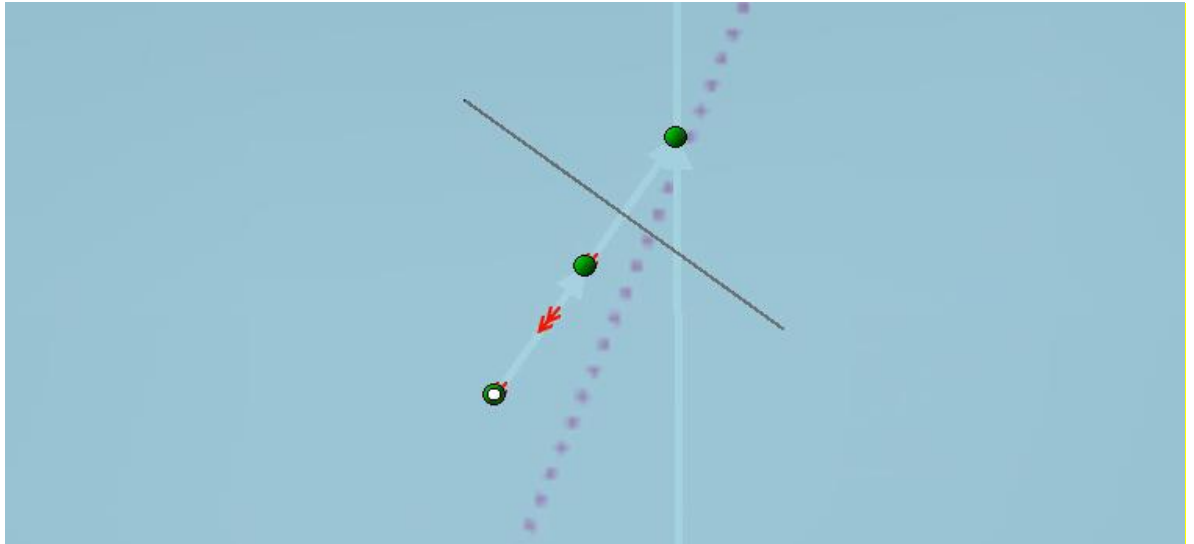
Figuur 0.1: Aangepast kunstwerk op de Lek



Figur 0.2: Aangepast kunstwerk op de Hollandse IJssel



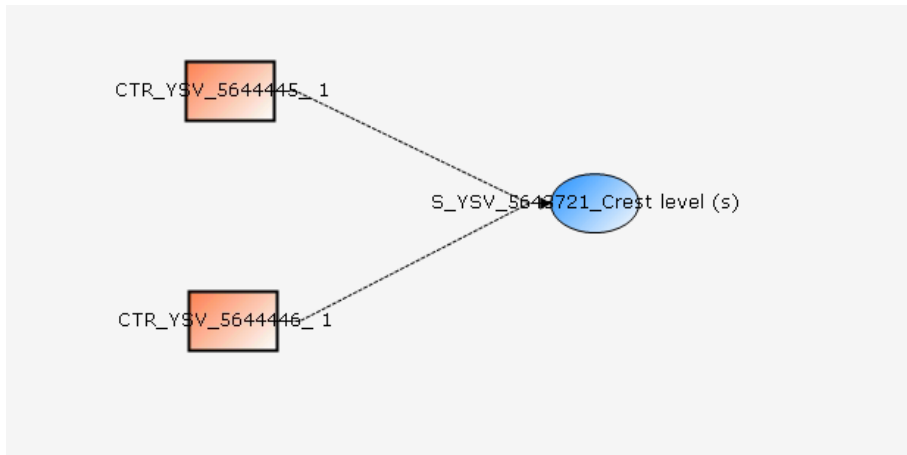
Figur 0.3: Onnodige nodes die zorgen voor een onregelmatige rekenafstand



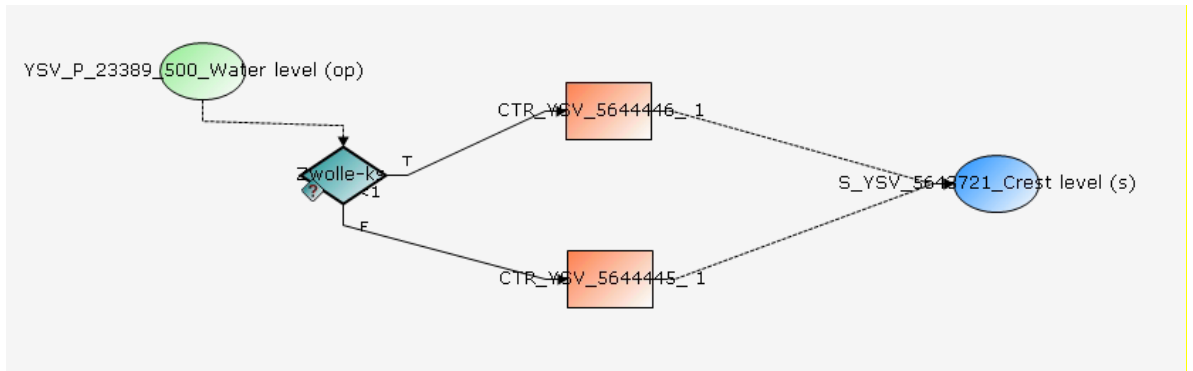
Figuur 0.4: Retentie in Groningen-Friesland-Drenthe model.



Figuur 0.5: Profiel behorende bij de retentie uit Figuur 0.4.

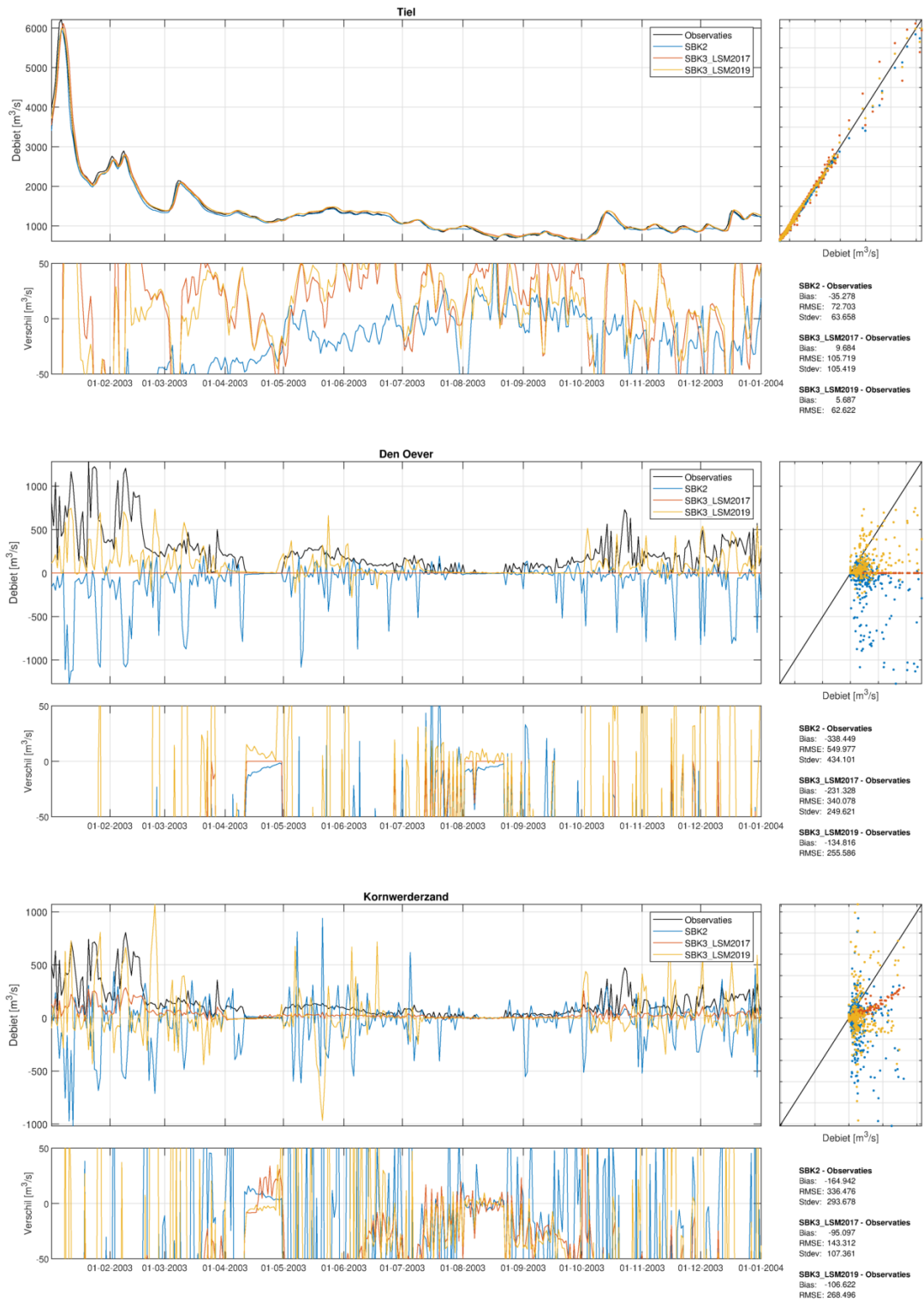


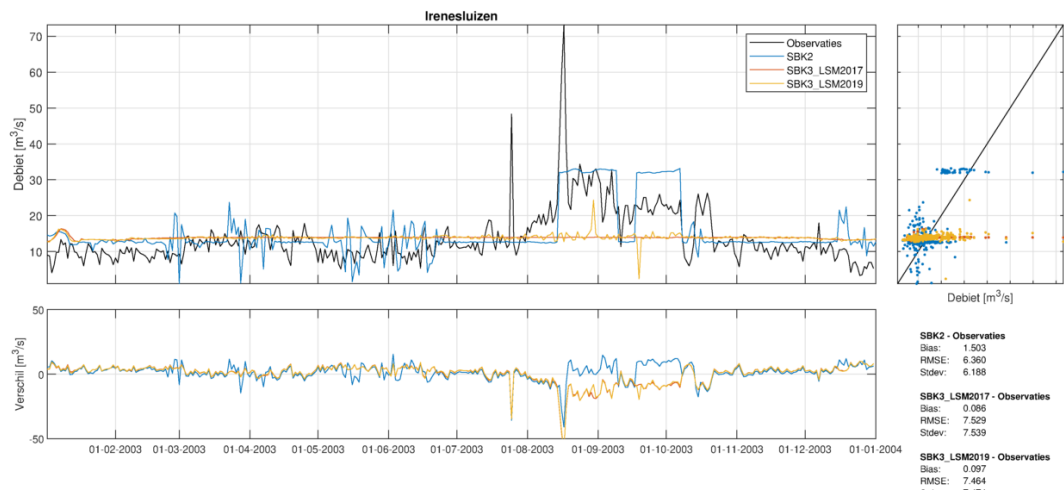
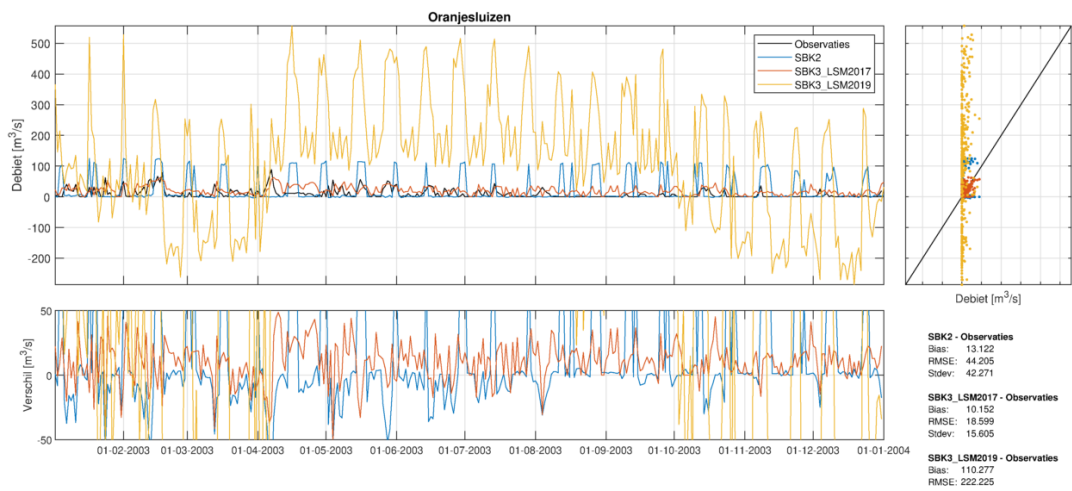
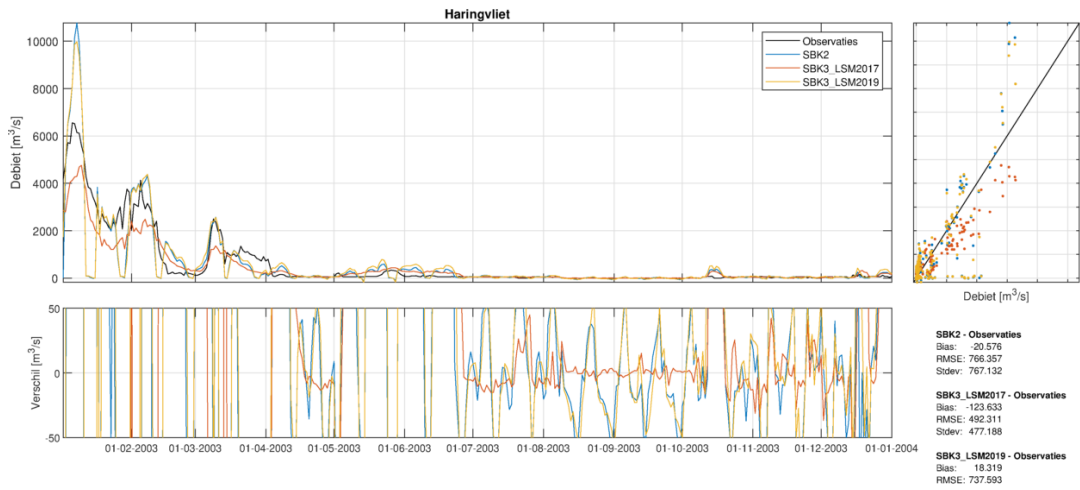
Figuur 0.6: Geïmporteerde RTC vanuit SOBEK2.

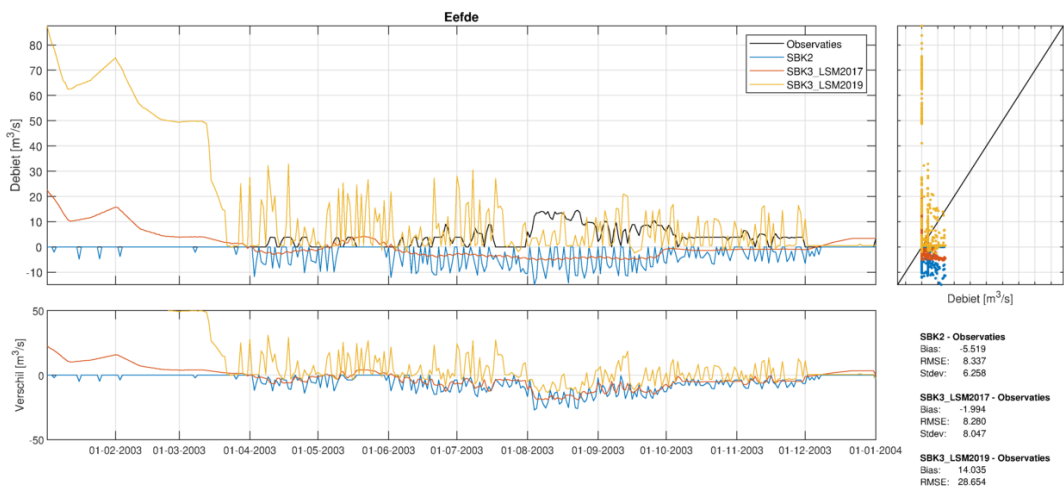
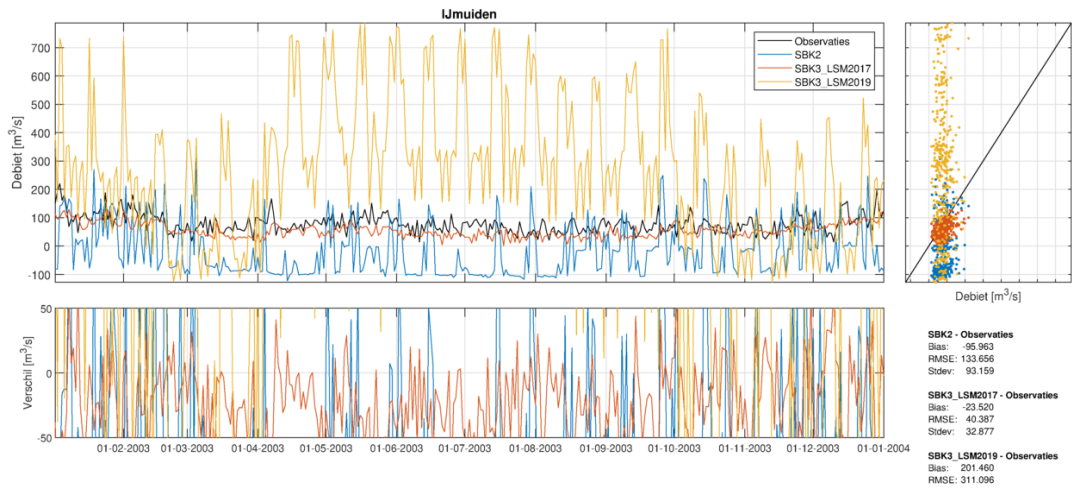


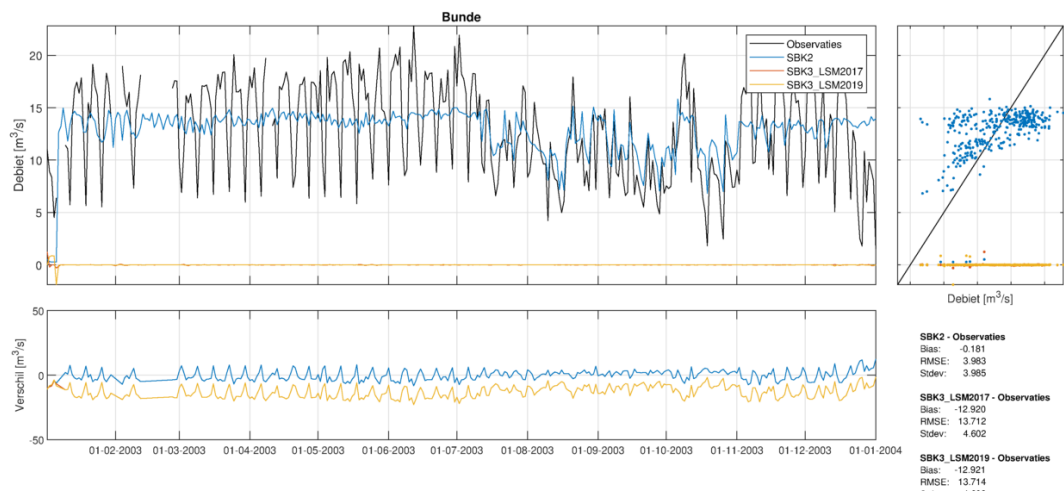
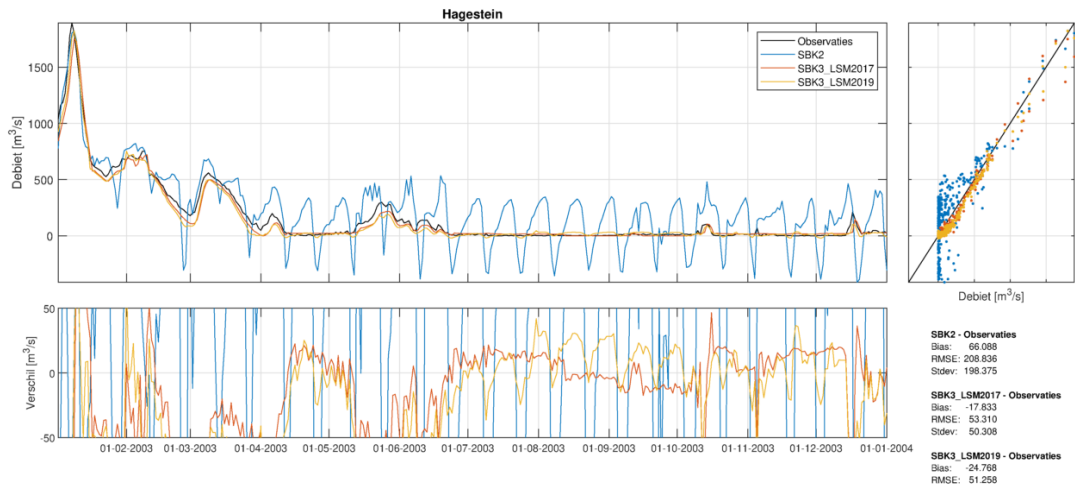
Figuur 0.7: Aangepaste RTC gebaseerd op LSM-LT

Bijlage C: Resultaten debieten

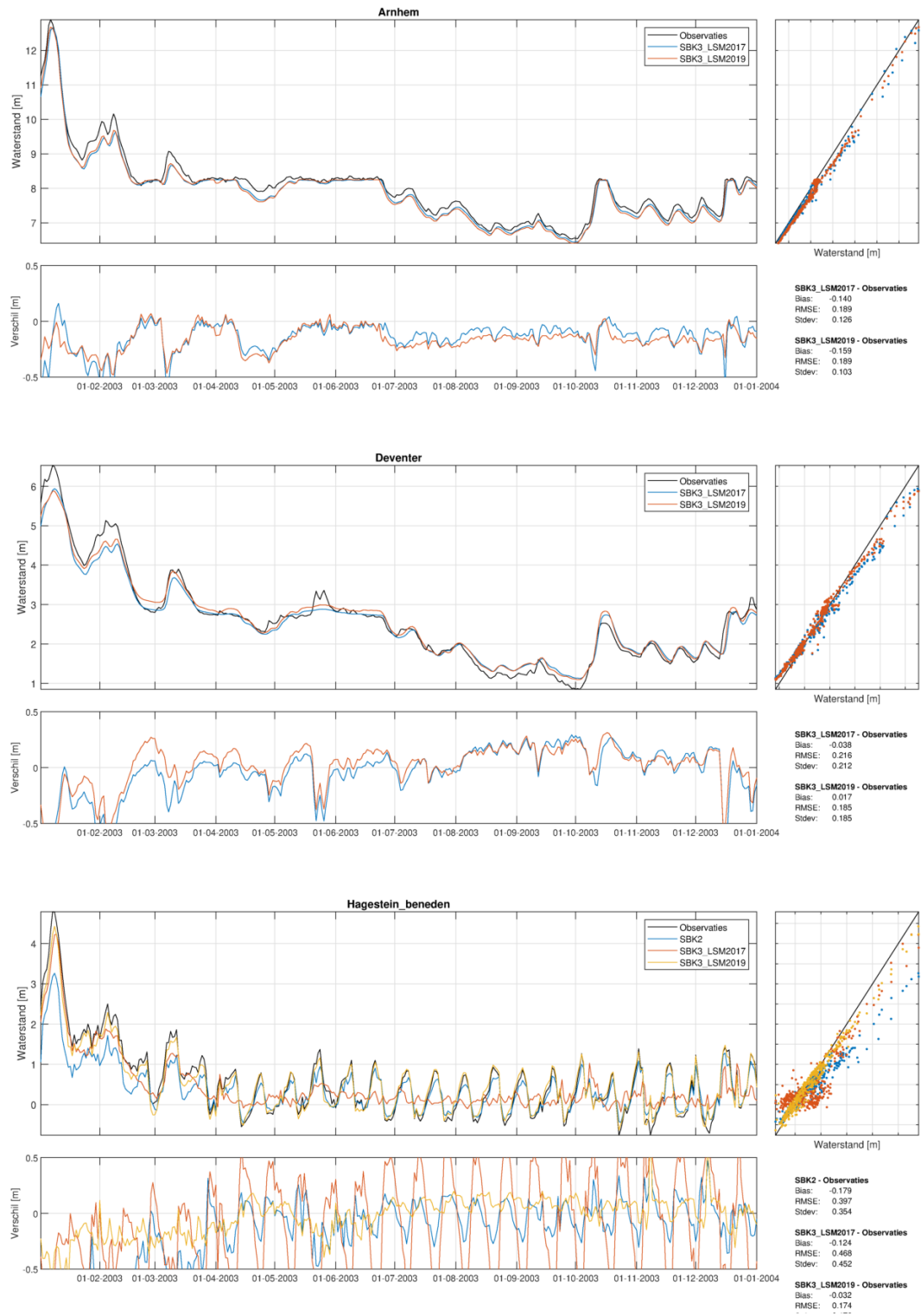


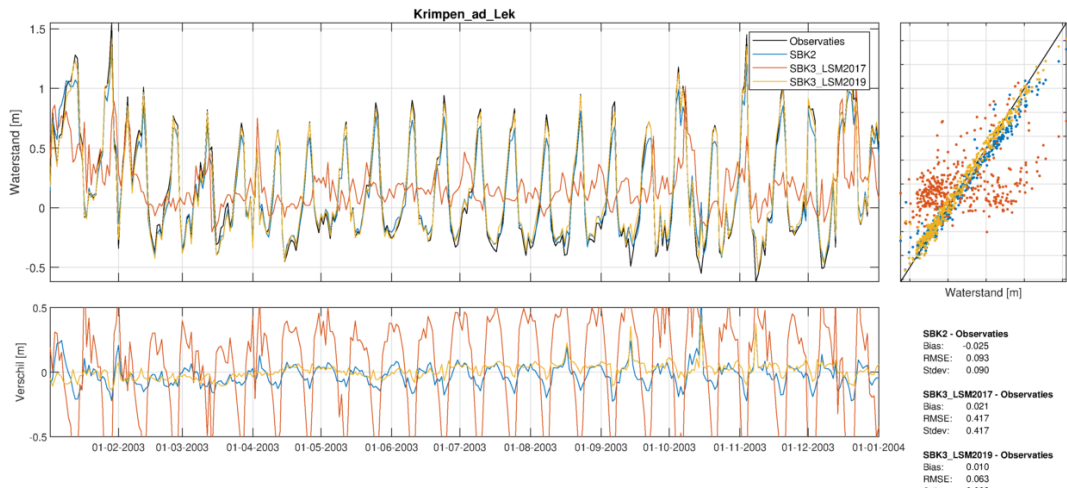
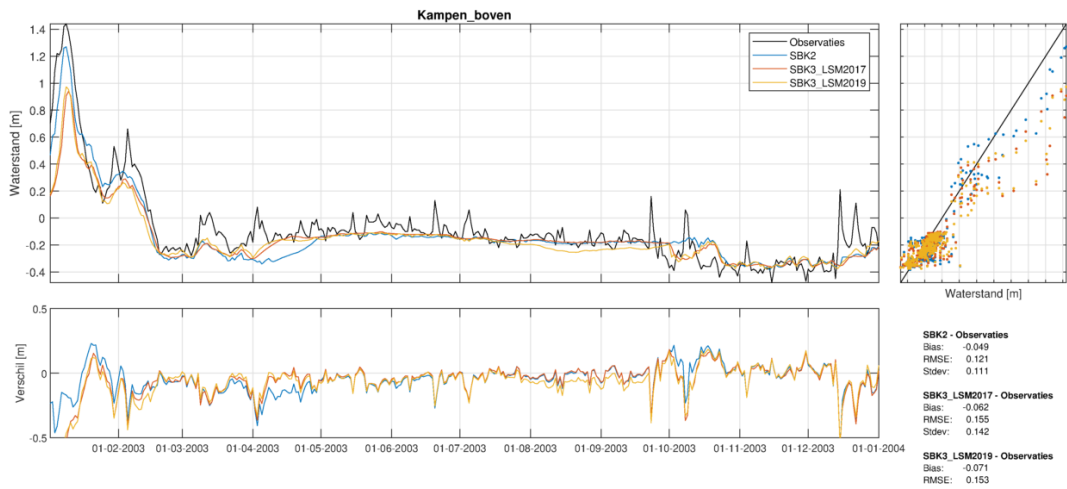
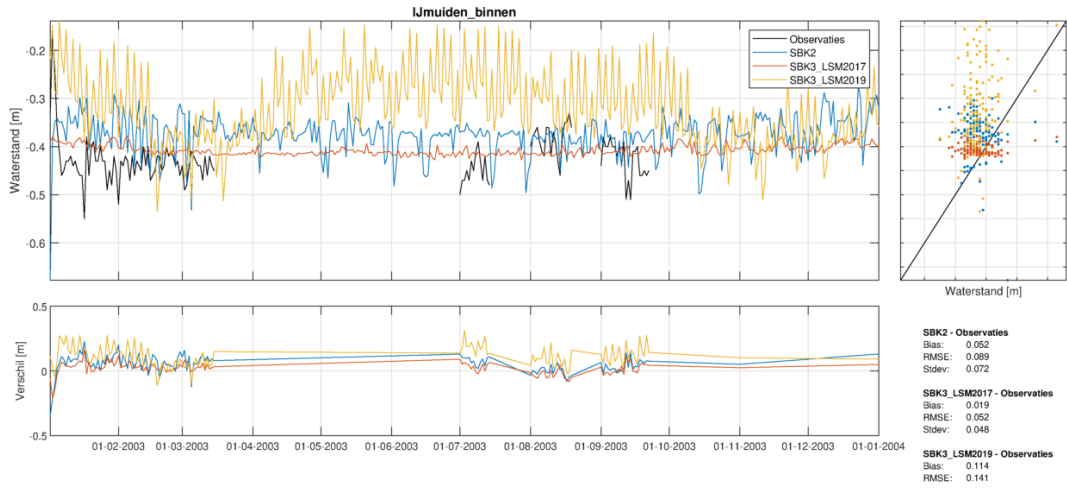


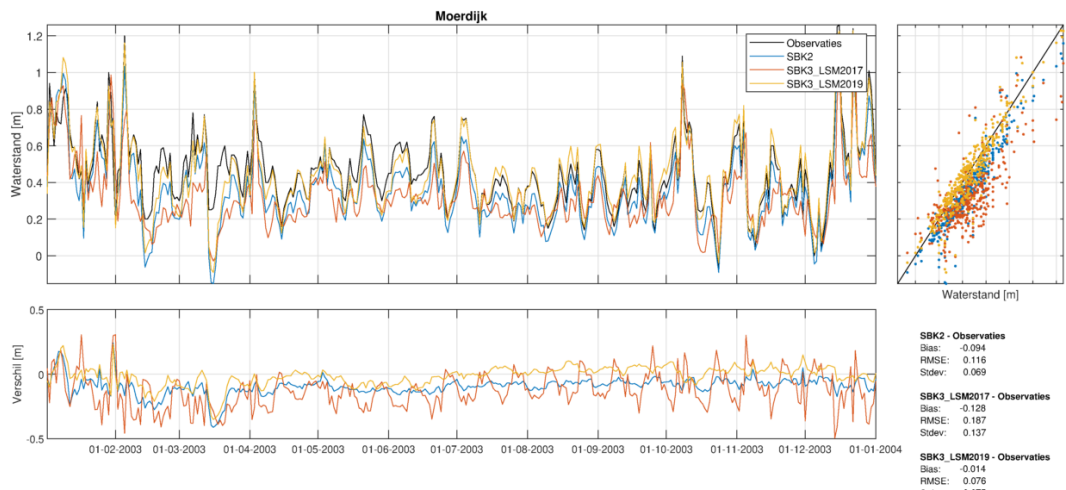
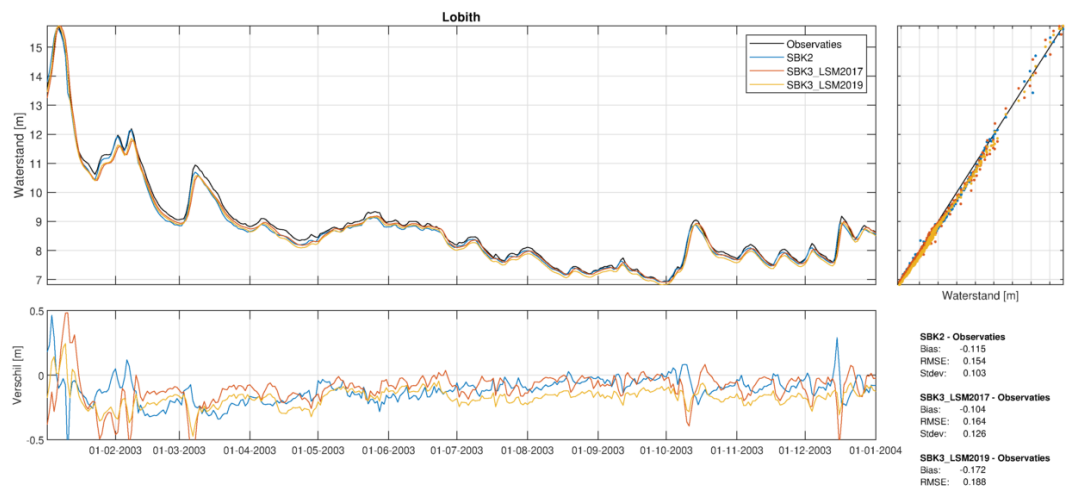
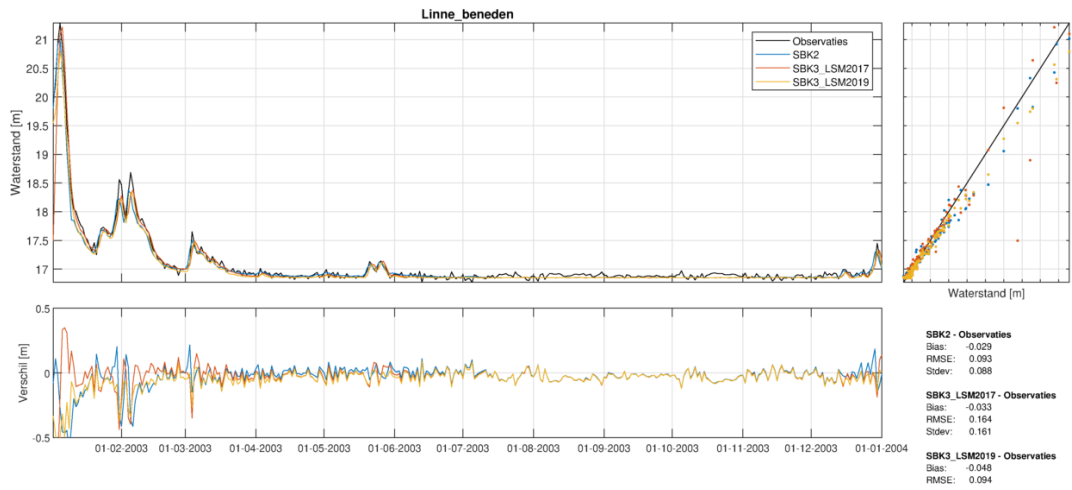


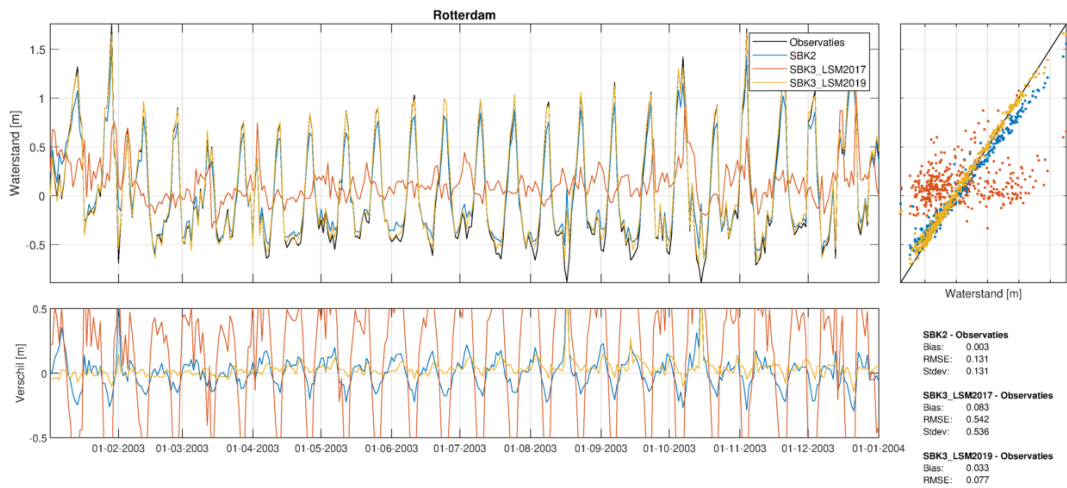
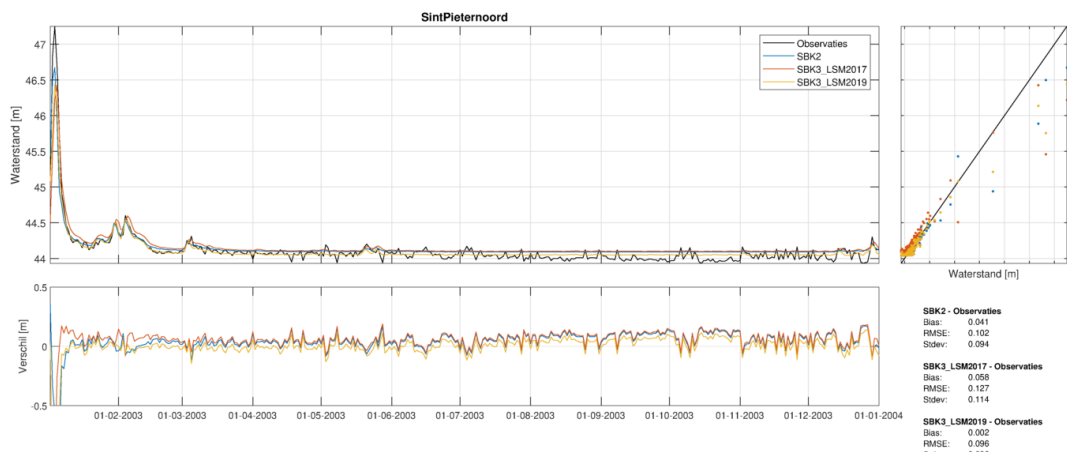
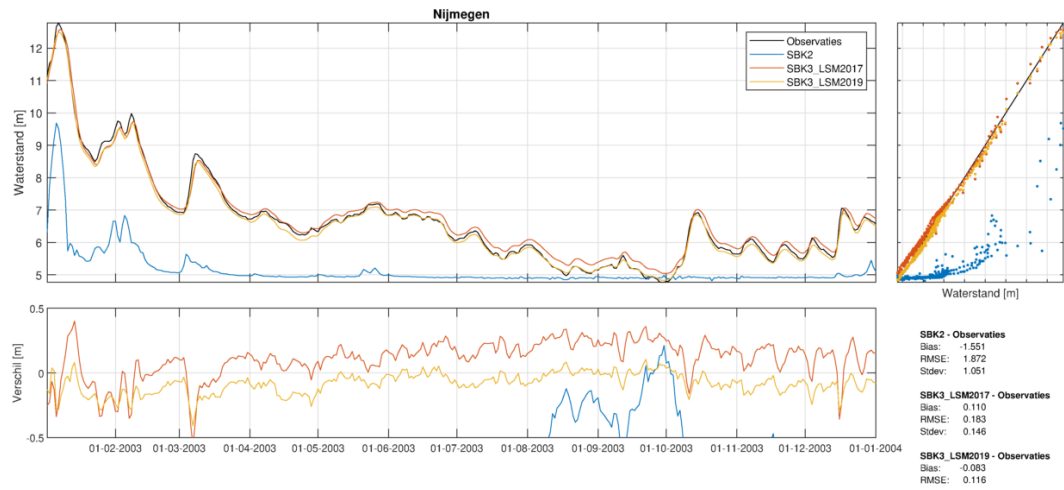


Bijlage D: Resultaten waterstanden

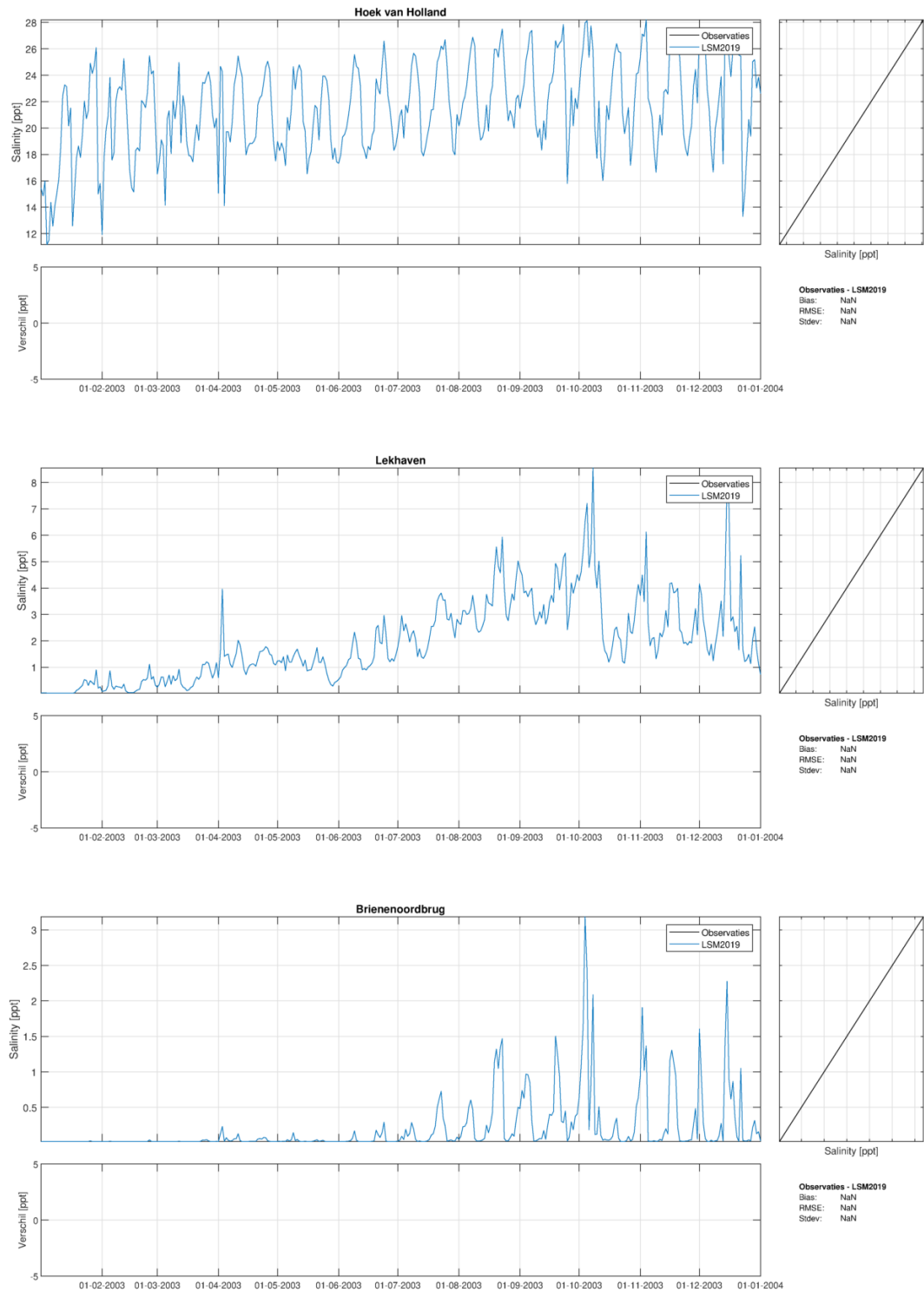


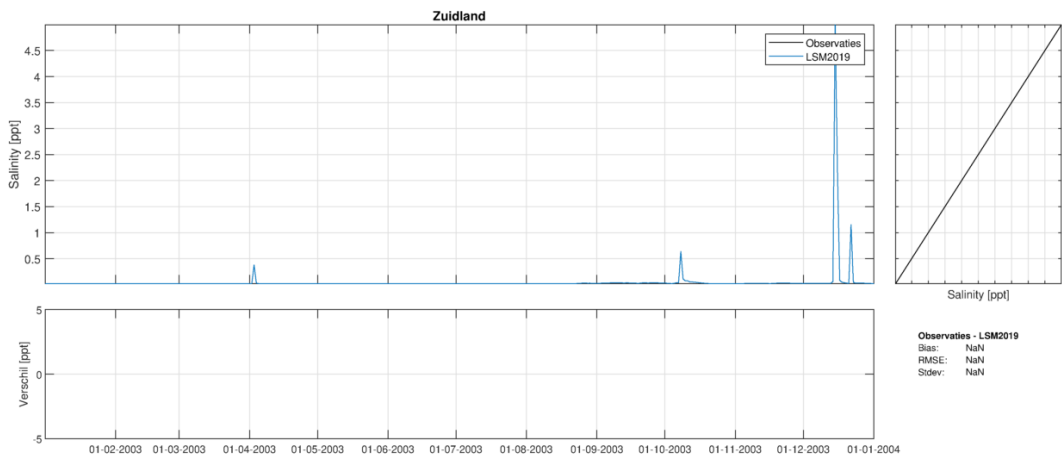
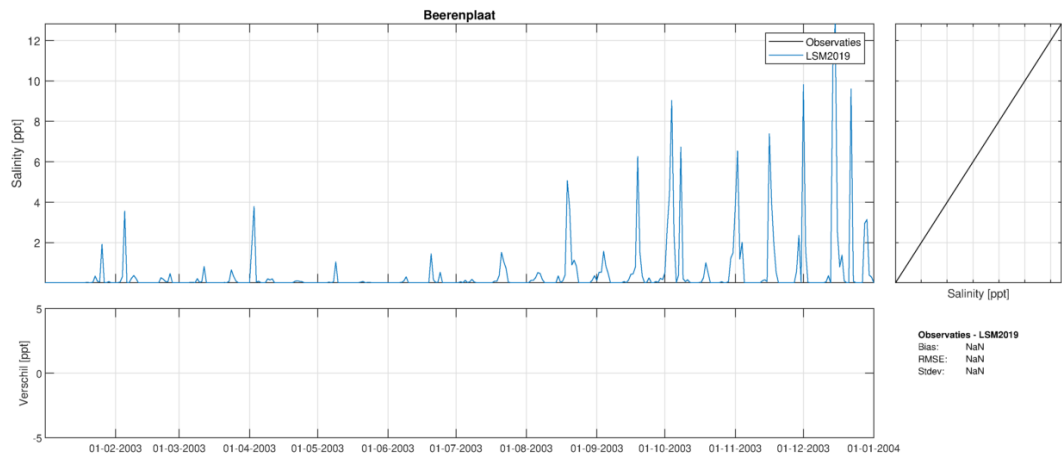
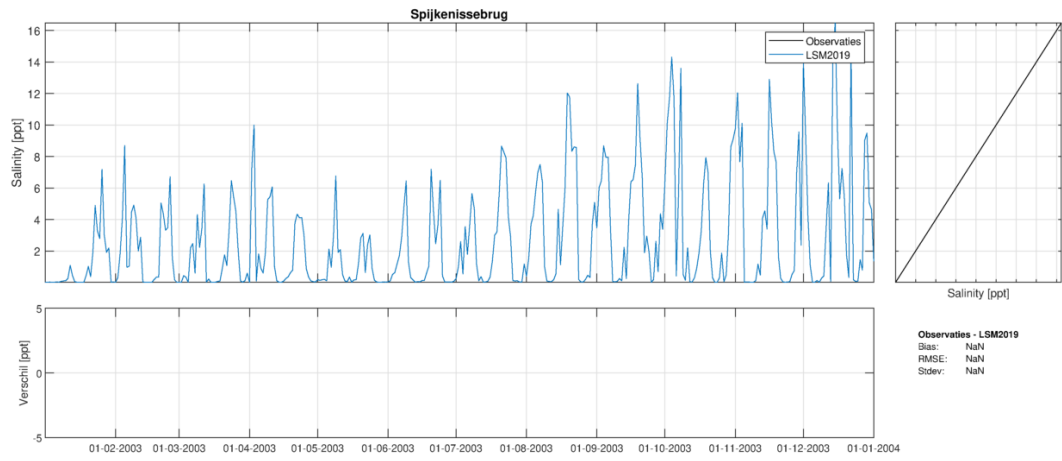


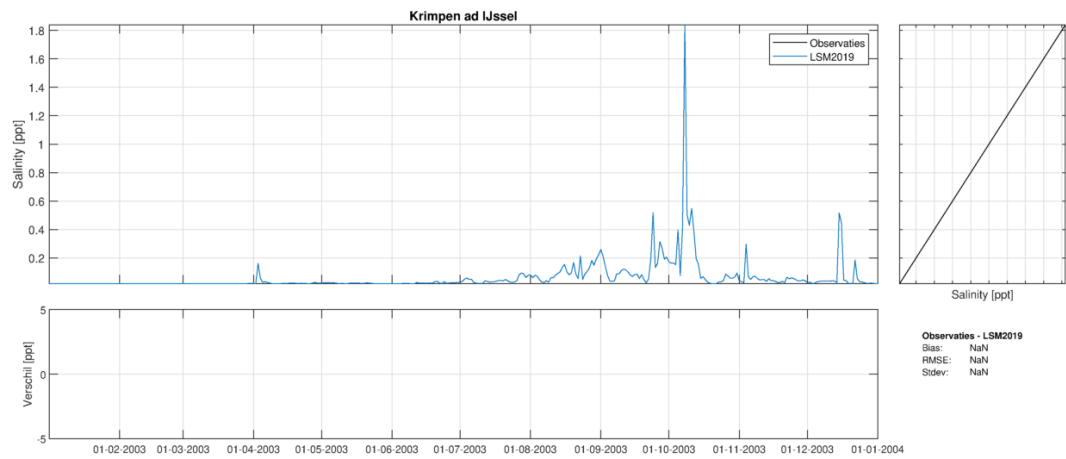
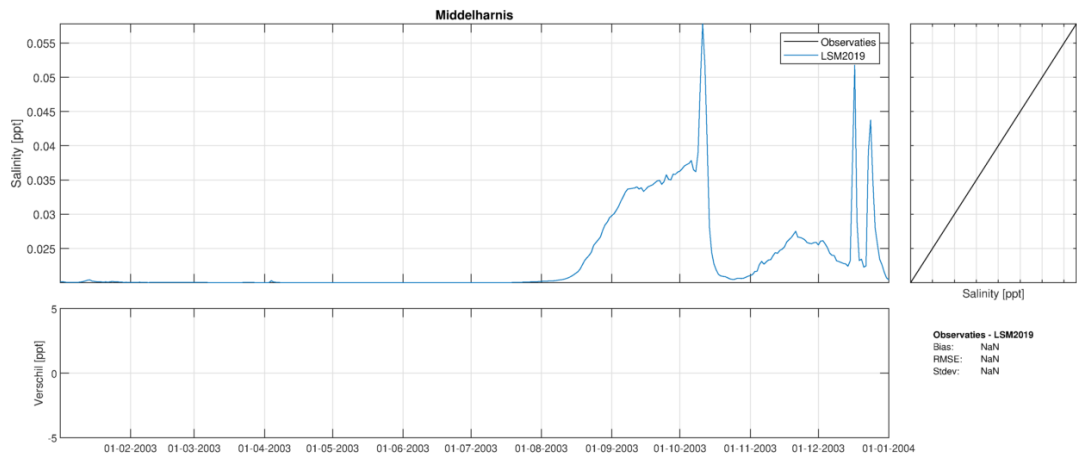
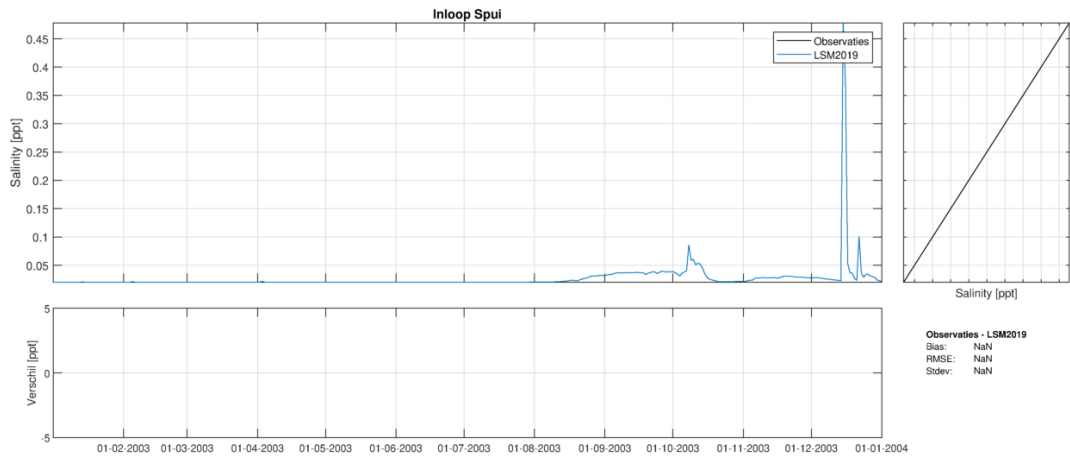


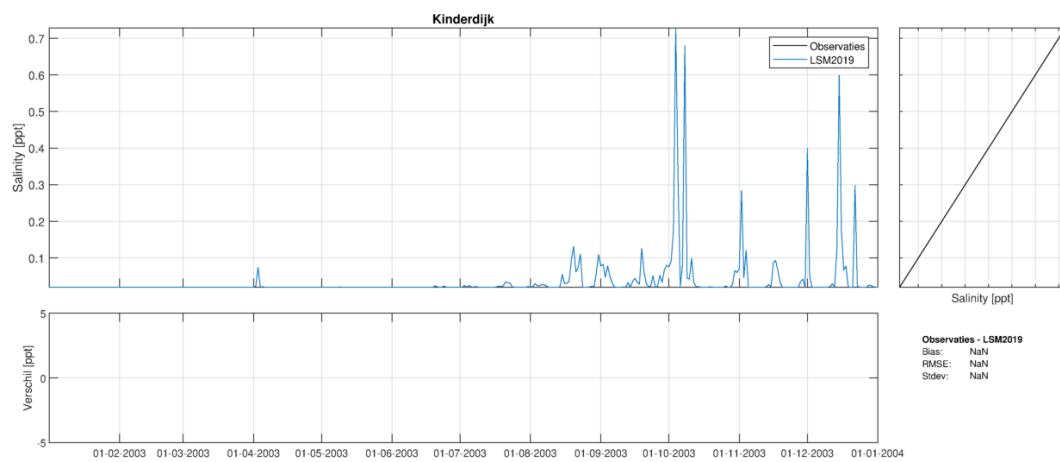


Bijlage E: Resultaten chloride









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