

Jaarsom 2022 Rijn-Maasmonding



Opdrachtgever



Opdrachtgever: Deltares



Jaarsom 2022 Rijn-Maasmonding



Conceptrapport

Auteur
Lieke Lokin

PR4547.20
augustus 2023

Samenvatting

Rijkswaterstaat (West Nederland Zuid en Water, Verkeer en Leefomgeving) laat elk jaar onderzoeken in hoeverre de veel gebruikte SOBEK-modellen van de Rijn-Maasmonding in staat zijn de gemeten waterstanden gedurende het volledige voorgaande jaar te reproduceren middels de jaarsom-analyse. Het doel hiervan is om jaarlijks te analyseren of de berekende waterstanden in dit gebied nog steeds voldoen aan de gestelde nauwkeurigheidscriteria. Het voorliggende rapport bevat de analyse van de jaarsom 2022 voor het SOBEK-RE-model **sobekre-ndb-bos1_0_0_12okt2000** en de SOBEK3-modellen **sobek-rmm_vozo-j15_5-v3** (SOBEK3-v3) en **sobek-rmm_vzm-j15_5-v4** (SOBEK3-v4), waarbij het laatstgenoemde SOBEK3-model dit jaar nieuw is. Voor het opzetten en uitvoeren van de modellen is gebruik gemaakt van de in 2020 ontwikkelde "jaarsom-analyse toolbox". Voor de technische beschrijving van de toolbox wordt verwezen naar de rapportage van de jaarsom 2019 van de Rijn-Maasmonding (Deltares, 2020).

In alle SOBEK-modelschematisaties nemen de BIAS en RMSE landinwaarts toe voor de gehele reeks. De RMSE is ongeveer 2 cm op de zeerand en orde 10 cm bovenstrooms op de rivieren. Zowel de BIAS als RMSE zijn bij alle meetstations vergelijkbaar met voorgaande jaren. Over het algemeen reproduceert de SOBEK-RE-modelschematisatie de waterstanden beter bij de zeerand, terwijl beide SOBEK3-modelschematisaties beter presteren richting de bovenstroomse randen op de rivieren.

Het jaar werd gekenmerkt door een stormachtig voorjaar met twee stormen die daarbij ook hoge stormopzet veroorzaakten. Daarnaast heeft één hoogwatergolf in de Rijn plaatsgevonden in de winter en was de rivierafvoer van de Rijn en Maas in de zomer extreem laag. Opvallend is dat de bij SOBEK3-v4 schematisatie tijdens hoogwater door storm de BIAS en RMSE van de waterstanden niet beter zijn dan bij de SOBEK3-v3 schematisatie. Gemiddeld is de waterstand 19 cm hoger in de SOBEK3-v4 schematisatie. Daarnaast geldt voor beide SOBEK3-schematisaties dat bij hoogwater vanuit de rivieren de waterstand op het Haringvliet en Hollands Diep snel uitzakt, wat op die locaties een onderschatting van de waterstanden bij hoogwater veroorzaakt. Het SOBEK-RE-model presteert over het gehele jaar en gedurende de bijzondere condities vergelijkbaar met voorgaande jaarsommen.

De modellen zijn goed in staat de trends in de waterstandsverschillen ten behoeve van de vuistregels voor verzilting te voorspellen. De modelresultaten zijn daarom goed bruikbaar om risico's op verzilting in te schatten. De kans op verzilting op basis van de vuistregels over het gehele jaar wordt het best voorspeld door SOBEK3-v4, terwijl bij de bijzondere condities hoogwater door storm en lage rivierafvoer de kans op verzilting beter voorspeld wordt door het SOBEK3-v3-model.

Voor de SOBEK3-modelschematisaties is ook de door het model berekende saliniteit vergeleken met gemeten waarden. Over het algemeen zijn de modellen kwalitatief goed in staat de trends voor saliniteit te berekenen, met kwantitatief overwegend een onderschatting van de saliniteit.

Omdat het BOS van de stormvloedkering Nieuwe Waterweg in haar beslissingsproces kijkt naar de waterstanden bij Dordrecht en Rotterdam is het van belang dat de waterstanden hier door het onderliggende SOBEK-RE-model (**sobekre-ndb-bos1_0_0_12okt2000**) nauwkeurig voorspeld worden. Hiervoor worden de waterstanden tijdens de gehele reeks, bij gemeten astronomisch hoog- en laagwater en de tijdstippen van hoog- en laagwaterkentering beschouwd. De resultaten

zijn min of meer vergelijkbaar met voorgaande jaren. De reproductie van de waterstanden op de BOS-locatie Rotterdam is verslechterd, naar een BIAS van 8,7 cm en een RMSE van 9 cm bij hoogwater. Hiermee liggen zowel de BIAS als RMSE boven de grenswaardes van een goede reproductie van de waterstanden (5 cm BIAS, 7 cm RMSE). De toename in de BIAS en RMSE volgt de trend sinds 2020. Bij laagwater en gemiddeld over de gehele periode vallen de statistische kentallen bij Rotterdam wel onder deze grenswaarde. De BOS-locatie Dordrecht voldoet over de gehele reeks en bij laagwater. Bij hoogwater is de BIAS met 5,3 cm net hoger dan de grenswaarde.

Omdat de **sobek-rmm_vzm-j15_5-v4**-modelschematisatie per 1 juli 2023 opgenomen is in het BOS, is ook voor deze schematisatie gekeken naar de statistische kentallen bij Rotterdam en Dordrecht. Met deze modelschematisatie voldoet de locatie Rotterdam bij zowel hoogwater als laagwater niet aan de gestelde kwaliteitseis. BOS-locatie Dordrecht voldoet wel. Daarnaast valt op dat hoogwaterkentering bij Maassluis ongeveer 20 minuten te vroeg optreedt in het model.

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Aanleiding en vraagstelling	1
1.2	Globale aanpak en opbouw	1
2	Methode	3
2.1	Verwerken DONAR-meetgegevens naar *.csv	6
2.2	Zoutrandvoorwaarde Maasmond	4
2.3	Inlezen waterinfo data	Error! Bookmark not defined.
2.4	Visualisatie van resultaten in Excel	Error! Bookmark not defined.
3	Karakteristieken 2021	7
3.1	Beschrijving condities	7
3.2	Beschrijving randvoorwaarden	7
4	Validatie	9
4.1	Waterstanden	9
4.2	Vuistregels voor verzilting en zoutmodellering	13
5	Samenvatting resultaten Dordrecht en Rotterdam	14
6	Conclusies en aanbevelingen	21
6.1	Conclusies	21
6.2	Aanbevelingen	22
7	Referenties	25
7.1	Referenties	25
	Bijlagen	27
A	Figuren	29

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en vraagstelling

Rijkswaterstaat West-Nederland Zuid (WNZ) en Water, Verkeer en Leefomgeving (WVL) laten elk jaar onderzoeken in hoeverre de drie veelgebruikte SOBEK-modellen van de Rijn-Maasmonding in staat zijn de gemeten waterstanden gedurende het volledige voorgaande jaar te reproduceren. Dit gebeurt middels de jaarsom-analyse waarbij de gemeten randvoorwaarden voor rivierafvoer, zeewaterstand en saliniteit voor het gehele jaar worden opgelegd in de modellen. Het doel van de jaarsom is om te analyseren of de berekende waterstanden in de Rijn-Maasmonding voldoen aan de gestelde nauwkeurigheidscriteria. Deze analyse betreft de jaarsom over 2022 met het SOBEK-RE-model **sobekre-ndb-bos1_0_0_12okt2000** en de SOBEK3-modellen **sobek-rmm_vozo-j15_5-v3** en **sobek-rmm_vzm-j15_5-v4**.

1.2 Globale aanpak en opbouw

Voor het opzetten van de modellen en de analyse van de modelresultaten is gebruik gemaakt van de in 2020 ontwikkelde "jaarsom-analyse-toolbox". Met deze toolbox zijn de verschillende databronnen voorbereid (metingen en modelinvoer), de modellen gestart en de resultaten geanalyseerd (tabellen en figuren). Voor een beschrijving van de toolbox en uit te voeren stappen verwijzen wij naar de rapportage van de Jaarsom 2019 Rijn-Maasmonding (Deltares, 2020).

Hieronder is kort samengevat welke stappen uitgevoerd zijn om de jaarsom-analyse uit te voeren:

1. Het opzetten van de modellen met de toolbox, waarmee de randvoorwaarden en tijdreeksen voor het sluiten van de stormvloedkeringen in de modellen zijn gezet. Na enkele handmatige aanpassingen zijn de modellen doorgerekend.
2. Het analyseren van de modelresultaten in relatie tot metingen en het afleiden van statistische kentallen (BIAS, RMSE, minimale en maximale verschil) voor de waterstand, de waterstand bij hoog- en laagwater en de timing van het hoog-en laagwater voor 24 locaties in de Rijn-Maasmonding. Hierbij is ook speciale aandacht voor verhoogde en verlaagde waterstanden door zowel rivierafvoer als stormopzet.
3. Het analyseren van de trends in de zoutmodellering in de **sobek-rmm_vozo-j15_5-v3** en **sobek-rmm_vzm-j15_5-v4**-modellen. Daarnaast het controleren van de kans op verzilting van het benedenrivierengebied door middel van de door RWS-WNZ gebruikte vuistregels.
4. Het analyseren van de waterstanden bij Rotterdam en Dordrecht en de kentering van het getij rondom de Maeslantkering in het BOS-model, ter beoordeling van de geschiktheid van het BOS-model voor de Stormvloedkering Nieuwe Waterweg.

Deze rapportage volgt op hoofdlijnen de bovenstaande stappen.

2 Methode

In dit hoofdstuk beschrijven we de wijzigingen in de toepassing van de toolbox en de gebruikte modellen ten opzichte van de rapportages van de jaarsomanalyse over 2019 en 2020 (Deltares, 2020; HKV, 2021, 2022). Voor de gedetailleerde methodiek verwijzen we naar deze drie eerdere rapportages.

De jaarsom 2022 is uitgevoerd met SOBEK-RE versie 2.52.009a en SOBEK3 versie 3.7.25.55022.

2.1 Nieuw model SOBEK3 rmm-v4

Binnen het BOS Maeslantkering en de modellering van de Rijn-Maasmonding worden de SOBEK-RE-modellen uit gefaseerd en in de toekomst vervangen door een vernieuwd SOBEK3-model. In het kader daarvan is het vernieuwde SOBEK3-model dit jaar meegenomen in de jaarsom. Het gaat om de modelschematisatie `sobek-rmm_vzm-j15_5-v4` (SOBEK3-v4). Deze is ontwikkeld op basis van de bestaande `sobek-rmm_vozo-j15-v3` (SOBEK3-v3) schematisatie. Aanpassingen zouden resulteren in een betere reproductie van de maximum waterstanden tijdens storm, echter gaat dit ten koste van de prestatie onder normale omstandigheden. Daarnaast blijft het model stabiel onder extremere condities (Deltares, 2022).

Binnen de toolbox gaat het opzetten van het SOBEK3-v4-model en het analyseren van de resultaten op dezelfde manier als bij het SOBEK3-v3-model. Omdat het oude `sobekre-ndb-j15_rwsos-v1` model niet meer meedraait in de operationele systemen (RWsOS), is dit model komen te vervallen in de jaarsom analyses.

2.2 Toevoegen lateralen

In voorgaande jaren werden voor de forcering vanaf de rivierzijde alleen de debieten vanuit de rivieren meegenomen. Deze werden opgelegd op de bovenstroomse randen van de modellen. Om beter inzicht te krijgen in het gedrag van de Hollandsche IJssel zijn dit jaar de laterale toe- en afvoer van deze rivier ook meegenomen in de Jaarsom. De afvoergegevens komen uit HydroNet. Voor de saliniteit van lozingen op de Hollandsche IJssel is een constante waarde van 0 ppt opgelegd, omdat hier geen meetwaarde voor bekend was. Voor toekomstige jaarsommen is de aanbeveling om voor deze lateralen een gemeten saliniteit op te leggen of om verder uit te zoeken wat een realistische waarde is voor deze lateralen.

In de SOBEK3-modellschematisaties zijn de lateralen individueel opgenomen in de modellen op de locatie van bestaande lateralen. Waar de naamgeving van de meetreeks en lateraal in het model niet overeenkomen is gekozen voor de geografisch dichtstbijzijnde lateraal in het model. Waar meerdere meetreeksen bij een lateraal in het model behoren, zijn deze bij elkaar opgeteld. Dit is gedaan met het nieuwe script `combine_laterals_sob3.m`. In de toolbox is het script `input_labels_sob3.m` aangepast om de lateralen te koppelen volgens Tabel 1.

Tabel 1: Koppeltabel Lateralen Hollandsche IJssel. Naam in data is de naam van de data zoals vermeld in de meetgegevens, Locatie code is het de naam die gebruikt wordt voor het koppelen en Label SOBEK3 is de naam van de lateraal in de SOBEK3-modellen.

Naam in data	Locatiecode	Label SOBEK3
Gouda	433-036-00021	Gouda
Waaiersluis	K_GOUDA	Waaiersluis
Verdoold	KGM-118	Verdoold
Nesse	KGM-222	De_nesse
Middelwatering	KGM-69	Middelwatering
Veurink	KGM-52	Reinier Blok
Abraham Kroes Zuidplaspolder	KGM-1A	Snelle Sluis
Abraham Kroes Ringvaart	KGM-1B	Snelle Sluis
Snelle Sluis	MPN-563	Snelle Sluis
Hitland	KGM-45	Kromme_Geer
Oostgarde	KGM-79	Kromme_Geer

Binnen de SOBEK-RE-modelschematisaties is de Hollandsche IJssel geschematiseerd als een enkele tak met één lateraal. Hierbij is de gesommeerde waarde van de individuele lateralen opgelegd met het datalabel 'QlatHYsum'.

Naast de lateralen op de Hollandsche IJssel zijn ook meetgegevens voor de Zoutriolen bij de Haringvliet Sluizen beschikbaar. Deze geven een onttrekking op de Haringvliet "HVS-ZR-QlatHV" en lozing aan de zeezijde van de Haringvlietsluizen, in de voordelta "HVS-ZR-QlatVD". Alleen de onttrekking op het Haringvliet kan toegevoegd worden in het model, voor de lozing aan de zeezijde is geen lateraal aanwezig. In de huidige opzet van de SOBEK3 modellen geeft het toevoegen van de onttrekking op het Haringvliet de volgende effecten.

- Het bij Hellevoetsluis verlaagt de waterstand met 7 cm door het toevoegen van de onttrekking van de zoutriolen, dit geldt voor de BIAS over het gehele jaar. Dit effect blijft zichtbaar op het hele Haringvliet en Hollands Diep.
- De onderschatting van saliniteit wordt kleiner, waardoor in het model de saliniteit op het Haringvliet toeneemt. Het doel van de Zoutriolen is echter het de saliniteit te verminderen, Omdat alleen de onttrekking toegevoegd kan worden zorgt dit voor toename van de instroom van zout water door het Haringvliet wat de verhoging van de saliniteit verklaart.

Op dit moment kunnen niet beide lateralen van de zoutriolen toegevoegd worden in de modelschematisatie. Het toevoegen van een enkele lateraal zorgt voor relatief grote veranderingen in de waterstanden en een verhoging van de saliniteit. Omdat het de huidige modelversie nog niet geschikt is voor het toevoegen van de zoutriolen zijn deze lateralen niet toegevoegd in de RMM Jaarsom 2022.

Aanbevelingen: 1) De saliniteit bepalen van de lateralen op de Hollandsche IJssel. 2) De modelschematisatie geschikt maken voor het toevoegen van de lateralen van de Zoutriolen bij de Haringvlietsluizen.

2.3 Bepaling condities positieve en negatieve opzet bij Hoek van Holland

In het begin van 2022 hebben enkele (zware) stormen hebben plaatsgevonden, Corrie, Dudley, Eunice en Franklin, waarbij tijdens de stormen Corrie en Franklin de Oosterscheldekering volledig

gesloten is geweest. Daarom was de verwachting dat (een aantal van) deze stormen ook terug zouden komen in de bijzondere condities, in het onderste paneel in Figuur 1. De toolbox was echter niet in staat deze condities eruit te filteren. In eerste instantie omdat er niet goed omgegaan werd met missende data in de meetreeks ten opzichte van de modeluitvoer. Ten tweede omdat uit nadere beschouwing van het script in de toolbox bleek dat de windgegevens niet meegenomen werden. Het script "trim_on_stormtide.m" in de toolbox is aangepast zodat deze stormen wel meegenomen worden.

Voor het bepalen van de periodes met positieve opzet onder de noemer 'hoogwater storm' is ervoor gekozen om zowel de wind als de waterstandcondities mee te nemen. Daarmee wordt positieve opzet gemarkeerd als 'hoogwater storm' als de gemeten zeewaterstand bij Hoek van Holland hoger was dan NAP+2,2 m én hoger was dan het theoretisch astronomisch getij, en de windsnelheid bij Hoek van Holland hoger was dan 17,2 m/s.

Voor het bepalen van negatieve opzet is ervoor gekozen om alleen momenten te selecteren waarvoor de zeewaterstand bij Hoek van Holland lager was dan NAP-0,95 m én lager dan het theoretisch astronomisch laagwater, ongeacht of dit door afluende wind of door andere condities veroorzaakt werd. De term 'laagwater storm' voor negatieve opzet is daarmee niet volledig accuraat.

Aanbeveling: de nieuwe versie van het "trim_on_stormtide.m" en de kleine aanpassingen in "start_jaarsom_analyse.m" opnemen in de toolbox.

2.4 Zoutrandvoorwaarde Maasmond

Op basis van modelresultaten met de gemeten zoutconcentraties als randvoorwaarde bij de Maasmond, is de saliniteit in samenspraak met Deltares op de modelrand bij de Maasmond vastgezet op een constante waarde van 31 ppt met een Thatcher-Harleman time lag van 5400 s. Deze aanpak is ook bij de Jaarsom 2021 toegepast (HKV, 2022). Dit type randvoorwaarde sluit ook beter aan bij het gebruik van de modellen in het BOS voor de sluiting van de stormvloedkeringen.

De meetreeks die gebruikt wordt voor het opstellen van de zout-randvoorwaarde bij de Maasmond bevat hiaten. Deze missende waardes worden in de toolbox opgevuld met een constante waarde van 31 ppt. Dit is een aanzienlijk hogere waarde dan gemeten waardes die tussen de 15 en 30 ppt liggen. Dit resulteert in relatief grote verschillen in saliniteit en daarmee dichtheid van het water op de modelrand tussen momenten waar wel en geen metingen aanwezig zijn.

De verschillen in saliniteit hebben daarmee ook invloed op de berekende waterstanden. Wanneer gebruikt wordt gemaakt van de constante saliniteit ligt de waterstand 5 tot 10 cm hoger dan wanneer de gemeten waarde wordt opgelegd. Wanneer de meetreeks met opvulwaarde gebruikt wordt, resulteert dat in waterstandssprongen die verder geen fysische betekenis hebben en volledig veroorzaakt worden door de sprongen in saliniteit op de modelrand. Daarom is gekozen om voor het gehele jaar de constante saliniteit van 31 ppt, met Thatcher-Harleman time lag van 5400 s, op te leggen. Door deze aanpassing is de gemodelleerde saliniteit bij Hoek van Holland beter. Voor de berekende waterstanden zorgt dit voor een verhoogde BIAS van de waterstand in de Nieuwe Waterweg en Nieuwe Maas.

Aanbeveling: Omdat het model gevalideerd is met een constante waarde en de Thatcher-Harleman time lag, is het te overwegen in deze waarde ook aan te houden en de meetreeks alleen ter validatie te gebruiken.

2.5 Aanvullen foutieve en missende data waterinfo

De toolbox maakt gebruik van de waterstanden en afvoeren zoals beschikbaar via waterinfo.rws.nl. Met deze datasets kan de toolbox toegepast worden om te bepalen of gedurende een periode sprake is van een hoge of lage rivierafvoer of een opzet of afwaaiing door storm. Dit jaar bleek bij het analyseren van de afvoergegevens dat de afvoer op de Maas foutief was. Vanaf juli 2022 leek de afvoer van het jaar 2021 in de dataset te zitten. Dit resulteerde in een fictief hoogwater, terwijl de Maas gedurende de zomer van 2022 lage afvoeren had. Om tot een juiste categorisering van de gebeurtenissen met (extreem) hoge of lage waterstanden te komen, is gebruik gemaakt van de afvoer zoals deze is opgelegd op de modelrand bij Lith. Dit is de afvoer bij Megen Dorp zoals beschikbaar in DONAR (d.d. 11 mei 2023).

2.6 Verwerken DONAR-meetgegevens

De toolbox gebruikt voor de analyse van de waterstanden en saliniteit twee csv-bestanden met daarin de gegevens voor alle meetlocaties. Deze gegevens zijn echter aangeleverd in Excel-format, waar de toolbox niet mee overweg kan. Voor het combineren en middelen van de meetreeksen voor de jaarsom 2022 en het omzetten naar csv-formaat is het volgende python script gebruikt: "Data_RWS_xlsx2csv.py"

3 Karakteristieken 2021

3.1 Beschrijving condities

Dit hoofdstuk beschrijft kort de hydrologische karakteristieken van 2022. De bovenste twee panelen van Figuur 1 geven de afvoer bij Lobith en Megen weer. Het 3^e en 4^e paneel geven de waterstanden, de windsnelheid en windrichting bij Hoek van Holland weer. Het paneel onderaan toont wanneer sprake is van een van de volgende vier condities:

1. Laagwater door lage afvoer (lw q)
2. Laagwater door afwaaiing (lw storm)
3. Hoogwater door hoge afvoer (hw q)
4. Hoogwater door stormopzet (hw storm)

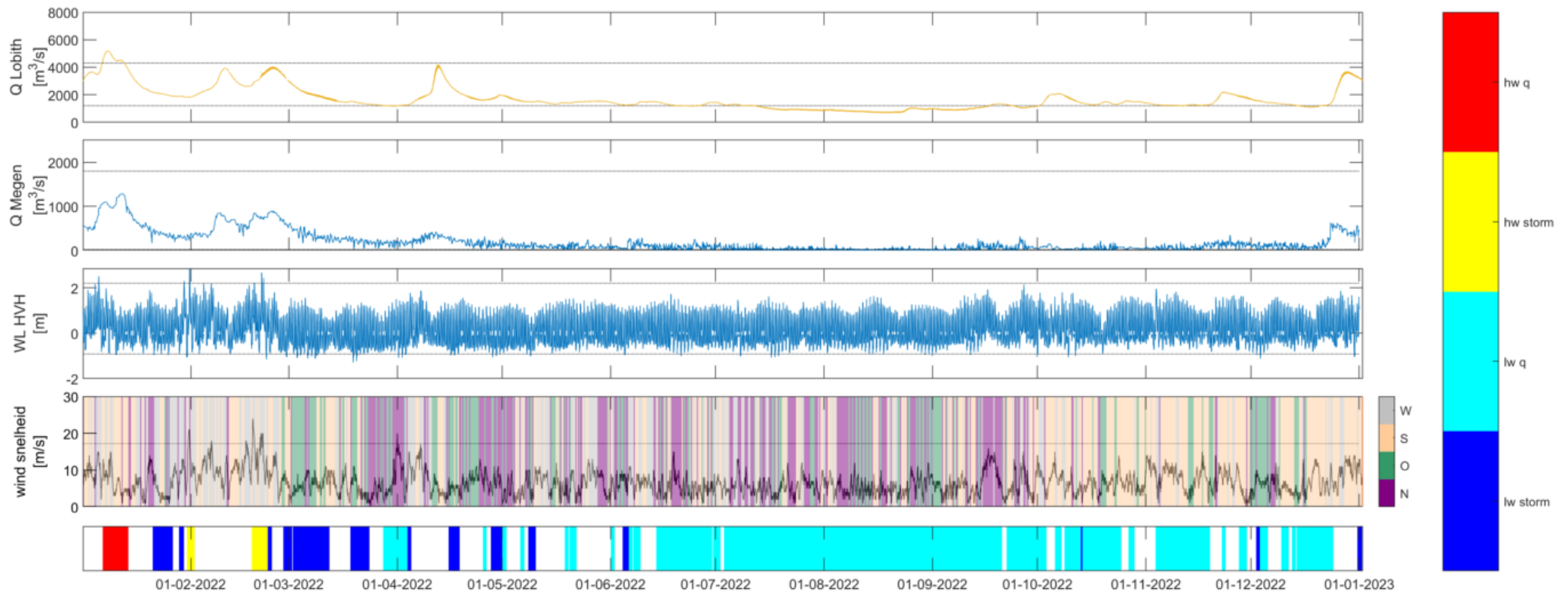
Op basis van deze gegevens valt het volgende op:

- Tijdens 2022 hebben de volgende events plaatsgevonden:
 - 1 hoogwater door rivierafvoer
 - Een korte periode eind maart met lage rivierafvoer
 - Een lange periode vanaf juni tot december met aanhoudende lage rivierafvoer
 - 2 hoogwaters door stormopzet (stormen Corrie en Franklin)
 - 12 periodes met verlaagde waterstand bij Hoek van Holland, waarvan 7 langer dan 2 dagen.
- Het hoogwater door rivierafvoer had een piekafvoer van 5205 m³/s bij Lobith en 1291 m³/s bij Megen. Beide afvoeren hebben een herhalingsijd van gemiddeld minder dan een jaar.
- Aanhoudend laagwater vanuit de rivieren vanaf begin juli tot begin december. De laagste daggemiddelde afvoer op de Rijn bij Lobith was 714 m³/s op 18 augustus 2022. Deze afvoer heeft een geschatte herhalingsijd van 25 jaar op basis van de afvoer statistiek tussen 1901 en 2020 zonder klimaatverandering (van Brenk, 2021).
- De stormen Corrie (31 januari) en Franklin (21 februari) veroorzaakten voldoende opzet om te voldoen aan de eis stormopzet. Storm Corrie had een uurgemiddelde windsnelheid van 21,1 m/s uit Noordwestelijke richting. Storm Franklin had een uurgemiddelde windsnelheid van 23,8 m/s uit Westelijke richting. Deze stormen hebben een herhalingsijd van 5 tot 10 jaar.
- De Maeslantkering en Hartelkering zijn alleen gesloten tijdens de testsluiting vanaf 13:40 uur op 10 september 2022 tot 2:00 uur in de ochtend van 11 september 2023. De Hollandsche IJsselkering wordt niet meegenomen.

3.2 Beschrijving randvoorwaarden

De randvoorwaarden voor de uitvoering van de Jaarsom zijn opgesteld en aangeleverd door Rijkswaterstaat-West Nederland Zuid. De opgestelde randvoorwaarden zijn middels de toolbox opgelegd in de modellen. Hierbij gaat het om:

- de afvoeren en saliniteit op de bovenstroomse randen bij Lith, Tiel en Hagestein.
- de waterstanden bij Hoek van Holland en de Haringvlietsluizen.
- windsnelheid en windrichting uniform over het gehele model op basis van station Hoek van Holland.
- laterale afvoer en toevoer op de Hollandsche IJssel.



•

De opgelegd saliniteit bij Hoek van Holland is een constante waarde van 31 ppt met een Thatcher-Harleman time-lag van 5400 seconden. De opgelegd saliniteit bij het Haringvliet is een constante waarde van 34 ppt met een Thatcher-Harleman time-lag van 5400 seconden.

Figuur 1: De rivierafvoer voor de Rijn (Lobith, bron: waterinfo.rws.nl) en Maas (Megen Dorp, bron: DONAR), de waterstand bij Hoek van Holland (bron: waterinfo.rws.nl) en de windsnelheid (bron: KNMI.nl) zoals gemeten in het jaar 2022. Deze meetreeksen zijn gebruikt voor de indeling van het jaar in hoog- en laagwaterperioden door storm en rivierafvoer

4 Validatie

Dit hoofdstuk bespreekt kort de resultaten van de jaarsom voor de verschillende condities. Hierbij wordt gekeken naar de ruimtelijke patronen in de resultaten en het verschil tussen de SOBEK-modellen. Alleen de voor de conclusies relevante figuren en tabellen zijn opgenomen in dit rapport. Een overzicht van de (overige) figuren en tabellen is te vinden in Appendix A. De figuren zijn meegeleverd in een apart zip-bestand.

4.1 Waterstanden

4.1.1 Gehele reeks

Op basis van de door de toolbox gegenereerde figuren en tabellen zijn de prestaties van de modellen over het jaar 2022 geanalyseerd. Over de gehele reeks, statistiek over het gehele jaar (Tabel 2), vallen de volgende punten op:

- De prestatie van de modellen is locatieafhankelijk, met de volgende opmerkingen:
 - De BIAS van de berekende waterstanden met de SOBEK3-v4-schematisatie ligt 1 tot 2 cm hoger dan de BIAS van de SOBEK3-v3-schematisatie. De enige uitzondering zijn de meetpunten bij de modelranden aan de zeezijde (Hoek van Holland en Stellendam Buiten). Hierdoor overschat de SOBEK3-v4-schematisatie veelal de waterstanden waar de SOBEK3-v3-schematisatie deze onderschat.
 - Op de Nieuwe Waterweg, Nieuwe Maas en Hollandsche IJssel is de RMSE van de waterstanden in de SOBEK3-v4-schematisatie ongeveer 2 cm groter dan in de SOBEK3-v3-schematisatie. Op de overige waterwegen is de RMSE van de waterstanden vergelijkbaar in beide SOBEK3-schematisaties, met verschillen in de orde van mm.
 - Op het Haringvliet en de Maas presteert de SOBEK-RE-schematisatie zeewaarts beter, verder landinwaarts presteren de SOBEK3-schematisaties beter.
 - De SOBEK-RE-BOS-schematisatie overschat de waterstanden met een BIAS die varieert tussen de 0 en 7 cm, met uitzondering van locatie Zaltbommel. De RMSE neemt landinwaarts toe.
 - De statistische kentallen voor de SOBEK3-v3- en SOBEK-RE-BOS-schematisaties zijn vergelijkbaar met de gevonden waarden in de voorgaande jaarsom-analyses (Deltares, 2020; HKV, 2021 en 2022).
- Bij meetpunt Zaltbommel geven alle schematisaties een onderschatting (BIAS -13,5 tot -22,5 cm). Op de Waal liggen de grootste onderschattingen rondom de mediane afvoer. Bij zowel extreem lage en extreem hoge afvoer ligt de BIAS dicht bij 0. Dit is ook zichtbaar in de figuur met het waterstandsverloop bij Zaltbommel in het meegeleverde zip-bestand. Het patroon is vergelijkbaar met eerdere jaarsom-analyses.

Tabel 2: BIAS en RMSE van de waterstandsverschillen (model-meting) in meters voor de gehele reeks. De kleurindex geeft de absolute grootte van de standsverschillen en de RMSE weer. Overzichten van de statistische kentallen voor de bijzondere condities zijn te vinden in het meegeleverde zip-bestand.

Locatie	SOBEK3_v3		SOBEK3_v4		SOBEK-RE-BOS	
	BIAS [m]	RMSE [m]	BIAS [m]	RMSE [m]	BIAS [m]	RMSE [m]
Hoek van Holland	0,005	0,027	0,004	0,027	0,005	0,020
Maassluis	0,028	0,051	0,052	0,072	0,016	0,034
Vlaardingen	0,033	0,054	0,056	0,075	0,015	0,039
Rotterdam	0,021	0,042	0,044	0,059	0,050	0,065
Krimpen ad IJssel	0,008	0,043	0,028	0,051	0,043	0,058
Gouda brug	0,009	0,107	0,029	0,111	0,041	0,105
Krimpen ad Lek	-0,006	0,054	0,013	0,052	0,035	0,062
Schoonhoven	-0,015	0,046	0,002	0,043	0,023	0,068
Hagestein Beneden	-0,021	0,059	-0,006	0,056	0,034	0,069
Spijkenisse	0,033	0,055	0,054	0,074	0,015	0,037
Goidschalxoord	0,001	0,050	0,021	0,054	0,012	0,043
Dordrecht	-0,001	0,052	0,015	0,054	0,017	0,047
Werkendam	-0,018	0,052	-0,004	0,049	0,059	0,067
Vuren	-0,023	0,072	-0,010	0,069	0,050	0,081
Zaltbommel	-0,137	0,172	-0,129	0,166	-0,031	0,138
Tiel	0,039	0,105	0,041	0,107	0,038	0,137
Stellendam Buiten	-0,003	0,069	-0,002	0,069	0,013	0,138
Hellevoetsluis	-0,008	0,054	0,006	0,053	0,012	0,041
Zuidland	-0,011	0,093	0,006	0,091	0,017	0,053
Rak Noord	-0,005	0,050	0,010	0,050	0,026	0,045
Moerdijk	-0,008	0,046	0,007	0,045	0,022	0,042
Keizersveer	-0,014	0,045	0,001	0,042	0,028	0,047
Heesbeen	-0,022	0,052	-0,008	0,047	0,044	0,066
Lith Dorp	-0,034	0,071	-0,021	0,065	0,071	0,127
Maeslantkering	0,008	0,040	0,014	0,038	-0,005	0,031
Gemiddelde	-0,006	0,062	0,009	0,065	0,026	0,067
RMS	0,033	0,069	0,036	0,071	0,033	0,075

4.1.2 Bijzondere condities

Naast de statistische kentallen voor de gehele reeks is specifiek ingezoomd op de bijzondere condities: hoogwater en laagwater vanuit de rivieren en hoogwater door storm vanuit zee. Bij deze bijzondere condities valt het volgende op:

- Tijdens hoogwater vanuit de rivieren ligt de BIAS van de SOBEK3-schematisaties op het Haringvliet en Hollands Diep lager dan het gemiddelde voor het gehele jaar. Dit komt doordat de waterstand hier direct na de hoogwaterpiek wegzakt. Mogelijk is de afvoer door de Haringvlietsluizen te hoog in de modellen wanneer deze (bijna) volledig geopend zijn.
- Bij hoogwater door storm zijn de statistische kentallen, de BIAS en RMSE, van de SOBEK3-v4-schematisatie over het algemeen iets groter dan de kentallen van het gehele jaar (zie Tabel 3: BIAS en RMSE van de waterstandsverschillen (model-meting) in meters tijdens hoogwater door storm voor alle tijdstippen en tijdens het hoogtij. De kleurindex geeft de absolute grootte van de afwijking weer.. Dit met uitzondering van de locaties bij de modelranden aan de rivierzijde waar de waardes aanzienlijk hoger zijn en bij Stellendam

Buiten met een aanzienlijk lagere bias. Bij de SOBEK3-v3-schematisatie zijn de verschillen tussen kentallen bij hoogwater door storm en het gehele jaar vergelijkbaar met de verschillen voor SOBEK3-v4.

- Tijdens lage rivierafvoer presteren alle drie de schematisaties in het Haringvliet en Hollands Diep beter dan gedurende de gehele periode op de BIAS, de RMSE is hoger met lage rivierafvoeren.
- Tijdens de proefsluiting van de Maeslantkering lijkt de gesimuleerde waterstand uit fase te lopen met de metingen, dit is in alle modellen bij de meetpunten rondom de Maeslantkering te zien in een spike op 10 september in de figuren met waterstandsverschillen in Bijlage A. De timing van de sluiting van de Maeslantkering is opgelegd in het model aan de hand van het verloop van de proefsluiting. De verschillen worden mogelijk verklaard door de verschillen in de hoogwater en laagwater kentering in de modellen in combinatie met de hard opgelegde timing van de sluiting van de kering.

Tabel 3: BIAS en RMSE van de waterstandsverschillen (model-meting) in meters tijdens hoogwater door storm voor alle tijdstippen en tijdens het hoogtij. De kleurindex geeft de absolute grootte van de afwijking weer.

Locatie	SOBEK3_v3 Hele reeks tijdens HW storm		SOBEK3_v3 Hoogtij tijdens HW storm		SOBEK3_v4 Hele reeks tijdens HW storm		SOBEK3_v4 Hoogtij tijdens HW storm	
	BIAS	RMSE	BIAS	RMSE	BIAS	RMSE	BIAS	RMSE
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
Hoek van Holland	0,010	0,039	0,060	0,074	0,009	0,038	0,053	0,067
Maassluis	0,024	0,051	0,033	0,065	0,063	0,084	0,071	0,083
Vlaardingen	0,015	0,048	0,040	0,067	0,051	0,076	0,075	0,088
Rotterdam	0,028	0,065	0,027	0,075	0,063	0,083	0,063	0,078
Krimpen ad IJssel	0,009	0,074	-0,018	0,080	0,038	0,077	0,013	0,063
Gouda brug	0,196	0,493	0,175	0,329	0,224	0,503	0,153	0,314
Krimpen ad Lek	-0,017	0,078	-0,011	0,090	0,009	0,068	0,013	0,079
Schoonhoven	-0,021	0,076	0,018	0,060	0,001	0,069	0,038	0,067
Hagestein								
Beneden	-0,007	0,098	-0,034	0,108	0,011	0,095	-0,012	0,101
Spijkenisse	0,045	0,065	0,084	0,099	0,077	0,095	0,114	0,129
Goidschalxoord	-0,002	0,068	0,055	0,088	0,025	0,065	0,088	0,115
Dordrecht	0,000	0,073	-0,042	0,096	0,020	0,075	-0,017	0,087
Werkendam	-0,044	0,091	-0,039	0,092	-0,029	0,084	-0,025	0,085
Vuren	-0,046	0,104	-0,052	0,081	-0,033	0,098	-0,040	0,074
Zaltbommel	-0,145	0,168	-0,125	0,147	-0,138	0,162	-0,118	0,141
Tiel	-0,019	0,083	0,014	0,084	-0,017	0,083	0,016	0,085
Stellendam Buiten	-0,157	0,215	-0,119	0,144	-0,156	0,214	-0,120	0,144
Hellevoetsluis	0,028	0,084	0,034	0,067	0,044	0,090	0,05	0,072
Zuidland	0,001	0,102	0,096	0,126	0,022	0,101	0,115	0,143
Rak Noord	0,022	0,068	0,023	0,054	0,038	0,074	0,035	0,059
Moerdijk	0,006	0,058	-0,005	0,051	0,022	0,061	0,008	0,050
Keizersveer	-0,022	0,079	0,005	0,067	-0,008	0,075	0,019	0,069
Heesbeen	-0,062	0,127	-0,017	0,100	-0,048	0,121	-0,005	0,098
Lith Dorp	-0,100	0,153	-0,103	0,161	-0,090	0,147	-0,094	0,155
Maeslantkering	0,010	0,049	0,103	0,118	0,023	0,054	0,086	0,102
Gemiddelde	-0,010	0,104	0,008	0,101	0,009	0,108	0,023	0,102

Locatie	SOBEK3_v3 Hele reeks tijdens HW storm		SOBEK3_v3 Hoogtij tijdens HW storm		SOBEK3_v4 Hele reeks tijdens HW storm		SOBEK3_v4 Hoogtij tijdens HW storm	
	<i>BIAS</i>	<i>RMSE</i>	<i>BIAS</i>	<i>RMSE</i>	<i>BIAS</i>	<i>RMSE</i>	<i>BIAS</i>	<i>RMSE</i>
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
RMS	0,066	0,137	0,069	0,115	0,072	0,139	0,072	0,114

4.2 Vuistregels voor verzilting en zoutmodellering

Op basis van waterstandsverschillen kan door toepassing van de 1.5-GGV methode (Deltares, 2020) de kans op verzilting op verschillende locaties langs het Haringvliet-Hollands Diep en de Nieuwe Maas bepaald worden. De figuren met de kansen op verzilting zijn opgenomen in appendix A (in de map 'Vuistregels'). Hoe goed de kans op verzilting berekend kan worden, hangt af van de mate waarin de modellen in staat zijn de waterstandsverschillen over deze wateren te reproduceren. Deze paragraaf gaat in op statistische kentallen voor deze waterstandsverschillen. Tabel 4 geeft een overzicht van deze statistische kentallen van de waterstandsverschillen die gebruikt worden in de 1.5-GGV methode.

Tabel 4: BIAS en RMSE van de waterstandsverschillen voor de vuistregels voor zoutindringing.

Moerdijk-HVH		Storm opzet		Lage afvoer		Hele Periode	
Methode voor middeling	Simulatie	BIAS [m]	RMSE [m]	BIAS [m]	RMSE [m]	BIAS [m]	RMSE [m]
1.5-GGV	SOBEK3-v3	-0,002	0,051	0	0,029	0,013	0,043
1.5-GGV	SOBEK3-v4	-0,018	0,053	-0,015	0,032	-0,003	0,041
Krimpen-HVH							
1.5-GGV	SOBEK3-v3	0,025	0,047	-0,001	0,019	0,012	0,029
1.5-GGV	SOBEK3-v4	0	0,038	-0,020	0,027	-0,009	0,026

De modellen zijn goed in staat de grootschalige trends in waterstandsverschillen te reproduceren. Daarom leveren de vuistregels verziltingskansen op die vergelijkbaar zijn aan de verzilting in de metingen.

- De SOBEK3-v3-schematisatie reproduceert de waterstandsverschillen bij lage afvoer beter dan de SOBEK3-v4-schematisatie.
- Tijdens stormopzet reproduceert SOBEK3-v3 de waterstandsverschillen beter voor Moerdijk en SOBEK3-v4 beter voor Krimpen.
- In de gehele reeks reproduceert SOBEK3-v4 de waterstandsverschillen het beste, met een onderschatting van de verschillen. SOBEK3-v3 overschat de verschillen.

De met de vuistregels berekende kans op verzilting wordt over het algemeen het best gereproduceerd met de SOBEK3-v3 schematisatie, echter wanneer specifieke condities beschouwd worden is het beste model locatie- en conditie-afhankelijk.

Daarnaast is de door de SOBEK-schematisaties berekende saliniteit geanalyseerd op trends. Hiervoor zijn in het zip-bestand (beschreven in bijlage A) figuren met het verloop van de saliniteit (in ppt) en chlorositeit (mg/l) opgenomen. Deze waardes komen direct uit de SOBEK-modeluitvoer. Daarnaast zijn ook percentiefiguren gemaakt. Hierin vallen de volgende zaken op:

- Over de gehele reeks zijn beide schematisaties goed in staat de trend van de metingen in de percentiefiguren te volgen waarbij de lijnen uit beide SOBEK3-modellen dicht bij elkaar liggen. Wanneer de lijnen van elkaar afwijken komt dit doordat SOBEK3-v4 iets hogere zoutgehalten berekent.
- Pieken in de saliniteit, o.a. gedurende de lage rivierafvoer in de zomer, zijn goed terug te zien in beide modellen.

N.B. De berekende saliniteit is niet 1-op-1 vergelijkbaar met de metingen, aangezien metingen op verschillende hoogtes in de waterkolom gedaan worden en de berekende waardes een dieptegemiddelde waarde geven.

4.3 Samenvatting resultaten Dordrecht en Rotterdam

Dit hoofdstuk vat de prestatie van de **sobekre-ndb-bos1_0_0_12okt2000** schematisatie samen. Hierbij wordt de geschiktheid van het SOBEK-RE-model als onderdeel van het BOS van de Stormvloedkering Nieuwe Waterweg beoordeeld. Omdat het nieuwe SOBEK3-model per 1 juli 2023 gebruikt wordt in dit BOS, zijn ook de modelresultaten van de **sobek-rmm_vzm-j15_5-v4** schematisatie meegenomen in de analyse.

Van zowel waterstanden als de kentering “ter plaatse van de Maeslantkering” bij Dordrecht en Rotterdam zijn de statistische kentallen bepaald. De modellen moeten voldoen aan een gestelde kwaliteitseis voor de kentallen voor de waterstand met maximaal ± 5 cm BIAS en 8 cm RMSE voor de gehele meetreeks op de BOS-locaties. Voor het hoog- en laagwater worden de statistische kentallen ook met deze eis vergeleken om inzicht te krijgen in de prestatie van de modellen bij deze situaties.

Ter beoordeling van de kwaliteit van de modellen zijn de BIAS en RMSE van de waterstanden bij Dordrecht en Rotterdam verder geanalyseerd, zie Tabel 6. Daarnaast is ook de locatie Hoek van Holland opgenomen in de analyse om te controleren of de fout vanaf de modelrand toeneemt. Voor de gehele reeks geldt dat de waterstanden in beide modellen goed gereproduceerd worden, met een absolute BIAS kleiner dan 5 cm en een RMSE kleiner dan 8 cm. De resultaten voor het **SOBEK-RE-model** zijn vergelijkbaar met de resultaten voor voorgaande jaren, waarbij voor alle situaties de bias ten opzichte van Hoek van Holland hoger is bij Rotterdam en lager bij Dordrecht. De resultaten van het **SOBEK3-model** zijn voor de gehele reeks vergelijkbaar met het SOBEK-RE-model. De waterstand tijdens hoogtij (HW) bij de BOS-locatie Rotterdam wordt in het SOBEK-RE model met 8,7 cm overschat en in het SOBEK3-model met 8,0 cm. Bij hoogtij is de BIAS bij Hoek van Holland in het SOBEK3-model ook relatief hoog met 5,5 cm in vergelijking met het SOBEK-RE model, dit heeft mogelijk te maken met het verschuiven van de meetreeks van de Maasmond naar de randvoorwaarde op de locatie Hoek van Holland.

In 2022 vonden meerdere stormen plaats en kunnen de BIAS en RMSE van waterstanden tijdens hoogwater storm vergeleken worden. Daarom zijn in Tabel 5 de gehele reeks van de waterstanden en de waterstanden tijdens hoogtij tijdens hoogwater door storm condities weergegeven. Beide modellen geven hogere waterstanden de meting tijdens hoogwater door storm. Echter zijn de waterstanden tijdens hoogtij in stormcondities op de BOS locaties beter in het nieuwe SOBEK3 model ten opzichte van het oude SOBEK-RE model. Bij Rotterdam is de waterstand 2,5 cm lager in het SOBEK3 model en bij Dordrecht 5,5 cm. Bij Dordrecht zorgt het verschil ervoor dat de waterstand onderschat wordt, maar de absolute BIAS ligt dicht bij 0.

Tabel 5: Overzicht van de BIAS en RMSE van de waterstanden tijdens hoogwater storm (HW-storm) voor het SOBEK3-model en SOBEK-RE model op de BOS-locaties.

Locatie	SOBEK3 – v4				SOBEK-RE			
	Hele reeks tijdens HW-storm		Hoogtij tijdens HW-storm		Hele reeks tijdens HW-storm		Hoogtij tijdens HW-storm	
	BIAS [m]	RMSE [m]	BIAS [m]	RMSE [m]	BIAS [m]	RMSE [m]	BIAS [m]	RMSE [m]
Hoek van Holland	0,009	0,038	0,053	0,067	0,005	0,029	0,025	0,040
Rotterdam	0,063	0,083	0,063	0,078	0,041	0,075	0,088	0,096
Dordrecht	0,020	0,075	-0,017	0,087	-0,016	0,084	0,038	0,084

Voor kentering sluitingen van de Maeslantkering en de Hartelkering is de reproductie van de stroomkentering bij deze keringen van belang. Omdat er geen metingen zijn om mee te vergelijken wordt als proxy de reproductie van de hoog- en laagwatertijden van de dichtstbij gelegen meetlocaties beoordeeld. Tabel 7 geeft inzicht in de voorspelling van de hoog- en laagwater kentering bij Maassluis en Spijkenisse. In het SOBEEK-RE-model is de BIAS van het tijdstip van kentering vergelijkbaar met voorgaande jaren en bij Maassluis is het moment van kentering verbeterd. De RMSE is voor alle locaties en situaties relatief hoog vergeleken met de jaren voor 2020, maar vergelijkbaar met de meest recente jaarsom-analyses waarbij wel een licht stijgende trend aanwezig is.

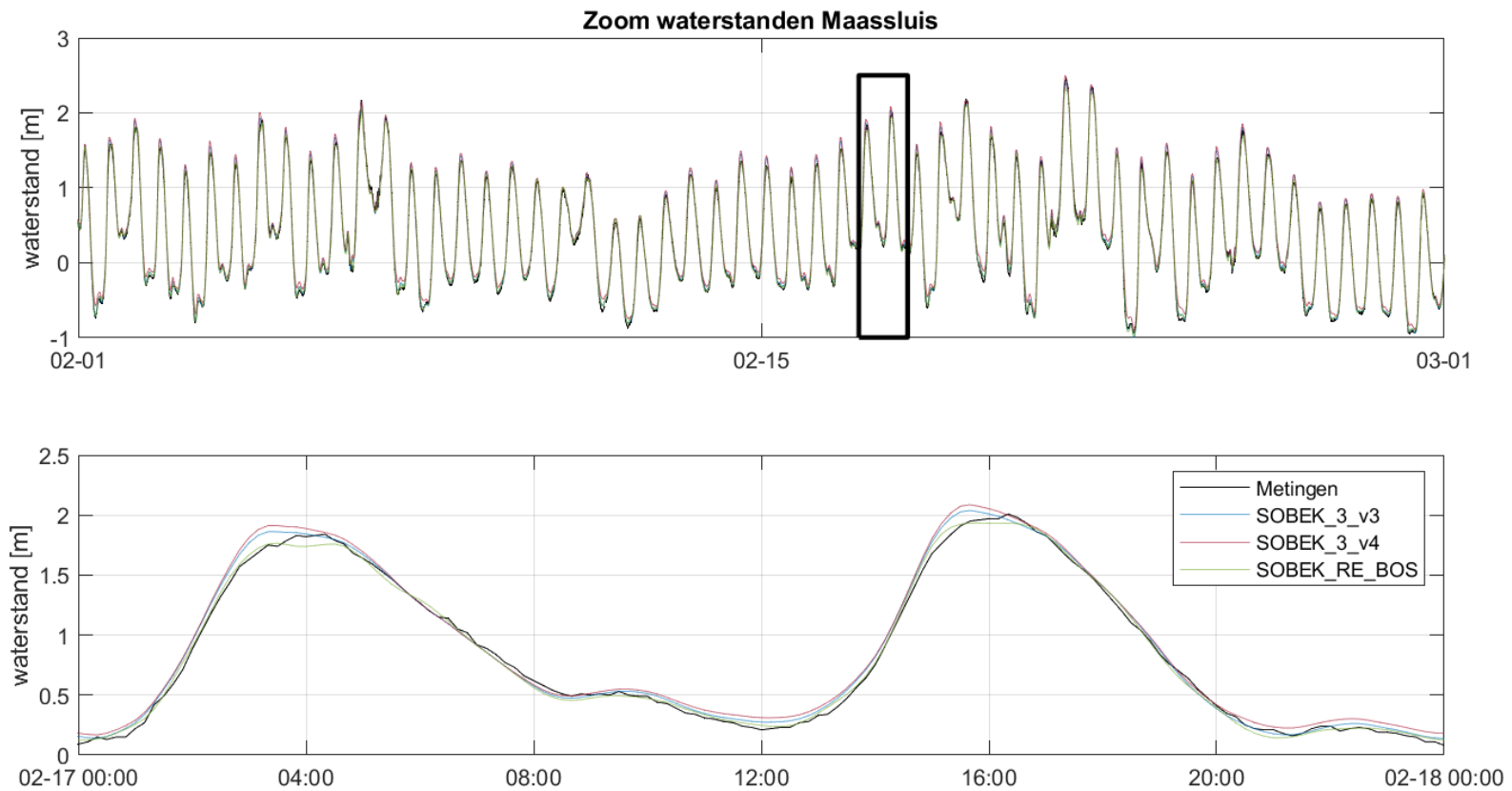
In het SOBEEK3-model valt de BIAS van het moment van hoogwater kentering bij Maassluis op: dit moment is ruim 20 minuten eerder dan in werkelijkheid. In de SOBEEK3 modellen stijgt het water consequent sneller dan in de metingen, waardoor de het hoogwater eerder valt dan in de metingen, (Figuur 2). Dit is ook zichtbaar in het verschilfiguur van de waterstanden bij Maassluis (Figuur 3), waarin een duidelijk signaal van de spring-doodtij cyclus aanwezig is. De afwijking van hoogwaterkentering is ook aanwezig in het SOBEEK3-v3 model en de eerdere jaarsommen met het SOBEEK3-v3 model. Bij Hoek van Holland en Spijkenisse is de timing van hoogwater kentering wel goed, waarbij het SOBEEK3-v4 model de kentering iets te vroeg voorspelt, waarbij dit bij het SOBEEK3-v3 model altijd te laat was.

Tabel 6: Overzicht van de BIAS en RMSE per jaar van het SOBEK-BOS model uitgesplitst naar de gehele meetreeks (GR) en de hoog- (HW) en laagwaterstanden (LW) in het getij voor de gehele reeks op de locaties Hoek van Holland, Rotterdam en Dordrecht. De kolommen 2012 tot en met 2022 geven de BIAS en RMSE van de waterstanden op basis van het SOBEK-RE-model. De kolom 2022 SOB3 geeft deze waarden voor jaarsom 2022 op basis van het nieuwe SOBEK3-v4-model. De cellen zijn roodgearceerd wanneer de waarden niet aan de gestelde kwaliteitseis voldoet, ± 5 cm BIAS en 7 cm RMSE.

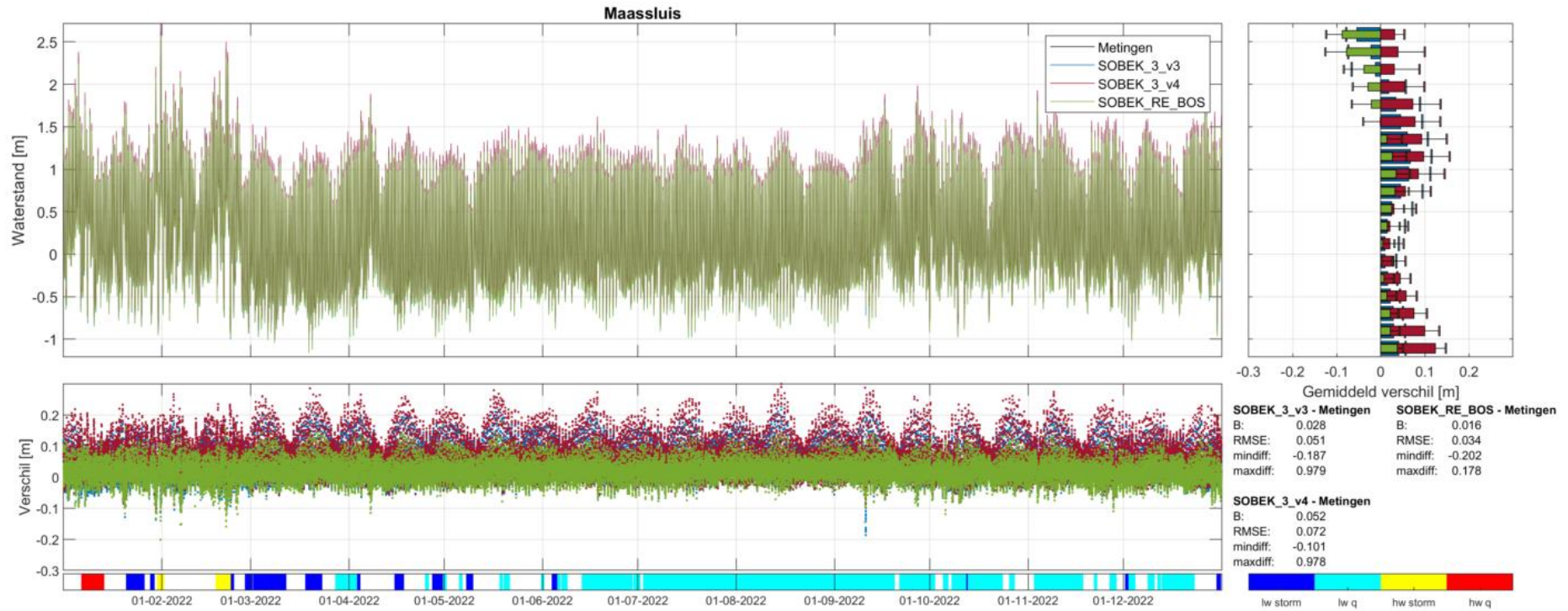
BIAS [m]	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2022 sob3
Hoek van Holland GR	-0,010	-0,013	-0,010	-0,008	-0,010	-0,007	-0,007	0,023	0,004	0,001	0,005	0,004
Rotterdam GR	0,015	0,011	0,021	0,023	0,016	0,024	0,024	-0,001	0,046	0,044	0,050	0,044
Dordrecht GR	-0,021	-0,026	-0,023	-0,021	-0,030	-0,017	-0,012	-0,036	0,008	0,005	0,017	0,015
Hoek van Holland HW	0,029	0,022	0,025	0,022	0,020	0,025	0,027	0,047	0,025	0,023	0,027	0,055
Rotterdam HW	0,043	0,035	0,045	0,043	0,039	0,073	0,066	0,024	0,078	0,080	0,087	0,080
Dordrecht HW	0,026	0,023	0,019	0,021	0,015	0,032	0,035	0,004	0,050	0,048	0,053	-0,031
Hoek van Holland LW	-0,023	-0,022	-0,017	-0,016	-0,022	-0,017	-0,018	0,013	-0,004	-0,011	-0,005	-0,005
Rotterdam LW	-0,006	-0,011	0,004	0,002	-0,008	0,000	-0,001	-0,016	0,032	0,025	0,030	0,080
Dordrecht LW	-0,039	-0,044	-0,042	-0,042	-0,055	-0,042	-0,038	-0,059	-0,021	-0,019	-0,012	0,035
RMSE [m]												
Hoek van Holland GR	0,029	0,026	0,025	0,023	0,024	0,022	0,023	0,030	0,020	0,020	0,020	0,027
Rotterdam GR	0,045	0,040	0,045	0,049	0,047	0,053	0,054	0,040	0,064	0,060	0,065	0,059
Dordrecht GR	0,046	0,049	0,047	0,050	0,058	0,050	0,057	0,056	0,051	0,043	0,047	0,054
Hoek van Holland HW	0,038	0,030	0,033	0,030	0,029	0,033	0,035	0,050	0,031	0,030	0,033	0,063
Rotterdam HW	0,048	0,040	0,050	0,050	0,052	0,077	0,070	0,034	0,082	0,084	0,090	0,085
Dordrecht HW	0,033	0,030	0,030	0,031	0,036	0,041	0,047	0,024	0,059	0,056	0,062	0,049
Hoek van Holland LW	0,030	0,026	0,021	0,022	0,026	0,023	0,024	0,017	0,015	0,018	0,015	0,017
Rotterdam LW	0,030	0,030	0,026	0,031	0,031	0,033	0,039	0,034	0,042	0,035	0,040	0,086
Dordrecht LW	0,046	0,049	0,048	0,054	0,065	0,055	0,061	0,068	0,051	0,034	0,040	0,051

Tabel 7: Overzicht van de BIAS en RMSE op de tijden van de van de hoog- (HW) en laagwaterkentering (LW) voor de gehele reeks op de locaties Maassluis, Hoek van Holland en Spijkenisse. De kolommen 2012 tot en met 2022 zijn de BIAS en RMSE van de kentering op basis van het SOBEC-RE-model. De kolom 2022 SOB3 geeft deze waarden voor jaarsom 2022 op basis van het nieuwe SOBEC3-v4-model.

BIAS [min]	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2022 SOB3
Maassluis HW	4,597	-7,163	-8,043	-8,397	-10,877	-12,170	-8,598	-5,949	-8,989	-10,753	-6,869	-20,543
HoekvHolland HW	-0,226	0,652	0,751	0,000	-0,410	-0,738	-0,822	-0,643	0,279	-0,313	-0,561	-0,462
Spijkenisse HW	5,926	5,560	5,716	4,616	3,858	3,504	3,739	3,749	2,207	1,866	2,142	-4,563
Maassluis LW	-0,893	0,734	0,459	2,032	-0,611	1,519	1,004	3,675	0,917	0,339	-1,563	0,649
HoekvHolland LW	3,684	2,869	3,718	3,153	2,713	3,566	4,148	2,828	5,121	3,882	3,396	4,033
Spijkenisse LW	-1,783	-1,033	-0,574	-0,286	-1,113	1,090	0,172	3,968	-0,634	1,425	1,283	4,935
RMSE [min]												
Maassluis HW	16,449	18,554	20,673	21,003	21,318	23,290	23,191	22,467	23,594	24,029	23,134	28,704
HoekvHolland HW	9,258	6,391	6,080	6,414	6,076	6,545	7,001	10,969	11,675	10,437	11,710	12,139
Spijkenisse HW	10,577	9,468	8,889	9,022	8,405	8,104	8,142	12,341	13,505	12,623	15,217	15,546
Maassluis LW	20,026	18,298	18,490	17,845	19,861	18,360	19,747	22,978	25,878	23,463	26,604	24,809
HoekvHolland LW	15,782	13,045	13,156	12,658	13,521	13,530	13,229	18,136	19,461	18,212	19,408	17,983
Spijkenisse LW	16,528	15,405	14,112	14,433	15,407	14,920	14,882	20,303	22,884	21,156	22,956	23,343



Figuur 2: Gemeten en berekende waterstanden bij Maassluis in februari 2022..



Figuur 3: Waterstanden en waterstandsverschillen bij Maassluis. Het spring-doodtij signaal dat zichtbaar in de Sobek3 modellen is mogelijk de reden dat de bias van hoogwaterkentering sterk afwijkt.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

In deze studie is onderzoek gedaan naar de prestaties van enkele SOBEK-schematisaties in de Rijn-Maasmonding. De beschouwde modelschematisaties zijn het SOBEK-RE-model **sobekre-ndb-bos1_0_0_12okt2000** en de SOBEK3-modellen **sobek-rmm_vozo-j15_5-v3** (SOBEK3-v3) en **sobek-rmm_vzm-j15_5-v4** (SOBEK3-v4). Voor alle modellen zijn gemeten waarden voor waterstanden, rivierafvoer en wind gedurende het jaar 2022 opgelegd als randvoorwaarden. De BIAS en RMSE van de waterstanden, momenten van kentering, saliniteit en chlorositeit zijn vergeleken met meetreeksen op meetlocaties binnen de RMM.

5.1.1 Waterstanden

De statistische kentallen voor de waterstand, BIAS en RMSE, nemen in absolute zin stroomopwaarts toe voor alle beschouwde SOBEK-modelschematisaties. Daarbij laat het SOBEK3-v3-model een gemiddelde onderschatting van de waterstanden zien van 6 mm. De met het SOBEK3-v4-model berekende waterstanden liggen 1 tot 2 cm hoger dan in het SOBEK3-v3-model, resulterend in een gemiddelde overschatting van 9 mm. De RMSE waarden zijn vergelijkbaar voor beide SOBEK3-modellen. Het SOBEK3-v3 model overschat de waterstand in de Nieuwe Waterweg en Nieuwe Maas en Hollandse IJssel, en onderschat de waterstanden in de rest van het model. Het SOBEK3-v4-model overschat de waterstand op alle locaties met uitzondering van de Waal en de locaties bij de bovenstroomse modelranden. Het SOBEK-RE-model overschat de waterstanden in algemene zin.

Voor SOBEK3-v3 en SOBEK-RE is het resultaat vergelijkbaar met de resultaten van eerdere jaarsom-analyses. Ook de waarden van de statistische kentallen zijn in dezelfde orde van grootte als in eerdere jaren. Het meenemen van gemeten zoutconcentraties bij Hoek van Holland levert waterstanden op die 5 tot 10 cm lager zijn dan wanneer een constante waarde van 31 ppt wordt gebruikt op momenten dat geen metingen beschikbaar zijn. Wanneer de meetreeksen met opvulwaarden gebruikt wordt levert dit sprongen in de waterstand op die geheel toe te schrijven zijn aan de verschillen tussen de meting en de opvulwaarde. Daarom is, in overleg met Deltares, dit jaar wederom gerekend met een constante zoutconcentratie met Thatcher-Harleman time lag bij Hoek van Holland. Dit zorgt ervoor dat in de Nieuwe Waterweg en Nieuwe Maas de overschatting van de waterstand groter wordt en een onderschatting van de waterstand in het Haringvliet en Hollandsch Diep een lichte overschatting wordt.

Het jaar 2022 werd gekenmerkt door een stormachtig voorjaar, met twee stormen die daarbij ook stormopzet veroorzaakten bij Hoek van Holland. Daarnaast heeft in de winter één hoogwater vanuit de rivieren plaatsgevonden en was de afvoer van de Rijn en Maas in de zomer extreem laag. Opvallend is dat de SOBEK3-v4 schematisatie bij hoogwater door storm de waterstanden niet beter reproduceert dan de SOBEK3-v3 schematisatie. Daarnaast zakt in beide SOBEK3-modellen bij hoogwater door rivierafvoer de waterstand op het Haringvliet en Hollands Diep sneller uit dan in de metingen, wat in deze wateren een onderschatting van de waterstanden bij hoogwater veroorzaakt. Ten opzichte van het oude SOBEK-RE model worden in het SOBEK3-v4-model de

hoogtij waterstanden bij hoogwaterstorm wel beter voorspelt. Dit is de meest relevante waterstand voor het besluit om de keringen te sluiten.

5.1.2 Zoutconcentraties en vuistregels

De risico's op verzilting zijn in te schatten met vuistregels op basis van gemodelleerde waterstandsverschillen binnen de Rijn-Maasmonding. Beide SOBEK3-modellen produceren vergelijkbare waterstanden als in de metingen. Daarom zijn de modellen goed in staat om de grootschalige trends in waterstandsverschillen te reproduceren ten behoeve van de vuistregels voor verzilting.

De zoutconcentraties berekend met de SOBEK3-modellen zijn voor beide modellen vrijwel gelijk, waarbij SOBEK3-v4 net iets hogere zoutconcentraties berekent dan SOBEK3-v3. De verschillen zijn echter verwaarloosbaar. De gemodelleerde zoutconcentraties worden bij de meeste locaties onderschat door beide SOBEK3-modellen, maar de trends in de zoutconcentratie worden goed gereproduceerd.

5.1.3 Rotterdam en Dordrecht

Het Beslissingsondersteunend Systeem (BOS) van de Stormvloedkering Nieuwe Waterweg gebruikt de voorspelde waterstanden bij Dordrecht en Rotterdam. Daarom is voor de SOBEK-RE-modelschematisatie specifiek gekeken naar de statistische kentallen voor de locaties Dordrecht en Rotterdam. De resultaten zijn redelijk vergelijkbaar met voorgaande jaren. De reproductie van de waterstanden op de BOS-locatie Rotterdam is iets verslechterd. Gemiddeld over de gehele periode en bij laagwater voldoet Rotterdam wel. De BOS-locatie Dordrecht voldoet over de gehele reeks, bij hoogwaters en bij laagwaters aan de gestelde kwaliteitseisen.

Omdat de SOBEK3-v4-modelschematisatie is opgenomen in het BOS, is ook voor deze schematisatie gekeken naar de statistische kentallen bij Rotterdam en Dordrecht. Hier vallen de statistische kentallen bij de locatie Rotterdam bij zowel hoogwater als laagwater niet binnen de grenswaarden voor een goede reproductie van de waterstand. BOS-locatie Dordrecht voldoet wel. Daarnaast valt op dat het moment van hoogwaterkentering bij Maassluis ongeveer 20 minuten te vroeg gereproduceerd wordt waar het SOBEK-RE-model dit moment wel correct weet te reproduceren. Wel is reproductie van de waterstand bij hoogtij tijdens hoogwater door storm beter in het SOBEK3-v4-model dan in het SOBEK-RE-model.

5.2 Aanbevelingen

Naast de conclusies over de kwaliteit van de modellen volgen uit de uitvoering van de jaarsom nog aanbevelingen over de modellen in het algemeen en over het gebruik van de toolbox. Uit de uitvoering volgt een aanbeveling voor de modellen zelf:

- In volgende jaarsommen is het aan te bevelen om standaard gebruikt te maken van een constante waarde voor de zoutconcentratie bij Hoek van Holland. De waarde daarvoor zou dan 31 ppt met een Thatcher-Harleman time-lag van 5400 s moeten zijn. Voor de Jaarsom 2023 is het verstandig heer een definitief besluit over te nemen.
- Om verschillen tussen metingen en de modelresultaten goed te kunnen beoordelen is de aanbeveling dat ook de rapportage over het opstellen van de randvoorwaarden beschikbaar is bij het maken van de jaarsom.

- In het kader van de overgang van het SOBEK-RE model naar het SOBEK3-v4 model in het BOS is het aan te bevelen om verder uit te zoeken wat de oorzaak is van de verschillen tussen prestaties van deze modellen.

Daarnaast volgen de volgende aanbevelingen uit het werken met de jaarsom-toolbox:

- Overnemen van de aangepaste scripts voor het bepalen van opzet, zowel positief als negatief, en daarbij overwegen de term 'laagwater door storm' te vervangen door 'laagwater door negatieve opzet', omdat bij deze conditie de windsnelheden niet meegenomen worden. De term afwaaiing is hier niet dekkend omdat de negatieve opzet gepaard gaat met lage windsnelheden die uit alle richtingen kunnen komen.
- Overnemen van het script om laterale debieten automatisch toe te voegen aan de modellen.
- Toevoegen van een module aan de toolbox die de DONAR-gegevens kan uitlezen en samenvoegen voor gebruik in de analyse.
- Toevoegen van een mogelijkheid voor visualisatie van een combinatie hoog-/laagwater door een combinatie van stormopzet en afvoer.
- Opnemen figuur met locaties van de meetpunten voor de interpretatie. Een dergelijke figuur kan ook als basis dienen om de waardes van de BIAS van de waterstand beter inzichtelijk te maken.
- Opnemen van de mogelijkheid om in te zoomen in de met de toolbox gegenereerde figuren, om zo verschillen in berekeningen en/of afwijkingen in tijd beter uit te lichten in de rapportage.

6 Referenties

6.1 Referenties

HKV, 2021.

Jaarsom 2020 Rijn-Maasmonding, HKV-rapport PR4547.10, in opdracht van Deltares.

HKV, 2022.

Jaarsom 2021 Rijn-Maasmonding, HKV-rapport PR4547.20, in opdracht van Deltares.

Deltares, 2020.

Jaarsom 2019 Rijn-Maasmonding. Deltares rapport 11205258-005-ZWS-0007

Deltares, 2022.

Aanpassing schematisatie drempel Maeslantkering. Deltares memo 11208053-004-ZWS-001, dd 5 oktober 2022.

Van Brenk, S. H., 2021.

Return period of low water periods in the river Rhine. MSc Thesis, University of Twente.
<https://purl.utwente.nl/essays/89051>

Bijlagen

A Figuren

Figuren en tabellen bij deze rapportage zijn apart meegeleverd in "Jaarsom2022RMM.zip". Deze folder is als volgt opgebouwd.

- Waterstand
 - 24 Figuren van het verloop van de gemodelleerde waterstanden, de waterstandsverschillen tussen de modellen en de metingen en bijbehorende statistiek voor de meetstations in de Rijn-Maasmonding
 - 4 Excel tabellen met de statistische kentallen over de gehele periode en voor de bijzondere condities voor de 24 meetstations.
- Vuistregels
 - 4 figuren met de kans op verzilting op basis van de vuistregels
 - 3 *.csv bestanden met de statistiek van de waterstandsverschillen ten behoeve van de vuistregels
- Salinity
 - 5 folders met daarin percentiel figuren van de saliniteit op de 13 meetstations. Voor zowel de gehele periode als voor de 4 bijzondere condities
 - 13 Figuren van het verloop van de gemodelleerde saliniteit, de saliniteitsverschillen tussen de modellen en de metingen en bijbehorende statistiek voor de meetstations in de Rijn-Maasmonding
 - Overzichtstabel in *.csv format
- Chloridegehalte
 - 5 folders met daarin percentiel figuren van de chlorositeit op de 13 meetstations. Voor zowel de gehele periode als voor de 4 bijzondere condities
 - 13 Figuren van het verloop van de gemodelleerde chlorositeit, de chlorositeitsverschillen tussen de modellen en de metingen en bijbehorende statistiek voor de meetstations in de Rijn-Maasmonding
 - Overzichtstabel in *.csv format
- Toolbox
 - Matlab folder met de aangepaste scripts ten behoeve van het toevoegen van de lateralen
 - Analyse toolbox met de aangepaste scripts voor het bepalen van de opzet condities.



Hoofdkantoor

HKV lijn in water BV
Botter 11-29
8232 JN Lelystad

Nevenvestiging

Informaticalaan 8
2628 ZD Delft

0320 294242
info@hkv.nl
www.hkv.nl