

Zoutmodellering in de Rijn-Maasmonding

Inventarisatie van toepassingsbereik en beperkingen



Zoutmodellering in de Rijn-Maasmonding

Inventarisatie van toepassingsbereik en beperkingen

Auteurs

Robert Groenewege

Vincent Vuik

Zoutmodellering in de Rijn-Maasmonding

Inventarisatie van toepassingsbereik en beperkingen

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat
Contactpersoon	Meinte Blaas
Referenties	
Trefwoorden	RMM, D-HYDRO, SOBEK, zoutindringing

Document controle

Versie	1.0
Datum	2025-01-14
Projectnummer	11210363-006
Document ID	11210363-006-ZKS-0002
Pagina's	45
Status	definitief

Auteur(s)

	Robert Groenewege	Deltares
	Vincent Vuik	Deltares

Samenvatting

In de afgelopen jaren zijn er veel onderzoeken uitgevoerd met modellen voor zoutindringing in de Rijn-Maasmonding (RMM) voor verschillende doeleinden, zoals beleidsverkenningen, klimaatscenario's en wetenschappelijk onderzoek. Deze studies hebben inzichten opgeleverd over de toepasbaarheid en beperkingen van deze modellen. Daarnaast is er een wettelijke verplichting voor de overheid om de toepasbaarheid en betrouwbaarheid van modellen en tools die voor besluitvorming worden gebruikt te evalueren.

Dit rapport heeft twee doelen. Ten eerste om adviseurs binnen en buiten Rijkswaterstaat te informeren over zoutindringingsmodellering in het RMM-gebied. Ten tweede om ondersteuning te bieden voor de verdere ontwikkeling van modelschematisaties door inzichten en ervaringen met de modellen samen te vatten, inclusief hun toepassingsbereik, bekende beperkingen en aanbevelingen.

De inventarisatie is uitgevoerd door middel van literatuuronderzoek en interviews met experts. Het rapport biedt een overzicht van de toepassingen en mogelijkheden van de modellen, waarbij de focus ligt op de formele schematisaties RMM-3D en SOBEK-RMM. RMM-3D is een zesde-generatie, driedimensionaal model specifiek ontwikkeld voor het voorspellen van zoutindringing. Het is geschikt voor beleidsondersteuning, scenariostudies en langetermijnveranderingen door klimaatverandering. Voor het model is een hoge rekencapaciteit nodig, wat het niet geschikt maakt voor operationeel waterbeheer en spoedadviezen. SOBEK-RMM is een vijfde-generatie, ééndimensionaal model primair ontwikkeld voor waterstandsmodellering. Het model is geschikt voor verkennende berekeningen en spoedadviezen tijdens droogte maar wordt minder betrouwbaar geacht voor gedetailleerde zoutindringingsstudies en scenario's met significante veranderingen in waterdiepte.

Enkele overige modellen die ook gebruikt kunnen worden voor zoutindringing zijn D-HYDRO Haringvliet (voor gedetailleerde studies van zoutdynamiek in het Haringvliet), en de SALTISolutions modellen IMSIDE, Rhine-Meuse Delta (RMD), en LSTM.

Voor RMM-3D wordt aanbevolen om het model te versnellen en de toepasbaarheid voor operationeel gebruik te verbeteren. Voor SOBEK-RMM worden enkele verbeteringen in de procesbeschrijvingen en -parametrisering voorgesteld, waaronder het aanpakken van de onjuiste restafvoerverdeling tussen de Oude Maas en Nieuwe Maas. Over het algemeen wordt verkenning van nieuwe technologieën aanbevolen zoals data-assimilatie, machine learning en AI, om de modelprestaties te verbeteren.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	4
	Lijst van tabellen	6
1	Inleiding	7
1.1	Achtergrond	7
1.2	Doel	7
1.3	Aanpak	8
1.4	Opzet rapport	8
2	D-HYDRO 3D-model	9
2.1	Beschrijving model	9
2.2	Beschouwing modelvalidatie	10
2.2.1	Waterstanden en stroming	10
2.2.2	Chlorideconcentraties	11
2.2.2.1	Spui	11
2.2.2.2	Hollandsche IJssel	11
2.2.2.3	Haringvliet	12
2.2.3	Watertemperatuur	12
2.3	Toepassingsbereik	13
2.3.1	Fysica	13
2.3.2	Praktisch	13
2.4	Aanbevelingen	14
3	SOBEK 1D-model	15
3.1	Beschrijving model	15
3.2	Beschouwing modelvalidatie	15
3.2.1	Waterstanden en stroming	15
3.2.2	Chlorideconcentraties	16
3.2.3	Watertemperatuur	17
3.3	Toepassingsbereik	17
3.3.1	Fysica	17
3.3.2	Praktisch	19
3.4	Aanbevelingen	19
4	Overige modellen	20
5	Discussie	22
6	Referenties	23
A	Factsheet RMM-3D	25
B	Factsheet SOBEK-RMM	35

Lijst van tabellen

4.1	Overzicht van overige modellen die gebruikt kunnen worden om zoutindringing in de RMM te modelleren	21
-----	---	----

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In recente jaren zijn er voor ontwikkelings- en adviesvragen veel onderzoeken uitgevoerd waar modellen voor zoutindringing en zoutverspreiding in de Rijn-Maasmonding (RMM) zijn ingezet. Dit omvat onder andere beleidsverkenningen, klimaatscenario's, maatregelen binnen het Deltaprogramma Zoetwater, vergunningsaanvragen, operationele getijdensters voor de aanleg van tunnels, en wetenschappelijk onderzoek. Al deze onderzoeken hebben inzichten opgeleverd over het toepassingsbereik en de beperkingen van het modelinstrumentarium voor zoutindringingsvraagstukken. Tegelijk valt op dat diverse adviseurs binnen Rijkswaterstaat en binnen de opdrachtnemers van Rijkswaterstaat niet altijd het overzicht hebben van de huidige stand van zaken ('state of the art'). Sinds 25 juni 2024 is het tevens voor de regering wettelijk verplicht (motie R.Y. Hertzberger, 29665-507) om "voor alle modelleer- en rekeninstrumenten die worden gebruikt voor besluitvorming na te gaan of er een toepassingsbereik is gedefinieerd, of het instrument binnen dat toepassingsbereik wordt gehanteerd en of er verder rekening wordt gehouden met de grenzen aan de statistische en methodologische betrouwbaarheid, en hierover eind 2024 aan de Kamer te rapporteren". Onlangs is een vernieuwing van de hydrodynamische en morfologische software ingezet, waarin de huidige modellen worden herzien en een nieuwe strategie wordt uitgezet ten behoeve van toekomstbestendige modelsoftware.

1.2 Doel

Het doel van deze inventarisatie is tweeledig. Ten eerste dient dit rapport om adviseurs binnen en buiten Rijkswaterstaat (o.a. adviesbureaus, kennisinstututen, etc.) te informeren en inzicht te bieden over de modellering van zoutindringing in het RMM-gebied. Het rapport moet handvatten bieden om het meest geschikte model te kiezen bij een specifieke toepassing en inzicht geven in de beperkingen van dit model. Ten tweede dient dit rapport een verdere ontwikkelagenda van de modelschematisaties te ondersteunen. Hiertoe zet dit rapport de inzichten en ervaringen met de modellen op een rij. Ook worden richtlijnen gegeven voor de keuze tussen modellen.

De focus van dit rapport ligt bij de twee belangrijkste, formele modelschematisaties van de RMM: het ééndimensionale (1D) SOBEK3-model (`sobek-rmm-vzm-j15_5-v4`¹), en het driedimensionale (3D) D-HYDRO-model (`dflowfm3d-rmm-j19_nw18_6-v2a`). Overige modellen, bijvoorbeeld die ontwikkeld zijn op universiteiten of binnen de context van specifieke projecten, worden alleen kort beschreven.

¹Dit is het model dat in het Landelijk SOBEK Model (LSM) is opgenomen.

1.3 Aanpak

Deze inventarisatie is uitgevoerd middels literatuuronderzoek en interviews. Er is eerst, in samenwerking met RWS, een inventarisatie gedaan van onderzoeken die gebruik maken van de RMM-modellen. Op basis van de modelfactsheets, te vinden als bijlagen bij dit rapport, en de relevante literatuur is een overzicht gemaakt van de toepassingen en mogelijkheden. Ook zijn aanbevelingen uit de verscheidene onderzoeken in dit rapport bij elkaar gebracht. Vervolgens zijn interviews gehouden met een aantal experts binnen Deltares om hun inzichten en ervaringen mee te nemen.

1.4 Opzet rapport

Dit rapport is als volgt opgebouwd. Het 3D D-HYDRO-model wordt behandeld in hoofdstuk 2, gevolgd door het 1D SOBEK-model in hoofdstuk 3. Per model wordt eerst een algemene introductie van de schematisatie gegeven, gevolgd door een beschouwing van de modelvalidatie en beperkingen; als laatst wordt het toepassingsbereik gegeven aan de hand van drie variabelen: het type vraagstuk, de locatie, en de tijdshorizon. Overige modellen zijn vervolgens in hoofdstuk 4 opgesomd. De discussie, inclusief de keuzerichtlijnen, is te vinden in hoofdstuk 5.

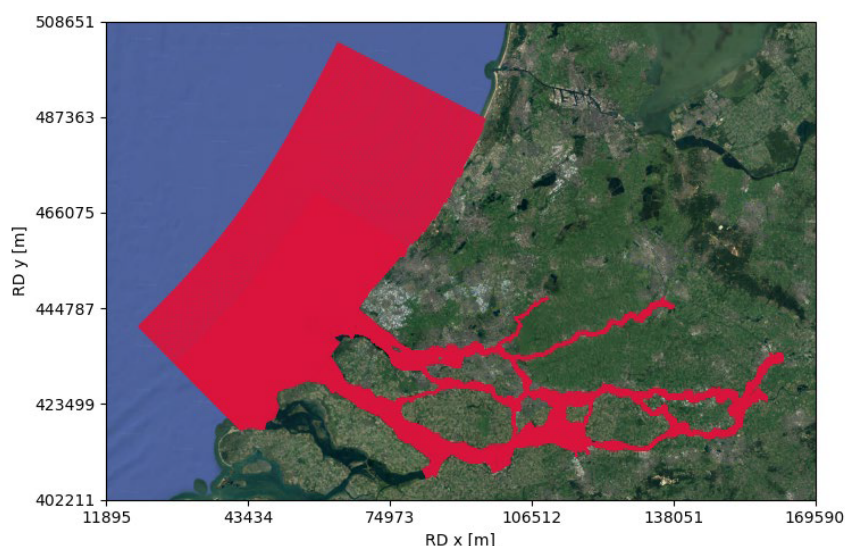
2 D-HYDRO 3D-model

2.1 Beschrijving model

De "officiële" beschrijving van RMM-3D is te vinden in de bijbehorende factsheet (Bijlage A) en in de rapporten over ontwikkeling en validatie. Wat hieronder volgt is een korte samenvatting van deze documenten ten behoeve van het overzicht om te helpen bij het maken van keuzes over welk model waarvoor is te gebruiken.

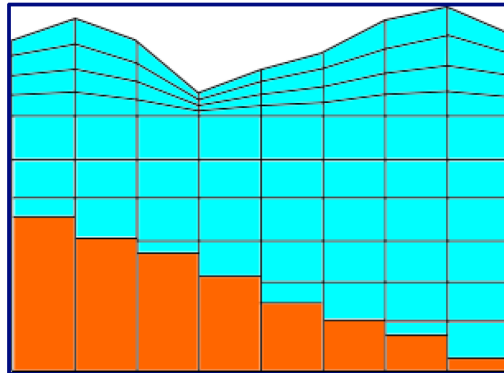
RMM-3D (dflowfm3d-rmm-j19_nw18_6-v2a) is een zesde-generatie, driedimensionale modelschematisatie die specifiek ontwikkeld is voor het reproduceren van zoutindringing. De modelschematisatie draait onder de D-HYDRO software. Het 3D-model is in staat de zoutindringing te berekenen aan de hand van stroomsnelheden die variëren over de diepte en de breedte en de drukgradiënten die daarbij ontstaan. Vanwege de dichtheidverschillen tussen zoet en zout is het van belang de variatie in de diepte mee te nemen. Zo stroomt in een systeem als de RMM het zoute zeewater onder het zoete rivierwater door. Deze gelaagheid beïnvloedt de zoutindringing en de resulterende zoutgehalten bij innamepunten. In een 3D model worden deze processen expliciet gemodelleerd.

Volgens de filosofie van de zesde-generatie modellen (Minns et al., 2023) sluit het model fysiek aan op andere watersystemen binnen het beheergebied van RWS, en is het consistent met het dieptegemiddelde RMM-2D model. De schematisatie van RMM-2D, inclusief validatie en kalibratie, is uitgebreid omschreven door [Veenstra et al. \(2022\)](#). Het rekenrooster bevat naast het hoofdwatersysteem ook havenbekkens (Figuur 2.1), die met onregelmatige driehoekscellen worden gerepresenteerd. Het model wordt aangestuurd met randvoorwaarden (1) voor de zee, die met het 3D-DCSM model kunnen worden gegenereerd, en (2) voor de Rijn- en Maasafvoer te Hagestein, Tiel en Lith afkomstig uit de RWS DONAR-database. Daarnaast zitten er meerdere zijdelingse instromen (lateralen) in het model. De bandijken vormen de overige, gesloten modelranden.



Figuur 2.1 Horizontale omvang van het rekenrooster van RMM3D (Veenstra et al., 2022, Fig. 4.7)

RMM-3D is in 2019 ontstaan uit de behoefte om stratificatie, de gelaagdheid van zoet en zout water, beter te modelleren, aangezien veel bestaande numerieke modellen de neiging hadden om dichtheidsverschillen over de diepte te onderschatten. Een voorbeeld hiervan is het OSR-model (Kranenburg, 2015). Hiertoe is in RMM-3D een combinatie toegepast van lagen met een constante hoogte (Z-lagen) en lagen met een variabele hoogte (sigma-lagen) (Van der Kaaij en Chavarrias, 2020; Van der Kaaij *et al.*, 2022) (Figuur 2.2). De sigma-lagen bevinden zich aan het wateroppervlak, terwijl de rest van de waterdiepte wordt gemodelleerd met Z-lagen van 1 m dik. De sigma-lagen helpen om de positie van het wateroppervlak goed te kunnen modelleren. De Z-lagen zijn daarentegen essentieel om de gelaagdheid in de Nieuwe Waterweg goed te modelleren (zie ook 2.2.2). Met de combinatie van de twee typen lagen is het beste van beide werelden gecombineerd.



Figuur 2.2 Combinatie van vaste Z-lagen en variabele sigma-lagen in het verticale rekenrooster van RMM3D (Van der Kaaij en Chavarrias, 2020, Fig. 11)

2.2 Beschouwing modelvalidatie

2.2.1 Waterstanden en stroming

Het model is wat betreft waterstanden gevalideerd voor de periodes van mei en december 2011 en najaar 2018 (Van der Kaaij en Chavarrias, 2020; Van der Kaaij *et al.*, 2022). Over het algemeen worden zowel waterstanden als afvoeren zeer goed gereproduceerd (Bijlage A). Het verschil tussen de gemeten en gemodelleerde waterstand bedraagt slechts enkele centimeters. De rivierafvoeren komen overeen met de ADCP metingen en de afvoerverdeling is in lijn met andere modellen.

Uit het validatierapport van RMM-3D volgt dat de verdeling van getijdebieten op de splitsingspunten uitstekend wordt gereproduceerd door het model. De 13-uurs metingen zijn alleen te kort om te kunnen stellen dat de restdebietverdeling ook correct wordt gemodelleerd.

Op dit moment worden stroomsnelheden voor nautische veiligheid met SIMONA (waar OSR op draait) berekend. Dit zal echter op termijn niet meer onderhouden worden en er zal een nieuw model moeten worden gekozen. Als er geen nieuw 3D model wordt ontwikkeld, zou RMM-3D de meest waarschijnlijke kandidaat zijn, mits er aanvullende ontwikkeling plaatsvindt om het model sneller te maken.

2.2.2 Chlorideconcentraties

Het model is gevalideerd voor de perioden van mei en december 2011 en najaar 2018. Het model reproduceert de variatie in zoutindringing ten gevolge van variaties in getij, stormopzet en rivierafvoer in deze perioden goed; dit betreft zowel de sterkte als de snelheid van de respons (Bijlagen A en B). De kwaliteit van de reproductie van de stratificatie in de Nieuwe Waterweg is beter dan voorgaande modellen: de gemiddelde fout is slechts 1.5 psu, mede door een combinatie van Z- en sigma-lagen in de verticaal. Op een aantal locaties is er sprake van afwijkingen, waarvan in recent onderzoek de oorzaken grotendeels zijn gevonden. Het gaat hierbij om:

- 1 de algemene onderschatting van chlorideconcentraties rivierwaarts in het systeem zijn waarschijnlijk grotendeels toe te schrijven aan het missen van onttrekkingen, maar mogelijk ook aan de parametrisering van momentum, diffusiviteit (eddy viscositeit) en verticale resolutie (Groenewege, 2024);
- 2 een sterke onderschatting van de piekconcentraties in het Spui;
- 3 een incorrecte weergave van lozingen en onttrekkingen op de Hollandsche IJssel;
- 4 de zoutdynamiek in de diepe putten van het Haringvliet.

Hieronder worden punten 2 t/m 4 nader uitgewerkt.

2.2.2.1 Spui

Het model presteert op de zuidrand, voornamelijk in het Spui, minder goed dan op de noordrand¹. Met name de piekconcentraties bij Bernisse als gevolg van windopzet (achterwaartse verzilting²) worden sterk onderschat (met 70%). Hierdoor kan ook het proces van nalevering³ niet goed worden weergegeven.

Uit recent onderzoek van het SALT project (Avelon Gerritsma, zie hoofdstuk 4) blijkt dat dit waarschijnlijk ligt aan de waterstandsforcering. Tijdens een storm met windopzet wordt de zoutindringing voornamelijk door een waterstandsgradiënt gedreven (ook wel barotrope stroming genoemd). Als deze gradiënten beter kloppen worden de zoutpieken ook beter voorspeld. Zo kreeg Gerritsma betere resultaten met DCSM-ZUNO-kf (data assimilatie) als randvoorwaarden. Een aanvullende oorzaak van de onderschatting van piekconcentraties kan de timing van de Haringvlietssluisen zijn, wat zorgt voor een onzekerheid in de gemodelleerde waterstanden in het Haringvliet (1 uur verschil in timing kan al een significant effect hebben).

2.2.2.2 Hollandsche IJssel

De toename en afname van de zoutindringing op de Hollandsche IJssel werden tot voor kort sterk onderschat door een onvolledige forcering (zie Bijlage A). Deze onvolledige forcering betrof een fout in de lozingen onttrekkingen, die wel waren opgelegd maar om technische redenen niet werden gemodelleerd; dit is gebleken uit recent onderzoek voor Kennisprogramma Zeespiegelstijging. Dit heeft geleid tot een kleine aanpassing in de modelschematisatie. De variaties in zoutindringing worden nu goed weergegeven. Er blijft echter sprake van enige onderschatting.

¹ Bij de ontwikkeling van het model lag de nadruk van de validatie op de noordrand.

² het fenomeen dat de vloedstroom met zout water via de Oude Maas en Spui of (in extremere situaties) via Dordtsche Kil richting het Haringvliet en Hollands Diep stroomt" (HydroLogic, 2021)

³ langdurig verhoogde concentraties op het Spui doordat met windopzet er zout via het Spui naar het Haringvliet is gestroomd, dat bij gesloten Haringvlietssluisen in de opvolgende periode terugstroomt door het Spui naar de noordrand

2.2.2.3 Haringvliet

Uit [Tiessen et al. \(2023\)](#) blijkt dat de verticale resolutie van RMM-3D onvoldoende fijn is om de sterke verticale stratificatie te reproduceren die kan optreden in diepe geulen en kuilen in het Haringvliet. Specifiek werd vastgesteld dat de diepe putten te snel ontzilten bij het spuien door de Haringvlietsluizen.

Om dit op te lossen is door [Tiessen et al. \(2023\)](#) gewerkt aan een apart (deel)model, genaamd D-HYDRO Haringvliet. Dit model is een uitsnede van het RMM-3D model waarvan het rekendomein begrensd is door de Haringvlietsluizen, het Hollandsch Diep en het Spui. De verticaal is opgebouwd uit enkel Z-lagen van 0,125 m hoog. Dit is ten opzichte van de originele resolutie van 1 m dus een verfijning met een factor 8, maar dit was alleen mogelijk doordat het horizontale rekendomein veel kleiner is ten opzichte van het hele RMM-3D model. Tevens verschillen de modelinstellingen omdat RMM-3D gericht is op reproductie van dynamiek in de Nieuwe Waterweg, terwijl het D-HYDRO Haringvliet model bedoeld is om de sterke stratificatie te reproduceren.

Hiermee werd uiteindelijk de ontzilting "kwalitatief goed en kwantitatief redelijk gereproduceerd". Daarbij moet worden opgemerkt dat er relatief beperkte informatie (metingen) is over de afvoer door de Haringvlietsluizen. Deze informatie is essentieel omdat de balans tussen de afvoer en het getij de mate van zoutindringing bepaalt ([Tiessen et al., 2023](#)).

2.2.3 Watertemperatuur

RMM-3D is geschikt om watertemperatuur te modelleren. In deze context betekent geschikt dat het model de fysische processen van temperatuurmodellering bevat; door afwijkingen in de randvoorwaarden kan het model alsnog afwijken van de werkelijkheid. Let wel dat het model hier niet specifiek voor ontwikkeld is en (nog) niet voor gevalideerd.

Het model berekent de watertemperatuur voor het nauwkeuriger berekenen van de dichtheid van water en de daardoor aangedreven dichtheidsstroming. Voor de variatie in temperatuur wordt dezelfde basis gebruikt als voor zout: (1) beweging met het water (advectie) en (2) menging (dispersie). Voor de menging wordt gebruik gemaakt van dezelfde variabelen en zijn er geen aanvullende "stuurparameters" om op te kalibreren. De verwachting is dus dat, mits de randvoorwaarden correct worden opgelegd, het model net als voor zouttransport geschikt is voor temperatuurmodellering. In [Van der Kaaij en Chavarrias \(2020\)](#) staat hierover het volgende: "De reden van opname van temperatuur in de modelschematisatie is dat in de toekomst het 3D RMM model wellicht ook ingezet gaat worden om de effecten van thermische lozingen, de verspreiding van warm of koud geloosd water van bijvoorbeeld energiecentrales of chemische industrie te bepalen (Van der Kaaij, et al., 2017). Gegeven deze (neven-)doelstelling van het model wordt aanbevolen om tijdens de kalibratie van het model, voorzien voor 2021, ook gemeten watertemperaturen te vergelijken met berekende watertemperaturen." In het vervolg van deze studie waarbij het model gekalibreerd is, is het volgende beschreven over watertemperatuur ([Van der Kaaij et al., 2022](#)): "Merk op dat het model ook watertemperatuur berekent, met op dit moment een constante waarde (9 °C) als randvoorwaarde op de rivierranden en lateralen, profielen op de zeerand en geen uitwisseling met de atmosfeer. Dit is momenteel onvoldoende voor onderzoek naar temperatuur en het nauwkeurig meenemen van de invloed daarvan op stroming, maar is gedaan in voorbereiding op eventuele latere toepassing van het model voor onderzoek naar verspreiding van warmwaterlozingen. In dit rapport wordt verder niet ingegaan op temperatuur." Voor waterkwaliteitsvraagstukken in de haven wordt nu overwogen om het model in te zetten.

2.3 Toepassingsbereik

2.3.1 Fysica

RMM-3D wordt qua fysica gezien als een goede representatie van de werkelijkheid. Het fysische toepassingsbereik was op enkele specifieke locaties beperkt maar dit is recent verbeterd. Voor het Haringvliet wordt sterk aanbevolen een apart, gedetailleerder model (D-HYDRO Haringvliet, [Tiessen *et al.* \(2023\)](#)) te gebruiken. Voor de Hollandsche IJssel is het model, na doorvoeren van de correctie, wél geschikt. Voor het Spui is echter nog enig aanvullend onderzoek nodig, maar aangezien het RMD model de verzilting op het Spui correct weet te reproduceren (zie 4) is de verwachting dat dit, na aanpassing van het model, ook voor RMM-3D zal gelden. In Bijlage A staan de volgende toepassingen waarvoor het model door RWS is vrijgegeven:

- 1 Beleidsondersteuning en verkenning: effectbepaling van voorgenomen ingrepen in het systeem (natuurontwikkeling, in- of ontpoldering, havenuitbreidingen ver(on)diepingen) op waterstanden, stroomsnelheden, zoutgehalten en waterverdeling.
- 2 Beleidsondersteuning en verkenning: scenariostudies naar de gevolgen van lange termijn veranderingen in de forcering van het systeem bij lage rivierafvoeren, bijvoorbeeld als gevolg van klimaatverandering.

Ook kan het model gebruikt worden om lange termijn veranderingen in de forcering van het systeem bij zeespiegelstijging te onderzoeken.

2.3.2 Praktisch

RMM-3D is een groot, zwaar model waarvoor veel rekencapaciteit (cores) nodig is. Dit is vanuit praktisch oogpunt de belangrijkste toepassingsbeperking. Om een idee te geven van de rekenbehoefte van RMM-3D: op een supercomputer met 768 cores (Snellius bij SURFsara) duurt het 5 dagen om een simulatie van 7 maanden te draaien. Simulaties vragen veel onafgebroken capaciteit van de gebruikte rekenomgeving, wat niet altijd gegarandeerd is. Dit geldt voor zowel omgevingen die in eigen beheer zijn (bijv. h7 binnen Deltares) als externe (commerciële) omgevingen (bijv. SURFsara, Google, Amazon, enz.), maar externe rekenomgevingen zijn in de praktijk lastiger te gebruiken door afhankelijkheid van updates e.d. Het RMM-3D model is daarom het meest geschikt voor inzet bij projecten waarbij:

- 1 de tijdsdruk niet te hoog is;
- 2 voldoende rekencapaciteit ter beschikking staat;
- 3 de rekeninfrastructuur in eigen beheer is, of er duidelijke afspraken zijn over eventuele aanpassingen in de (externe/commerciële) rekenomgeving.

Voor klimaatstudies, waarbij langjarige reeksen moeten worden doorgerekend om de verziltingsstatistiek te verkrijgen, is het 3D model in principe niet geschikt. Echter, deze statistiek kan ook verkregen worden door met een beperkte set aan 3D berekeningen relaties tussen afvoer, chloride (en windopzet) af te leiden en deze vervolgens aan de langjarige afvoerstatistiek te koppelen. Deze methode is recent in meerdere studies toegepast ([Laan *et al.*, 2023](#); [Huisman *et al.*, 2024](#)) en wordt momenteel toegepast voor KP-ZSS en de knelpuntenanalyse. Tevens is RMM-3D moeilijk toepasbaar voor spoedadviezen en operationeel waterbeheer, waar snelle simulaties onmisbaar zijn om meerdere variaties te kunnen doorrekenen.

2.4 Aanbevelingen

Qua fysica zijn er geen sterke conceptuele beperkingen in RMM-3D en het is te verwachten dat huidige afwijkingen veelal op te lossen zijn met een andere parametrisering. Echter wordt het toepassingsbereik voornamelijk gelimiteerd door de rekenmatige zwaarte van het model. Binnen het SALTISolutions onderzoeksprogramma (WP9.2, zie 4) wordt hierom gewerkt aan het lichter maken van het model. Een resultaat hiervan is het veelbelovende Rhine-Meuse Delta (RMD) model: met enkele aanpassingen aan de schematisatie lijkt het mogelijk te zijn om een grovere horizontale resolutie te hanteren met behoud van de model 'performance'. Desondanks moet er nog (verder) worden onderzocht of met dit detailniveau kan worden volstaan voor de kerntaken van Rijkswaterstaat, waarvoor vooralsnog een slag om de arm wordt gehouden.

Daarnaast zijn een aantal (kleinere) verbeterpunten geïdentificeerd die nog moeten worden opgepakt ofwel nog moeten worden doorgevoerd in de officiële uitgave:

- 1 De algemene onderschatting van chlorideconcentraties rivierwaarts in het systeem verbeteren door meer onttrekkingen toe te voegen (2.2.2).
- 2 De zoutindringing in het Spui verbeteren door assimilatie van waterstanden (2.2.2).
- 3 Doorvoeren van de aanpassing in de modelschematisatie die de fout in de lozingen en onttrekkingen op de Hollandsche IJssel oplost (2.2.2).
- 4 Validatie van de watertemperatuur-modellering (nog niet opgepakt voor RMM-3D (2.2.3) maar wel voor SOBEK3 RMM (3.2.3)).

Kansrijke oplossingen voor punten 1 en 2 zijn al opgepakt binnen ontwikkeling van het RMD model (4). Dit model zou ook door zijn snelheid mogelijk gebruikt kunnen worden om bepaalde parameters (van momentum, diffusiviteit (eddy viscositeit), enz.) te toetsen (Groenewege, 2024).

3 SOBEK 1D-model

3.1 Beschrijving model

SOBEK3 RMM (`sobek-rmm-vzm-j15_5-v4`) is een vijfde-generatie, ééndimensionale modelschematisatie die primair is ontwikkeld voor modellering van waterstanden (hoogwaterveiligheid). De rekenpunten liggen ongeveer 500 m van elkaar, en bij kunstwerken liggen er extra rekenpunten 10 m aan iedere zijde van het kunstwerk. Om het effect van diverse zoutverspreidingsprocessen (zoals gelaagdheid) te modelleren is er ook een dispersieformulering ingebouwd, welke gevalideerd is aan de hand van schaalmodelproeven (Huismans *et al.*, 2016). Voor de Rijn-Maasmonding is nog niet bevestigd dat de formulering voldoende geschikt is om een breed bereik aan condities goed te modelleren.

Saliniteit draait mee in de stromingsvergelijkingen om de waterstanden goed te reproduceren, maar het correct reproduceren van saliniteit is niet het primaire doel van het model. Ook het correct modelleren van de afvoerverdeling is geen doel op zichzelf. In de zeegedomineerde RMM is het mogelijk om instantane waterstanden relatief goed te modelleren ondanks eventuele afwijkingen in de getijgemiddelde (rest)afvoerverdeling en zoutgehaltes. De schematisatie en modelkalibratie zijn tot dusver ook vooral gefocust op waterstanden.

In 2018 is het model voor het laatst gekalibreerd (Buschman, 2018). Het model is wat betreft waterstanden voor andere omstandigheden gevalideerd dan RMM-3D: maart 2008, november 2011, januari 2013 en december 2013. Saliniteit is voor dezelfde perioden gevalideerd en ook voor 25 november t/m 7 december 2011. Sinds 2018 is het model twee keer verbeterd. Daarnaast is ten behoeve van operationele inzet voor de Europoortkering een uitgebreide validatie van het model uitgevoerd (echter niet voor zoutmodellering).

Het model wordt voor diverse toepassingen ingezet, zoals het Nationaal Water Model (NWM), knelpuntenanalyse Deltaprogramma Zoetwater, SALTISolutions, BOS Bernisse Brielse Meer (BBM), CIP Oude Maas, Kennisprogramma Zeespiegelstijging (KP ZSS), en spoedadviezen Lek (en Hollandsche IJssel).

3.2 Beschouwing modelvalidatie

3.2.1 Waterstanden en stroming

De waterstanden berekend met het SOBEK3 RMM-model voldoen aan de opgestelde nauwkeurigheidseisen voor alle afzonderlijke perioden en locaties, behalve voor enkele stations in de Waal, Lek en de Maas. De opgestelde nauwkeurigheidseisen zijn een bias van de waterstand kleiner dan 5 cm en een RMSE kleiner dan 7 cm voor alle LMW-peilmeetstations. "Een beperking van de geschiktheid is de overschatting van de getijvariatie in het middengebied en op de zuidrand met ongeveer 0,1 m, waardoor berekende getijvensters en het areaal intergetijdegebied in dit deel van de Rijn-Maasmonding mogelijk minder nauwkeurig zijn" Buschman (2018). Het is bekend dat de getijslag in het Spui hierdoor te hoog ligt en dat dit pas in het Haringvliet dempt.

Het model is gevalideerd op afvoermetingen (Buschman, 2018). Toch bestaat de indruk dat er een afwijking is in de restafvoerverdeling tussen de Oude Maas en Nieuwe Maas. In het model is dit ongeveer 50/50, terwijl vanuit het RMM3D-model kan worden aangenomen dat dit ongeveer 2/3 Oude Maas en 1/3 Nieuwe Maas zou moeten zijn Laan *et al.* (2023, Fig. 3-1). Echter is dit niet te verifiëren met metingen, want deze metingen bestaan niet, en hard bewijs blijft daardoor uit. Het kalibreren / valideren op restafvoerverdeling van andere modellen (2D/3D) is een goede, maar wel nieuwe aanpak wat binnen het zesde-generatie 1D model wordt overwogen. In een zeegeedomineerd systeem zoals de RMM leidt de fout in de restafvoerverdeling tot verwaarloosbaar kleine fouten in de waterstanden, maar het beïnvloedt wel de zoutgehalten. In 3.2.2 wordt verder ingegaan wat dit betekent voor zoutmodellering.

3.2.2 Chlorideconcentraties

Op de meeste locaties worden de zoutindringing ten gevolge van variaties in getij, stormopzet en rivierafvoer vrij goed reproduceerd qua sterkte (vergelijkbaar aan het 3D model), maar niet qua snelheid van de respons (Bijlagen A en B). Vaak is er bij het begin van een zoutindringingsperiode sprake van een onderschatting van de concentraties, en aan het einde van de periode een overschatting van de concentraties. Zout blijft daarbij soms te lang "hangen". Dit heeft o.a. impact op (het modelleren van) overschrijdingsduren van bepaalde zoutgehalten: "De overschrijdingsduur van kritische waarden voor de saliniteit op basis van berekeningen wijkt geregeld meer dan 50% af van deze duur op basis van metingen." (Bijlage B) Dit is mogelijk ook voor RMM-3D het geval, omdat bij overschrijding van bepaalde waarden/criteria (bijv. 150 mg Cl/l) het heel precies komt.

De afwijking in de getijgemiddelde (rest)afvoerverdeling over de Nieuwe Maas en Oude Maas (3.2.1) vormt tevens een probleem voor de modellering van zouttransport. Als in een bepaalde tak de rivierafvoer te hoog is, is de tegendruk tegen zout te hoog en de estuariene circulatie te sterk, wat leidt tot te lage piekconcentraties en een te sterke gelaagdheid. Om hiervoor te compenseren is in de kalibratie de lokale dispersiecoëfficiënt in bepaalde takken aangepast, zodanig dat het zouttransport wél goed gemodelleerd werd. In de Nieuwe Maas (waar de rivierafvoer te hoog is) is de dispersiecoëfficiënt (f_4) verhoogd en in de Oude Maas (waar de rivierafvoer te laag is) is deze verlaagd. De afwijking in advectiegedreven zouttransport wordt dus gecompenseerd door een aanpassing in het dispersiegedreven transport. Dit beperkt de betrouwbaarheid van het model, met name voor projecties buiten het gekalibreerde domein.

Het model is niet betrouwbaar waar 3D-effecten of achterwaartse zoutindringing een grote rol spelen, zoals in het Haringvliet. Dit wordt door Buschman (2018) als volgt omschreven: "Aan de zuidrand geldt dat de mengingsprocessen in het Haringvliet niet goed kunnen worden weergegeven door het model, omdat de diepte en breedte van het Haringvliet relatief groot zijn en de zoutverspreiding bepaald wordt door 3D-processen die niet goed zijn te parametriseren in een 1D-model."

Als laatst kan gesteld worden dat zoutindringing door sluizen een modelmatig probleem is in SOBEK3 (te hoge gradiënt). Ten oosten van de Haringvlietssluzen wordt dit gecompenseerd door de dispersie van zout in het huidige SOBEK3 RMM-model hard naar nul te forceren (door de dispersieparameters over een lengte van 1 km op 0 te zetten). Zoutverspreiding in het Haringvliet ten gevolge van achterwaartse zoutindringing (zie vorige alinea) of het openen van de sluizen, kan daardoor niet goed berekend worden.

3.2.3 Watertemperatuur

Het SOBEK model is in principe niet ontwikkeld voor temperatuurmodellering, maar kan onder bepaalde voorwaarden hier wel voor gebruikt worden. Net als in RMM-3D is temperatuur onderdeel van de stromingsvergelijkingen en is het voornamelijk ten behoeve van de dichtheid van water opgenomen. Daarnaast is in 2022 het Landelijk SOBEK3 model (LSM), waar SOBEK3-RMM onderdeel van is, geverifieerd voor temperatuur (Loos en Boderie, 2022). Hieruit blijkt dat LSM3 de jaarlijkse variatie (amplitude en timing) goed kan reproduceren en daarmee geschikt is voor implementatie in het NWM. Dit wordt recent ook uitgevoerd in de context van de Deltaprogramma Zoetwater Knelpuntenanalyse (DPZW-KA); de modelinvoer hiervoor is beschreven door Janssen *et al.* (2024) en de analyse van de modelresultaten vindt op het moment van schrijven plaats.

3.3 Toepassingsbereik

3.3.1 Fysica

SOBEK kan fysisch een balans berekenen tussen doorspoeling en estuariene circulatie, gegeven de kalibratie voor het huidige watersysteem. Zodra het watersysteem fysisch wordt aangepast, kan niet meer worden vertrouwd op de uitgevoerde kalibratie. Ook bij toepassing buiten het gekalibreerde bereik (zeer hoge of lage rivierafvoeren, sterke zeespiegelstijging) is de voorspelkracht van het model beperkt

Door de afwijkingen in de restafvoerverdeling en de vertraagde respons van zout is het voorspellend vermogen van het huidige model voor situaties buiten het gekalibreerde domein beperkt. Zonder aanpassingen aan het model (met name aanpassen van de restafvoerverdeling) is het model daarom beperkt geschikt voor zoutindringingsstudies. In Bijlage B is dit als volgt omschreven: "er moet voorzichtig omgegaan worden met het gebruik van het model voor overschrijdingsduren of scenariostudies voor zoutindringing". Dit is gebaseerd op aanbevelingen van Buschman (2018): "Voor saliniteit kan het SOBEK3 RMM-model momenteel worden gebruikt om een globaal beeld van zoutverspreiding tijdens een zoutindringingsgebeurtenis te berekenen, maar het model is niet of beperkt geschikt voor uitspraken op basis van de exact berekende saliniteit en overschrijdingsduren." Hoe stellig het advies is, is afhankelijk van de relevante processen en de acceptabele afwijking. Hieronder wordt samengevat voor welke toepassingen het model wel en niet geschikt is.

Het model is geschikt voor:

- Het modelleren van de windopzetpieken bij Bernisse en getijvensters bij Spijkenisse (dit is ook expliciet gevalideerd). Een voorbeeld is de toepassing van SOBEK-RMM voor inlaatvensters bij Spijkenisse en Bernisse (Domhof, 2022), waarbij de grens tussen zoet en zout water (150 mg Cl/L) als criterium geldt. Hierin zit ongeveer 1 uur afwijking/onzekerheid, maar de voorspelling is conservatief waardoor de kans om zout water in te laten geminimaliseerd wordt.
- Verkennende berekeningen naar de kwalitatieve invloed van verandering in afvoer of een andere restafvoerverdeling op de verzilting; bijvoorbeeld studies naar het effect van maatregelen en scenario's waarbij de nadruk ligt op de grofstoffelijke (relatieve) veranderingen.

- Spoedadviezen over zoutindringing tijdens droogte. Een voorbeeld hiervan is het spoedadvies in het droge jaar 2018 voor de benedenrivieren, waarin o.a. gezocht werd naar een geschikt doorspoeldebiet, gegeven een bepaalde zoutconcentratie in de monding en voorspellingen van de rivierafvoer ([Walstra et al., 2018](#)). De kwaliteit van de voorspelling is wel afhankelijk van de locatie in kwestie (zie hieronder).

Voor *alle* vraagstukken waar stratificatie en/of laterale gradiënten relevant zijn en gebieden waar een expliciete oplossing van processen zoals 'tidal trapping' en 'shear dispersion' nodig is, is SOBEK-RMM ongeschikt. Denk aan ingrepen in bodemruwheid, bellenschermen, trapjeslijn, langsdammen, intergetijdegebieden, uitwisseling over kunstwerken, enz. Aanvullend volgen hieronder nog een aantal concrete toepassingen waarvoor het model minder of niet geschikt is.

- Het model is niet geschikt voor het bepalen van een (optimale) timing van doorspoelen in operationeel waterbeheer, waar een grote gevoeligheid zit voor exacte waarden en het doorspoeldebiet vaak neerkomt op slechts enkele kubieke meters per seconde.
- Met alle forceringen buiten het huidige domein moet voorzichtig worden omgegaan, met name veranderingen waarbij de waterdiepte sterk verandert (zeespiegelstijging/ver(on)dieping). Door de afwijking in dispersiecoëfficiënt (vanwege de onjuiste restafvoerverdeling) is de voorspelkracht van de dispersieformulering sterk verminderd.
- De dispersieformulering is niet geschikt voor (half) gesloten systemen. Een voorbeeld is het modelleren van een afsluiting van de Nieuwe Maas met een kering en schutsluizen.
- Het model is niet geschikt voor zoutmodellering op locaties waar 3D-processen dominant zijn. In het Haringvliet en Hollands Diep spelen 3D-effecten een grote rol waar het SOBEK3 RMM-model niet voor is ontwikkeld. Voor het Haringvliet wordt het model van [Tiessen et al. \(2023\)](#) aanbevolen. Voor verzilting van de Bernisse-inlaat langs het Spui kan een windopzetgebeurtenis leiden tot verzilting van de inloop van het Spui bij het Haringvliet, waarna langdurig 'nalevering' kan plaatsvinden. Ook dit proces van 'nalevering' heeft sterk een 3D-karakter, waarvoor SOBEK3 niet toepasbaar wordt geacht.
- Omdat de afwijking in chlorideconcentratie toeneemt in stroomopwaartse/landwaartse richting, is de toepasbaarheid op de Hollandsche IJssel en Lek beperkt. Een mogelijke oplossing voor dergelijke riviertakken is het gebruik van een lokaal model dat is uitgeknipt uit het grotere RMM-1D-model. Als de randvoorwaarden op het lokale model goed worden opgelegd, kan SOBEK3 wél worden gebruikt om de verspreiding van zout in bovenstroomse richting te voorspellen.

3.3.2 Praktisch

Het SOBEK3 RMM-model is ten opzichte van RMM-3D veel sneller, maar van mindere kwaliteit. De rekentijd kan ondanks de beperkingen alsnog een doorslaggevende factor zijn om het model in te zetten, bijvoorbeeld om snel een eerste verkenning te doen van het effect van bepaalde maatregelen (met name verandering in restafvoerverdeling). Of als er veel langjarige (klimaat)scenario's voor zoutindringing moeten worden doorgerekend, zal dit met RMM-3D niet mogelijk zijn, maar wel met SOBEK-RMM. Echter, gezien de beperkte betrouwbaarheid van het effect van zeespiegelstijging op de verzilting, zou het nodig zijn om het model eerst verder te verbeteren. Echter wordt het kansrijker geacht om een oplossing te vinden voor het trage rekenen van RMM-3D. Als alternatief kan ook met een beperkte set aan 3D berekeningen de inzichten worden verkregen (zie 2.3.2).

Een andere toepassingsmogelijkheid in operationeel waterbeheer is om met het SOBEK3 RMM-model waterstanden en debieten uit te rekenen, waarmee vervolgens met 'vuistregels' de kans op zoutindringing kan worden ingeschat.

Tot slot is een praktisch probleem dat een randvoorwaarde voor zout moet worden opgelegd op de zeerand bij Hoek van Holland, maar dat de meetgegevens daarvoor in de praktijk pas jaren later beschikbaar komen.

3.4 Aanbevelingen

Voor SOBEK-RMM zijn er ten opzichte van RMM-3D meer conceptuele bezwaren die het toepassingsbereik beperken. Een één-dimensionaal model is voor sommige processen die belangrijk zijn voor zoutindringing (bijv. nalevering) op zichzelf simpelweg niet toereikend. Echter blijft het een openstaande technische en strategische vraag wat kansrijker is: het verbeteren van de procesbeschrijving zelf (meer fysica) óf de parametrisering ervan. Voor de parametrisering wordt aanbevolen om in te zetten op de implementatie van / koppeling met nieuwe technologieën zoals data-assimilatie, Machine Learning (ML) en Artificial Intelligence (AI). Hiertoe worden een aantal concrete suggesties gedaan door [Groenewege \(2024\)](#). Ook zouden RMM-3D (resultaten) mogelijk gebruikt worden om dit te verfijnen. Als laatst wordt aanbevolen om de onjuiste restafvoerverdeling (50/50 Oude Maas/Nieuwe Maas) te verhelpen; dit wordt gezien als één van de belangrijkste verbeterpunten om nauwkeurigere projecties buiten het gekalibreerde domein te krijgen.

4 Overige modellen

Hier wordt een beknopt overzicht gegeven van overige modellen die gebruikt kunnen worden om zoutindringing in de RMM te modelleren (Tabel 4.1). Let wel dat de meeste hiervan géén formele (model)schematisaties zijn, dus voor wettelijke onderzoekstaken is het gebruik ervan mogelijk beperkt.

Binnen het SALTISolutions onderzoeksprogramma wordt door enkele promovendi gewerkt aan modellen van het RMM-gebied die kansrijk lijken voor modellering van zoutindringing:

- IMSIDE, een breedtegemiddeld (2DV) netwerkmodel dat getijgemiddeld rekent (Biemond *et al.*, 2022, 2023, 2024b,a). Bedoeld voor onderzoek naar invloed van klimaatverandering op complexe delta's met splitsingspunten.
- Rhine-Meuse Delta (RMD), een versimpeld 3D model gebaseerd op het RMM-3D en het Zeedelta model (Gerritsma *et al.*, 2024). Minder zwaar dan RMM-3D en daardoor mogelijk geschikt voor operationele modellering van zoutindringing.
- LSTM, een machine learning model bedoeld voor snel doorrekenen en exploratief onderzoek (Wullems *et al.*, 2023).

Deze modellen zijn nog niet gelijkwaardig met de formele schematisaties. Ze bevinden zich in het wetenschappelijk domein en het intellectueel eigendom ligt bij de desbetreffende promovendus. Dit betekent dat er maar beperkte mogelijkheden zijn tot het gebruik ervan (voor wettelijke onderzoekstaken), maar hun ontwikkeling biedt meerwaarde voor het verbeteren van SOBEK-RMM en RMM-3D. Een aanzet hiertoe wordt gegeven door Groenewege (2024) (in de context van de ontwikkeling van een Rapid Assessment Tool voor de Hollandsche IJssel en Lek). De modellen worden verder beschreven in het SALTISolutions groeidocument Kranenburg *et al.* (2025). In aanvulling hierop wordt aanbevolen om te onderzoeken wat er nodig is om het RMD model te verheffen tot formele schematisatie.

¹Binnenkort (of nu al) in beheer van Rijkswaterstaat.

Tabel 4.1 Overzicht van overige modellen die gebruikt kunnen worden om zoutindringing in de RMM te modelleren

Model	Status	Ontwikkelaar(s)	(Beoogd) toepassingsbereik
D-HYDRO Haringvliet	Formele schematisatie haringvliet-dflowfm3d-v2023	Deltares (Tiessen <i>et al.</i> , 2023)	Onderzoek naar "(1) het effect van spuien door de Haringvlietsluizen op ontzilting van een gedeeltelijk verzilt Haringvliet (doorspoelen) en (2) nalevering van zout uit de verzilte diepe delen van het Haringvliet naar zoete delen van het Haringvliet onder andere als gevolg van wind" (Tiessen <i>et al.</i> , 2023)
Operational navigation support model Rotterdam (OSR)	Geen formele schematisatie. Rekentechnisch een minder zwaar 3D-model dan RMM-3D (doordat het modeldomein kleiner is en de resolutie grover).	Svašek Hydraulics en Havenbedrijf Rotterdam ¹	Haven van Rotterdam: scheepvaartbegeleiding en onderzoek bij de planvorming rond nieuwe ontwikkelingen in de Rotterdamse haven, zoals uitbreidingen van havenbekkens of verdieping van vaargeulen
IMSIDE	Geen formele schematisatie; grotendeels uitontwikkeld. Onderdeel van SALTISolutions (WP5.1), openbaar beschikbaar: https://github.com/nietBouke/IMSIDE	Bouke Biemond (2020-2024)	Identificeren van zoutindringingsmechanismen en snel berekenen van systeemrespons op veranderingen in delta's en estuaria over de hele wereld
Rhine-Meuse Delta (RMD)	Geen formele schematisatie; in ontwikkeling als onderdeel van SALTISolutions (WP9.2)	Avelon Gerritsma	Operationeel voorspellen van zoutindringing in de RMM. 3D-model, maar lagere resolutie dan RMM-3D en daardoor kortere rekentijden
LSTM	Geen formele schematisatie; in ontwikkeling als onderdeel van SALTISolutions (WP9.1)	Bas Wullems	Machine Learning model voor het voorspellen van zoutindringing bij de noordrand van de de RMM

5 Discussie

Hieronder worden enkele richtlijnen gegeven om een modelkeuze te maken.

Wanneer RMM-3D?

- Voor het modelleren van het effect van systeemingrepen die leiden tot een fundamentele verandering van de zoutverspreiding in de RMM.
- Voor condities die buiten het bereik van de kalibratie en validatie van SOBEK3 vallen (met name verandering in waterdiepte).
- Voor locaties waarvoor 3D-processen dominant zijn.
- Voor het berekenen van de verspreiding van warmtepluimen, bij voorkeur na aanvullende kalibratie en validatie van RMM-3D op het modelleren van watertemperatuur.

Wanneer het SOBEK3 RMM-1D model?

- Voor verkennende studies naar de relatieve effecten van veranderingen in het systeem of de randvoorwaarden op het systeem, met uitzondering van (significante) verandering in waterdiepte of het (gedeeltelijk) afsluiten van riviertakken of systemen waar 3D effecten een grote rol spelen.
- Voor studies waarin rekentijd of budget beperkt is, bijvoorbeeld spoedadviezen of operationele toepassingen.
- Voor studies waarvoor langjarige tijdreeksen moeten worden berekend, mits er geen sprake is van (significante) zeespiegelstijging of verandering in waterdiepte. Om het model ook voor deze toepassing geschikt te maken moet het model eerst verbeterd worden.

Wanneer andere modellen?

- Voor het Haringvliet is D-HYDRO Haringvliet (Tiessen *et al.*, 2023) het aanbevolen model.
- Voor losse riviertakken is een lokaal 1D-model of 3D-model bruikbaar, mits goed gekalibreerd en voorzien van goede randvoorwaarden aan beide zijden.
- Mogelijk vormt het RMD model van Avelon Gerritsma uit SALTISolutions in de toekomst een goede compromis tussen rekentijd en nauwkeurigheid.

6 Referenties

- Biemond, B., H. E. de Swart en H. A. Dijkstra, 2023. "Mechanisms of Salt Overspill at Estuarine Network Junctions Explained With an Idealized Model." *Journal of Geophysical Research: Oceans* 128 (3): e2023JC019630. DOI: <https://doi.org/10.1029/2023JC019630>, URL <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2023JC019630>. E2023JC019630 2023JC019630.
- Biemond, B., H. E. de Swart en H. A. Dijkstra, 2024a. "Quantification of Salt Transports Due To Exchange Flow and Tidal Flow in Estuaries." *Journal of Geophysical Research: Oceans* 129 (11): e2024JC021294. DOI: <https://doi.org/10.1029/2024JC021294>, URL <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2024JC021294>. E2024JC021294 2024JC021294.
- Biemond, B., H. E. de Swart, H. A. Dijkstra en M. Díez-Minguito, 2022. "Estuarine Salinity Response to Freshwater Pulses." *Journal of Geophysical Research: Oceans* 127 (11): e2022JC018669. DOI: <https://doi.org/10.1029/2022JC018669>, URL <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2022JC018669>. E2022JC018669 2022JC018669.
- Biemond, B., V. Vuik, P. Lambregts, H. E. de Swart en H. A. Dijkstra, 2024b. "Salt intrusion and effective longitudinal dispersion in man-made canals, a simplified model approach." *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 298: 108654. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2024.108654>, ISSN 0272-7714, URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272771424000416>.
- Buschman, F., 2018. *Aanpassing, herkalibratie en verificatie SOBEK 3 model van de Rijn-Maasmonding: Waterstand, afvoer en saliniteit*. Tech. Rapp. 11202220-006-ZWS-0012, Deltares, the Netherlands.
- Domhof, B., 2022. *BOS Bernisse Brielse Meer Gebruikershandleiding*. Tech. Rapp. 11207037-000-ZWS-0011, Deltares, the Netherlands.
- Gerritsma, A., M. Verlaan, M. Geraeds, J. Pietrzak en Y. Huismans, 2024. "The effects of a storm surge event on salt intrusion: Insights from the Rhine-Meuse Delta." *JGR: Oceans* DOI: <https://doi.org/10.22541/essoar.172227433.30014198/v1>.
- Groenewege, R., 2024. *Rapid Assessment Tool zoutindringing Hollandse IJssel en Lek: samenvatting van overleggen*. Memo, Deltares, the Netherlands.
- Huismans, Y., F. Buschman, C. Wesselius, J. Daniels en K. Kuijper, 2016. *Modelleren van zoutverspreiding met SOBEK 3 en SOBEK-RE*. Tech. Rapp. 1230077-003-ZWS-0003, Deltares, the Netherlands.
- Huismans, Y., L. Leummens, S. Rodrigo, S. Laan, W. Kranenburg en R. van der Wijk, 2024. *Extra debiet over stuw Hagestein voor het tegengaan van verzilting van de Lek*. Tech. Rapp. 11210363-001-ZKS-0001, Deltares, the Netherlands.
- HydroLogic, 2021. *Rijn-Maasmonding: Slim Watermanagement Redeneerlijn Watertekort, versie 2.0*. Tech. rapp., HydroLogic.

- Janssen, G., I. America-van den Heuvel, R. Meeusen, C. Van Strien, E. Mes, G. Prinsen, I. Marth, O. Weiler en A. Bijlsma, 2024. *Vertaling van de Deltascenario's 2024 naar invoer voor het Nationaal Water Model*. Tech. Rapp. 11209219-018-ZKS-0001, Deltares, the Netherlands.
- Kaaij, T. van der, V. Chavarrias en W. Kranenburg, 2022. *RMM 3D, een nieuw 3D model van de RijnMaasMonding in D-HYDRO: Vergelijking met zout- en debietmetingen najaar 2018*. Tech. rapp., Deltares, the Netherlands.
- Kaaij, T. van der en V. Chavarrias, 2020. *D-HYDRO RijnMaasMonding 3D; Zoutindringing in de Nieuwe Waterweg; Werkzaamheden 2020*. Tech. rapp., Deltares, Delft, the Netherlands.
- Kranenburg, W., R. van der Wijk, V. Vuik, R. Groenewege en Y. Huismans, 2025. *Groeidocument SALTISolutions: Lessons Learned*. rapport deltares, concept, Deltares, the Netherlands.
- Kranenburg, W. M., 2015. *Evaluatie van het OSR-model voor zoutindringing in de Rijn-Maasmondig (I)*. Tech. Rep. 1209459, Deltares, Delft, the Netherlands.
- Laan, S., Y. Huismans, S. Rodrigo, L. Leummens en W. Kranenburg, 2023. *Effect bodemligging op verzilting Nieuwe Waterweg, Nieuwe Maas en Lek ten behoeve van de Basisrivierbodemligging (BRL)*. Tech. Rapp. 11208075-010-ZWS-0001, Deltares, the Netherlands.
- Loos, S. en P. Boderie, 2022. *KPP 2022 - verificatie van LSM3 voor temperatuur*. Tech. Rapp. 11208053-010-ZWS-0005, Deltares, the Netherlands.
- Tiessen, M., W. Kranenburg, T. van der Kaaij en L. van der Heijden, 2023. *D-HYDRO Haringvliet: Modelontwikkeling en toetsing ter ondersteuning van het Lerend Implementeren onderzoek voor het Kierbesluit*. Tech. Rapp. 11208051-004-ZKS-0002, Deltares, the Netherlands.
- Veenstra, J., A. Becker, T. van der Kaaij, T. Visser en R. van der Wijk, 2022. *Ontwikkeling zesde-generatie Rijn-Maasmondig-model: modelbouw, kalibratie en validatie 2D model*. Tech. Rapp. 11208053-004-ZWS-0003, Deltares, the Netherlands.
- Walstra, D., M. Tiessen, C. Wesselius, J. De Jong en F. Buschman, 2018. *Spoedadvies Ontwikkeling Zoutgehaltes*. Memo 11203128-004-GEO-0001, Deltares, the Netherlands.
- Wullems, B. J. M., C. C. Brauer, F. Baart en A. H. Weerts, 2023. "Forecasting estuarine salt intrusion in the Rhine–Meuse delta using an LSTM model." *Hydrology and Earth System Sciences* 27 (20): 3823–3850. DOI: 10.5194/hess-27-3823-2023, URL <https://hess.copernicus.org/articles/27/3823/2023/>.

A Factsheet RMM-3D

D-Flow FM 3D RijnMaasMonding



Modellschematisaties zijn, numerieke wiskundige modellen van het watersysteem. Voor de uitvoering van haar kerntaken rondom de Nederlandse hoofdwatersystemen gebruikt en ontwikkelt Rijkswaterstaat modellschematisaties.

De ontwikkeling van de nieuwe, zesde-generatie, modellschematisaties van de door Rijkswaterstaat beheerde watersystemen resulteert in een set schematisaties voor alle Rijkswateren en een aantal aangrenzende gebieden

De modellschematisaties van deze watersystemen sluiten naadloos op elkaar aan. Daarmee wordt het mogelijk om op termijn één model voor het gehele hoofdwatersysteem te ontwikkelen.

De modellschematisaties zijn gebaseerd op de D-HYDRO Suite software, waarmee Rijkswaterstaat haar modellen op de laatste stand van de techniek baseert.

Contactgegevens:

Voor vragen n.a.v. deze publicatie kunt u terecht op de Helpdesk Water:
<https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/applicaties-modellen/modellschematisaties>



Leeswijzer

Deze factsheet geeft een kort en bondig overzicht van de modellschematisatie(s) (modelinvoer) en de bijbehorende gebiedsschematisatie(s) voor het betreffende watersysteem. De factsheet start met informatie voor een bredere groep van geïnteresseerden waarin een algemene introductie over modelgebruik binnen RWS, het gemodelleerde gebied, de toepassingen waarvoor het model ontwikkeld is en de geografische brongegevens beschreven worden. Vervolgens wordt, met name gericht op modelleers, in meer detail ingegaan op de beschikbare modellen en de onderliggende uitgangspunten en modelleerkeuzes. Voor nadere details wordt verwezen naar de modelrapportage(s).

De factsheets zijn conform een template opgezet. Dit met als doel dat de lezer eenvoudig zijn weg kan vinden in de model- en gebiedsbeschrijvingen (of modellschematisaties) voor de verschillende watersystemen en deze onderling ook kan vergelijken.

Introductie

Rijkswaterstaat maakt ten behoeve van haar kerntaken gebruik van verschillende modellschematisaties van de rijkswateren en het hoofdwatersysteem. Deze modellschematisaties worden door RWS ingezet toepassing bij het opstellen van operationele verwachtingen, vergunningverlening, planstudies en het Beoordelings- en Ontwerpinstrumentarium. Afhankelijk van het type

modelschematisatie, kunnen deze worden gebruikt voor het berekenen van waterbeweging (waterstanden en stroming), golven, morfologie, waterkwaliteit en ecologie.

In deze factsheet wordt een beschrijving gegeven van het driedimensionale (3D) hydrodynamische model van de RijnMaasMonding (RMM) binnen de D-HYDRO Suite. Deze modelschematisatie is onderdeel van de zesde-generatie modellen.

Geografische ligging

Het RMM-gebied vormt het overgangsgebied tussen de benedenlopen van de rivieren Rijn en Maas en de Noordzee. Het gebied wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van een groot aantal vertakkingen van rivieren en waterwegen en verschillende keringen. Het gebied ontvangt rivierwater van de Rijn te Hagestein (Lek) en Tiel (de Waal) en van de Maas te Lith (Bergsche Maas). Uiteindelijk wordt het water door de Nieuwe Waterweg, Hartel- en Beerkanaal, en de Haringvlietsluizen, naar de Noordzee afgevoerd. Naast het rivierengebied omvat het rekenmodel ook een deel van de Nederlandse kuststrook en het Volkerak-Zoommeer (VZM). Dat laatste vanwege consistentie met de 2D modelschematisatie van het RMM-gebied waarin het VZM is opgenomen om noodberging in het VZM te kunnen simuleren. Maar in het 3D model kan het VZM ook uitgesloten worden van de berekening om de rekentijd te beperken.

Het gebied wordt weergegeven in het Rijks-Driehoeks coördinatenstelsel en het verticale referentievlak is ten opzichte van Normaal Amsterdams Peil (NAP).

Toepassingen

Met de 3D D-Flow FM modelschematisatie van het RMM-gebied kunnen waterstanden, stroomsnelheden en zoutgehalten worden berekend. Met het oog op toepassingen rondom zoutindringing, is het model gevalideerd voor situaties met lage rivierafvoeren. Voor het nauwkeurig berekenen van waterstanden in het gebied zijn 3D berekeningen niet perse noodzakelijk en kan volstaan worden met 2D berekeningen. De meerwaarde van het 3D D-Flow FM model, ten opzichte van het 2D D-Flow FM model, is het kunnen berekenen van de variatie van zoutgehalten en stroomsnelheden over de diepte, zaken die bepalend zijn voor zoutindringing.

Voor een uitgebreide beschrijving van het model wordt verwezen naar (Kaaij & Chavarrias, 2020) en (Kaaij, Chavarrias & Kranenburg, 2022).

Deze modelschematisatie is ontwikkeld voor onderstaande toepassingen:

1. Onderzoek naar effecten van waterloopkundige aanpassingen in het beheergebied
2. Simulatie van water- en zoutbeweging onder verschillende hydrologische omstandigheden (de geschiktheid van het model voor deze toepassing is getoetst voor lage rivierafvoeren, niet voor middelhoge en hoge afvoeren).
3. Begeleiding van scheepvaart van en naar het Rotterdamse Havengebied (de geschiktheid van het model voor deze toepassing is nog niet getoetst).

Deze modelschematisatie is niet ontwikkeld voor onderstaande toepassingen en er wordt zodoende een voorbehoud gemaakt ten aanzien van de inzet van de modelschematisatie voor het volgende:

1. Morfologische studies (waarin o.a. de bodemligging dynamisch varieert),
2. Inundatieberekeningen en extreme (WBI/BOI) condities met betrekking tot stormopzet op zee en/of rivierafvoer.
3. Operationeel waterbeheer van sluizen en stuwen
4. Temperatuurmodellering / koelwaterlozingen.

RWS heeft daarom, rekening houdend met het bovenstaande, deze modelschematisatie (dflowfm3d-rmm-j19_nw18_6-v2a) vrijgegeven voor gebruik binnen de volgende kerntaken bij Rijkswaterstaat:

1. Beleidsondersteuning en verkenning: effectbepaling van voorgenomen ingrepen in het systeem (natuurontwikkeling, in- of ontpoldering, havenuitbreidingen ver(on)diepingen) op waterstanden, stroomsnelheden, zoutgehalten en waterverdeling.

Versie <2023-v1>

2. Beleidsondersteuning en verkenning: scenariostudies naar de gevolgen van lange termijn veranderingen in de forcering van het systeem bij lage rivierafvoeren, bijvoorbeeld als gevolg van klimaatverandering.

Merk op dat de vrijgegeven modelschematisatie (dflowfm3d-rmm-j19_nw18_6-v2a) vanwege de toetsing een bodembeschrijving omvat die past bij de situatie halverwege de uitvoering van de verdieping van de Nieuwe Waterweg in 2018/2019. Deze modelschematisatie kan dienen als uitgangspunt voor toekomstige 3D-schematisaties voor dit gebied. Daarbij wordt aanbevolen de modelbathymetrie te updaten met de op dat moment meest recente bodeminformatie uit Baseline.

Geografische brongegevens

De onderliggende geografische gegevens voor de modelschematisaties van Rijkswaterstaat zijn verzameld in de bijbehorende Baseline-NL databases. Baseline is een speciale ArcGIS database voor hydrodynamische modelontwikkeling bij Rijkswaterstaat. Zie hiervoor de aparte factsheet van Baseline NL (Rijkswaterstaat & Deltares, 2021). Er zijn diverse data bronnen gebruikt om deze database te vullen en er is gewerkt conform de Dienstspecificaties Invoer Baseline. De belangrijkste bron voor de boven water liggende gegevens is het Digitaal Topografisch Bestand (DTB) van RWS-CIV. Voor de onderwatergegevens wordt gebruik gemaakt van lodingen van de Meetdienst van RWS-CIV. De aanwezige vegetatie in het gebied wordt met de ecotopenkaart van RWS-CIV beschreven.

De geografische gegevens in Baseline worden via een automatische procedure geprojecteerd op het rekenrooster van de modelschematisatie. Dit betreft de bodemligging, locaties van uitvoerpunten, lateralen, kunstwerken en debietraaien, lijnelementen, ecotopenkartering en begrenzingen.

Rekenrooster

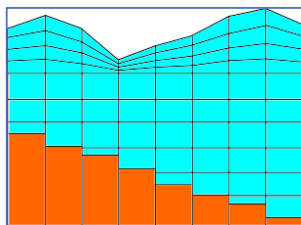
Horizontaal:

Het ongestructureerde rekenrooster is op de hoofdvaarwegen en in het zomerbed zoveel als mogelijk curvilineair (met vierhoekige rekencellen). Het winterbed en de havens worden met driehoekige roostercellen weergegeven. Het rekenrooster sluit naadloos aan op de rekenroosters van naburige modelschematisaties.

Het rekenrooster bestaat in totaal uit 781.706 cellen en 1.412.157 flow links. Het rekennetwerk heeft de naam "rmm_vzm_v1p1_net.nc".

Verticaal:

Voor het weergeven van de 3^e dimensie, de verticaal, wordt de lokale waterdiepte verdeeld in rekenlagen. Voor deze verdeling wordt gebruik gemaakt van een combinatie van vaste (z-) lagen in het onderste deel van de waterkolom en variabele (sigma-) lagen nabij het oppervlak. Beneden de -6 m NAP worden vaste lagen elk met een dikte van 1 m gebruikt. Boven de -6 m NAP worden 8 sigma lagen gebruikt. Deze manier van schematiseren bleek essentieel om de in de Nieuw Waterweg optredende stratificatie goed weer te geven.



Figuur 1. Schematische weergave van z-sigma laagverdeling

Schematisatie-elementen

Schematisatie-elementen zijn elementen die op een vaste positie in het gebied liggen en waarvan de ligging tijdens de berekeningen niet wijzigt. In de D-HYDRO-schematisatie zijn de volgende schematisatie-elementen meegenomen:

Versie <2023-v1>

Bodemhoogte

De bodemhoogte is geprikt uit het bodemhoogtemodel van Baseline op de hoekpunten van de roostercellen. De hoogte op de flow links (gebruikt voor doorstroomoppervlak) is het gemiddelde van de aangrenzende hoekpunten. De hoogte op de waterstandspunten (gebruikt voor de volume berekening) is het minimum van de aangrenzende flow links.

Droge punten, dunne dammen en overlaten

In het model zijn vele tienduizenden overlaten aanwezig voor de schematisatie van steile gradiënten in de bodem. Deze worden automatisch uit de Baseline-schematisatie afgeleid.

Landgebruik en bodemruwheid

- De aanwezige vegetatie in het gebied wordt met de ecotopenkaarten van RWS-CIV beschreven. Deze zijn opgenomen in de Baseline-schematisatie.
- De basisruwheid is, gedurende de 2D kalibratie van het model (op waterstanden), aangepast middels kalibratiefactoren – zie Veenstra 2021. Deze gekalibreerde ruwheden zijn overgenomen in de 3D modelschematisatie.

Kunstwerken

In het RMM-modelgebied zijn een zestal kunstwerken aanwezig:

- De Maeslantkering (Nieuwe Waterweg),
- De Hartelkering (Hartelkanaal),
- De Haringvlietsluizen (Haringvliet),
- De Hollandsche IJsselkering (Hollandsche IJssel), en de,
- Stormvloedkering Kromme Nol (Heusdensch Kanaal),
- De Volkerak(spui)sluizen (Volkerak).

In het licht van de beoogde toepassing is alleen het Haringvlietsluizencomplex relevant. Maeslant- en Hartelkering zijn niet in de 3D D-Flow FM modelschematisatie opgenomen als kering, maar de drempels van deze kunstwerken zijn wel in de bodemligging in het model verwerkt als drempel.

Brugpijlers

- Energieverliezen door brugpijlers worden weergegeven met een lokaal verhoogde weerstand. In het gebied bevinden zich meer dan 40 bruggen, zie Veenstra 2021.

Hoogwatervrije gebieden

- Het model bevat geen hoogwatervrije gebieden.

Modelgrenzen

De gesloten modelranden worden gevormd door bandijken.

Modelkarakteristieken

Open randen

Het model wordt aangestuurd:

- Op open zee. Ter plaatse van de zogenoemde pli-randvoorwaardenpunten op de zeeranden moeten tijdreeksen van waterstanden en tijdreeksen van saliniteitsprofielen worden gespecificeerd. Deze tijdreeksen kunnen worden gegenereerd met het 3D-DCSM FM model (Zijl, Laan, & Groeneboom, 2020). Vanwege verschillende referentieniveaus was het nodig om het gemiddelde zeeniveau uit de het 3D-DCSM FM model met 5 cm te corrigeren, zie (Kaaij, Chavarrias & Kranenburg, 2022).
- Ter plaatse van instromende rivieren, Hagestein (Rijn), Tiel (Rijn) en Lith (Maas), is per rivier een tijdreeks debiet met een daarbij behorend zoutgehalte gespecificeerd. Deze informatie is afkomstig uit DONAR-database van RWS.

Lozingen en onttrekkingen

- Lozingen en onttrekkingen zijn overgenomen uit SOBEK3 jaarsom voor 2018 (Deijl & Wijk, 2019). Voor de Hollandsche IJssel betreft dit alleen een lozing/onttrekking te Gouda. Vanwege de beoogde toepassing van

Versie <2023-v1>

het 3D model voor zoutindringing op de Hollandse IJssel, is daar de lozings-/onttrekkingsinformatie uitgebreid met de lozings en onttrekkingen op de Hollandsche IJssel. Het betreft hier voornamelijk uitslagen van de poldergemalen, zoals verzameld/toegeleverd in/voor (Wijk, Kaaij, & Kranenburg, 2019). Deze informatie is afkomstig van de waterschappen (via RWS). Voor de saliniteit van de lozing te Gouda en voor de overige gemalen uitslaand op de Hollandsche IJssel is in de modelvalidatie 0,2 PSU aangenomen.

Randvoorwaarden

Meteo

- Het effect van wind en (varierende) luchtdruk wordt in het 3D D-Flow FM model meegenomen. Windsnelheid, -richting en luchtdruk zijn voor 2011 en 2018 afkomstig uit het Hirlam model van het KNMI (v7.2). Dit meteorologische model heeft een ruimtelijke resolutie van ongeveer 11 km bij 11 km en een tijdsresolutie van 1 uur. Voor de vertaling van de windsnelheid naar een windschuifspanning aan het wateroppervlak wordt gebruik gemaakt van de zogenaamde Charnock formulering – dit is overeenkomstig met DCSM-FM 0.5nm model en consistent met het meteorologisch model. (Bij gebruik van tijdreeksen van windsnelheid en -richting in plaats van Hirlam-velden, is het van belang om de winddragcoëfficiënten aan te passen).

Zout en temperatuur

- Een belangrijke beoogde toepassing van het model is het voorspellen van zoutgehalten en zoutindringing in het RMM-gebied. Zout wordt dan ook meegenomen in de berekeningen.
- Het model berekent ook de watertemperatuur, dit in voorbereiding op eventuele toekomstige toepassing van het model voor onderzoek naar verspreiding van warmwaterlozingen. Maar op dit moment gebeurt dit in het 3D D-Flow FM model zonder warmteuitwisseling met de atmosfeer en met constante waarden als randvoorwaarden op de rivierranden en lateralen, en is er ook niet getoetst op temperatuurrepresentatie.
- De invloed van zout en temperatuur op de dichtheid van water wordt meegenomen in het model.

Kunstwerken (sturing)

- De Maeslantkering en Hartelkering zijn niet als kering (*zijnde in D-HYDRO Suite een “general structure”*) in de 3D modelschematisatie opgenomen.
- De 17 schuiven van de Haringvlietsluizen zijn als kering (*“general structure”*) in de modelschematisatie opgenomen en moeten worden aangestuurd met tijdreeksen van de schuifhoogtes. De hefhoogtes van de Haringvlietsluizen zijn identiek aan de hefhoogtes zoals gebruikt in de SOBEK3 jaarsom voor 2018 (Deijl & Wijk, 2019). In deze simulatieperiode van de validatieberekeningen zijn, als gevolg van de relatief lage afvoer van de Bovenrijn, de Haringvlietsluizen grotendeels gesloten.
- De Hollandsche IJsselkering, de Kromme Nol en de Volkerak Spuisluizen zijn als kering (*“general structure”*) in de modelschematisatie opgenomen, maar hoeven niet te worden aangestuurd.

Overige fysica

- Niet van toepassing.

Numerieke instellingen

- Er is gebruik gemaakt van de instellingen zoals vastgesteld in generieke specificaties (Minns et al., 2020). Voor de windinstellingen is hiervan afgeweken – zie hiervoor onder het kopje Meteo.

Kalibratie

Methodiek

Er is niet gekalibreerd in de zin dat specifieke modelparameters of de bodemwrijving zijn aangepast.

Resultaten

Niet van toepassing

Validatie

Methodiek

Versie <2023-v1>

Voor drie perioden zijn modelresultaten voor waterstanden, debieten bij splitsingspunten en zoutgehalten vergeleken met gemeten waarden.

De toetsingsperioden zijn:

- December 2011 (Kaaij & Chavarrias, 2020),
- Mei 2011 (Kaaij & Chavarrias, 2020), en,
- Najaar 2018 (Kaaij, Chavarrias & Kranenburg, 2022).

Resultaten

Voor het najaar 2018 worden de resultaten voor zoutreproductie ter plaatse van vaste RWS meetlocaties in onderstaande tabel gegeven.

Analyseperiode: 20-Jul-2018 - 08-Nov-2018					
	Meetdiepte [m]	Bias [PSU]	STD [PSU]	RMS [PSU]	R(ho) [-]
Hoek van Holland	z = -2.50[m]				
	z = -4.50[m]				
	z = -9.00[m]	0.49	2.14	2.20	0.89
Lekhaven	z = -2.50[m]	-1.65	0.98	1.92	0.84
	z = -5.00[m]	-1.88	0.93	2.10	0.87
	z = -7.00[m]	-1.25	1.13	1.68	0.86
Brienoordbrug	z = -2.50[m]	-0.35	0.65	0.74	0.91
	z = -6.50[m]	-0.39	0.84	0.92	0.90
Krimpen aan de IJssel	z = -4.00[m]	-0.22	0.31	0.39	0.92
	z = -5.50[m]	-0.25	0.43	0.50	0.87
Kinderdijk aan de Lek	z = -5.00[m]	-0.04	0.17	0.18	0.96
Spijkenisserbrug	z = -2.50[m]	-1.70	1.73	2.43	0.96
	z = -4.50[m]	-1.20	1.47	1.89	0.96
	z = -9.00[m]	1.17	1.72	2.08	0.95
Beerenplaat	z = -2.00[m]	-0.19	0.98	0.99	0.88
Bernisse/Zuidland	z = -3.00[m]	-0.04	0.27	0.27	0.88
Gemiddeld		-0.54	0.98	1.31	0.90

Nauwkeurigheid, toepasbaarheid en modelonzekerheid

Het model is getoetst op reproductie van waterstanden, debieten en saliniteit. Dit is gedaan voor condities met lage rivierafvoeren omdat die voor het optreden van zoutindringing in het RMM-gebied het meest relevant zijn. Het model is niet apart getoetst voor middelhoge en hoge afvoeren (dat wil zeggen condities waarvoor de Haringvlietsluizen gedeeltelijk of geheel open staan).

Voor de condities met lage afvoeren is het gemiddelde verschil tussen de gemeten en berekende waterstand (bias) voor de meeste meetpunten slechts enkele centimeters, en de RMSE rond de 6 centimeter. De debietverdeling op splitsingspunten werd bijzonder goed gereproduceerd. Wat betreft saliniteit geldt dat voor wat in (Kaaij, Chavarrias & Kranenburg, 2022) "directe verzilting" wordt genoemd, zijnde zoutindringing als gevolg van instantane reactie op verandering in forcering (getij, stormopzet, rivierafvoer), de reproductie van de saliniteit goed is. Gemiddelde en uitwijking van de saliniteit in de Nieuwe Waterweg, Nieuwe Maas en Oude Maas onder sterke invloed van de getijbeweging wordt goed gereproduceerd. "Indirecte zoutindringing", het geleidelijk oprukken van zout in het meer oostelijke deel van de Hollandsche IJssel bij verzilting van de monding, wordt nog niet door het model gereproduceerd. Bij de modeltoepassing moet rekening gehouden worden met bovenstaande. Het model is niet voor temperatuur getoetst en gebruik hiervoor wordt daarom afgeraden.

Modelgebruik

Wat mag er wel of niet worden gewijzigd in de modelschematisatie:

- *Gebiedsinformatie*: Aanpassing aan gebiedsinformatie in principe enkel en alleen aanpassen in de gebiedsschematisatie via Baseline m.b.v. maatregelen en dan een projectie naar invoer voor de

Versie <2023-v1>

modelschematisatie (Rijkswaterstaat, 2021b). Voor snelle tests naar mogelijke impact van een aanpassing kan dit ook rechtstreeks via de D-HYDRO GUI.

- *Rooster*: bij officieel gebruik van de modelschematisatie mogen er geen veranderingen aan het rooster worden gedaan. Dit is wel toegestaan in het kader van onderzoeksvragen.
- *Randvoorwaarden*: deze kunnen (en moeten) worden aangepast naar de gewenste situatie (dit geldt o.a. voor open randen, lateralen en meteo-informatie). Hiervoor zijn een aantal standaard randvoorwaarden sets beschikbaar bij het model. *Randvoorwaarden afkomstig van derden (o.a. KNMI, ECMWF) kunnen niet zondermeer worden uitgeleverd.*
- *Uitvoerlocaties*: er kunnen indien gewenst uitvoerlocaties (afvoerradien en/of uitvoerpunten) worden toegevoegd. Ten alle tijden dienen de reeds aanwezige uitvoerlocaties, die nodig zijn voor de correcte werking van het model, behouden te blijven (m.n. voor sturing kunstwerken en afvoerradien voor werking kalibratiefactoren).
- *Numerieke instellingen*: bij officieel gebruik van de modelschematisatie mogen er geen veranderingen aan de numerieke instellingen worden gedaan. Dit is wel toegestaan in het kader van onderzoeksvragen.

Te verwachten rekestijden

De meest recente validatiesimulaties voor deze 3D modelschematisatie zijn uitgevoerd op de supercomputer Snellius bij het rekencentrum SURFsara. Er werd daarbij ook gekeken naar de schaalbaarheid van D-HYDRO Suite Software. Daarbij was, gebruikmakend van 768 cores, de doorlooptijd van één enkele berekening voor orde 7 maanden 5 dagen.

Koppelingen en relaties met andere modellen

Het rekenrooster van het 3D RMM-model omvat ook het Volkerak-Zoommeer, dus dat kan in simulaties worden meegenomen. Maar ook wanneer het Volkerak-Zoommeer van de simulatie is uitgesloten, sluit het rooster aan op het rooster van het D-Flow FM-model van het Volkerak-Zoommeer, waardoor koppeling mogelijk is. Het rooster in het kuststrook domein van het D-Flow FM 3D RijnMaasmondig sluit niet direct aan op 3D-DCSM FM model – de koppeling van randvoorwaarden wordt via nesting bereikt.

Praktisch gebruik van het model

Voor simulatie van andere perioden dan Mei/december 2011 of het najaar 2018 zullen nieuwe zee randvoorwaarden moeten worden aangemaakt met het 3D DCSM FM model (Zijl, Laan, & Groeneboom, 2020).

Beschikbare versies

Modelschematisatie	Jaar	Software	
		Baseline	D-HYDRO Suite
dflowfm3d-rmm-j19_nw18_6-v2a	2022	6.1.1 (2021)	2022.04_lnx64_sif1032 ¹ Versie geschikt gemaakt voor Snellius
dflowfm3d_rmm-j13_6-w4	2021	6.1.1 (2021)	2021.03-67911-intel-2018b Versie geschikt gemaakt voor Cartesius

De schematisaties zijn weergegeven op volgorde van actualiteit van de gebiedsbeschrijving. De dik gedrukte schematisaties zijn de vigerende versies van het totaalmodel. De 'normaal' gedrukte versies betreffen deelmodellen van het totale systeem. In grijs zijn de schematisaties aangegeven die intussen zijn vervangen door een nieuwere versie.

- *De kolom 'modelschematisatie' verwijst naar de naam van de modelschematisatie: Hieraan is te zien welke geometrie de schematisatie het beste representeert. De schematisatie van het jaar 20XX wordt het best gerepresenteerd door het jXX model. (zie ook Rijkswaterstaat, 2021a).*
- *De kolom 'jaar' verwijst naar het jaar waarin de modelschematisatie is opgeleverd.*

De kolom 'software' verwijst naar de versies waarmee de modelschematisatie is opgebouwd en getes

Randvoorwaardensets

¹ Merk op dat deze specifieke softwareversie een beta versie betreft die speciaal is gecompileerd voor gebruik op Snellius. Deze beta versie kan alleen worden uitgeleverd aan partijen die een Service Package voor D-HYDRO Suite 2D/3D hebben en een pre-release agreement met het Deltares Software Center hebben afgesloten.

[Versie <2023-v1>](#)

De volgende randvoorwaardensets zijn beschikbaar voor het zesde-generatie 3D RMM-model:

Naam	Type	Beschrijving	Kenmerken	Referentie
Winter 2011 (validatie metingen)	t.o.v. hist	1 oktober 2011 – 31 december 2011	Windsnelheid, -richting (Hirlamv7.2) Zeerlandvoorwaarden DCSM-3D, rivierafvoeren Tiel, Lith, Hagestein.	(Kaaij & Chavarrias, 2020)
Lente 2011 (validatie metingen)	t.o.v. hist	1 maart 2011 – 31 mei 2011	Windsnelheid, -richting (Hirlamv7.2) Zeerlandvoorwaarden DCSM-3D, rivierafvoeren Tiel, Lith, Hagestein.	(Kaaij & Chavarrias, 2020)
Zomer_Najaar 2018 (kalibratie)	hist	2 april 2018 – 8 november 2018	Windsnelheid, -richting (Hirlamv7.2), Lateralen Hollandsche IJssel (debiet), Zeerlandvoorwaarden DCSM-3D, rivierafvoeren Tiel, Lith, Hagestein.	(Kaaij, Chavarrias, & Kranenburg, 2022)

RGWM-regressierelaties

Niet van toepassing.

Release notes

Hieronder wordt chronologisch weergegeven welke veranderingen er zijn doorgevoerd tussen de verschillende beschikbare modelschematisaties.

dflowfm3d-rmm-j13_6-w4

Deze modelschematisatie is specifiek opgezet voor uitvoering van de 2011 simulaties. Hierbij is gebruik gemaakt van een naar Baseline 6 geconverteerde Baseline 5 gebiedsschematisatie van het RMM-gebied (baseline-rmm-j12refact_5-v1). Voor nadere details zie Veenstra (2021).

dflowfm3d-rmm-j19_nw18_6-v2a

Deze modelschematisatie is opgezet voor de validatiesimulaties voor de periode zomer/najaar 2018. Hierbij is gebruik gemaakt van Baseline-nl_land-j19_6-v2 database, waarbij enkele aanpassingen zijn gedaan in de bathymetrie in de Nieuwe Waterweg om de modelbathymetrie beter te laten passen bij de situatie in najaar 2018 (halverwege uitvoering verdieping Nieuwe Waterweg). Deze modelschematisatie kan dienen als uitgangspunt voor toekomstige 3D-schematisaties voor dit gebied, waarbij de modelbathymetrie kan worden geupdate met de meest recente informatie uit Baseline.

Referenties (alfabetisch)

Deijl, E. v., & Wijk, R. v. (2019). Jaarsom 2018 Rijn-Maasmonding. Delft: Deltares.

Kaaij, T. v., & Chavarrias, V. (2020). D-HYDRO RijnMaasMonding 3D; Zoutindringing in de Nieuwe Waterweg; Werkzaamheden 2020. Delft: Deltares rapport 11205258-016-ZWS-0003. Versie 2.0. 21 December 2020.

Kaaij, T. v., V. Chavarrias, en W.M. Kranenburg. 2022. RMM 3D, een nieuw 3D model van de RijnMaasMonding in D-HYDRO. Delft, Deltares rapport 11208053-005-ZWS-0002.

Minns, T., Spruyt, A., & Kerkhoven, D. (2020). Specificaties zesde-generatie modellen met D-HYDRO - Generieke technische en functionele specificaties. Delft: Deltares.

Veenstra, J.(2021). Ontwikkeling zesde-generatie Rijn-Maasmonding-model. Modelbouw, kalibratie en validatie 2D model; Delft; Deltares 11206813-006-ZWS-0001, 23 december 2021,

Zijl, F., Laan, S., & Groeneboom, J. (2020). Development of a 3D model for the NW European Shelf (3D DCSM-FM). Delft: Deltares.

Versie <2023-v1>



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Deltares

DISCLAIMER:

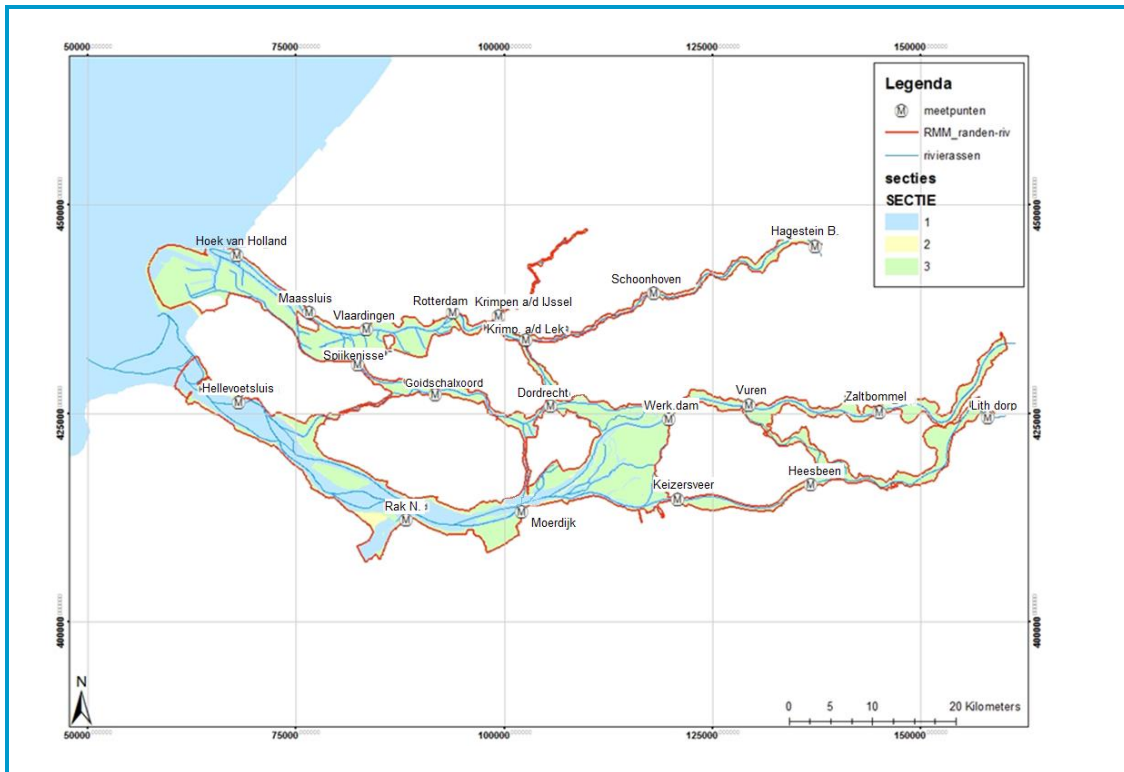
Bij gebruik van de modelschematisatie met de meest recente software-releases, kunnen de resultaten enigszins afwijken van hetgeen is vastgelegd in de rapportage van de betreffende modelschematisatie. Overige verschillen kunnen veroorzaakt worden door het gebruik van andere hardware.

Hoewel de informatie in dit document met de nodige zorgvuldigheid is samengesteld, aanvaarden RWS en Deltares geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onnauwkeurigheden in deze informatie en ten gevolge van het gebruik van deze informatie.

Deltares en RWS behouden zich het recht voor om de inhoud van dit document te allen tijde zonder nadere aankondiging te wijzigen.

Versie <2023-v1>

B Factsheet SOBEEK-RMM



SOFTWARE

- 2020:** SOBEK 3.7.17
- 2018:** Baseline 5.3.3
ArcGIS 10.3.1
SIMONA 2017 – patch 2 (Windows 7, 64 bits, double precision),
SOBEK 3.7.14
- 2016:** Baseline 5.3
ArcGIS 10.1
SIMONA 2015 – patch 8 (Linux, 64 bits, double precision),
SOBEK 3.4.1 en SOBEK 3.5.7.
- 2015:** Baseline 5.2.4/5.3.0.
ArcGIS 10.1
SIMONA 2014 – patch 10 (Windows 7, 64 bits, double precision),
SOBEK 3.3.1

RELEASES

- 2020** Sobek-rmm-vozo-j15_5-v3
- 2018** sobek-rmm-vzm-j15_5-v2
baseline-rmm-j15_5-v2
baseline-rmm-j12refact_5-v2
baseline-rmm-beno15_5-v2
waqua-rmm-j15_5-v2

waqua-rmm-beno15_5-v2

2016	deelmodel 1) Waqua-rmm-beno15_5_20m_bbosch-v1
2015	baseline-rmm-j15_5-v1, waqua-rmm-j15_5-v1 baseline-rmm-beno15_5-v1, waqua-rmm-beno15_5-v1 sobek-rmm-j98_5-v1, sobek-rmm-j98_5-v2, sobek-rmm-j15_5-v1
2014	Baseline-rmm-hr2017_5-v2, waqua-rmm-hr2017_5-v3 Baseline-rmm-beno14_5-v2, waqua-rmm-beno14_5-v3 baseline-rmm-j98_5-v3, waqua-rmm-j98_5-v3;
2012/2013	baseline-rmm-j98_5-v2, waqua-rmm-j98_5-v2; baseline-rmm-j12_5-v1, waqua-rmm-j12_5-v1; baseline-rmm-beno12_5-v1, waqua-rmm-beno12_5-v1;
2009/2010	baseline-rmm-j98_5-v1_hr2011, waqua-rmm-j98_5-v1_hr2011; baseline-rmm-j09_5-v1_hr2011, waqua-rmm-j09_5-v1_hr2011;

BASELINE

geografische ligging

Het beschreven gebied loopt langs de Nederlandse Kust van Zandvoort tot aan de kop van Schouwen Duiveland. Het gebied strekt zich zeewaarts uit tot circa 25 tot 30 km uit de kust. In het rivierendeel zijn de volgende wateren in het beschreven gebied opgenomen:

- Nieuwe Waterweg - Nieuwe Maas - Lek tot aan Hagestein
- De Hollandse IJssel tot aan Gouda
- Beneden-Merwede - Waal tot aan Tiel
- Haringvliet - Hollands Diep - Biesbosch - Maas tot aan Lith

In het bedijkte deel van de Rijn Maasmonding vormt de bandijk de grens van het gebied. Daar waar deze niet in het Digitaal Topografisch Bestand aanwezig was, is deze aangevuld met informatie uit het RWS dijkkringen bestand of de winterbedbegrenzing uit het 4e generatie model.

j98_5-v1_hr2011

Deze basisschematisatie is opgezet in 2009/2010 (literatuur 1-4). Dit is de Baseline schematisatie welke gebruikt is als basis voor het *kalibratiemodel* (waqua-rmm-j98_5-v1). Voor de overlap gebieden met Rijn en Maas, zijn in de Baseline schematisatie de 4^e generatie Baseline schematisaties van Rijn en Maas overgenomen (Baseline-rijn-j95_4-v1 en Baseline-maas-j95_4-v1). Deze schematisatie is aanvankelijk door HKV en Deltares opgebouwd in Baseline 4 en vertaald naar een Baseline 5-schematisatie.

In het bijbehorende WAQUA-model zijn de zomerbedruwheden overgenomen van de 4^e generatie WAQUA-modellen voor Rijn (simon-rijn-j95_4) en Maas (simona-jmaas-j95_4). Het model bevat de gecorrigeerde zomerbedbodems van 1998. Dat betekent dat de zomerbedbodem is afgeleid van singlebeam-metingen, waarvan, als correctie voor het verschil tussen de oude singlebeam- en de modernere multibeam-meetmethode, een constante waarde (15 cm) is afgetrokken. Deze bodem wordt beschouwd als de multibeam-bodem 1998. De winterbedruwheden zijn afkomstig van de herziene ecotopenkartering 1996 (Ecotopen eerste cyclus, publicatie 2010-01-01, revisie 2010, versie 2.0). Daar waar deze ontbreekt is deze aangevuld met de Ecotopen 2^e cyclus.

j09_5-v1_hr2011

Deze Baseline schematisatie (Baseline-rmm-j09_5-v1_hr2011) en het bijbehorende WAQUA-model (waqua-rmm-j09_5-v1_hr2011) zijn opgezet in 2009/2010 t.b.v. de productiesommen voor de bepaling Concept Randvoorwaarden 2011. Om te komen tot een Baseline-schematisatie welke de situatie beschrijft voor de bepaling van de Concept Randvoorwaarden 2011, is de schematisatie van het jaar 1998 (baseline-rmm-j98_5-v1_hr2011) als uitgangspunt gehanteerd. Hierop zijn met behulp van 59 Baseline-maatregelen wijzigingen in het gebied doorgevoerd.

j98_5-v2

Deze basis is opgezet in 2012/2013. Ten opzichte van Baseline-rmm-j98_5-v1_hr2011 bevat deze schematisatie een groot aantal aanpassingen, waaronder:

- 5^e generatie Rijntakken schematisatie (Baseline-rijn-j95_5-v1) voor de overlapgebieden, inclusief aangepaste actualisatie maatregelen naar 1998
- 5^e generatie Maas schematisatie (Baseline-maas-j95_5-v1) voor de overlapgebieden
- Correcties in de het RMM-gebied vanuit o.a. WT1-project
- Correcties van de zeebodem nabij de rand via een maatregel t.b.v. stabiliteit van de berekeningen met WAQUA.

j98_5-v3

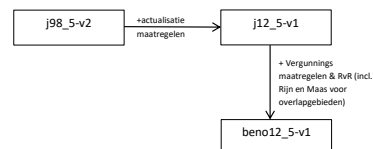
Deze Baseline schematisatie is gebaseerd op j98_5-v2 die eerst geactualiseerd is naar 2012/2013. Vervolgens is met downgrade maatregelen de situatie van 1998 weer bereikt. Dit is voor het mogelijk maken van een kalibratiemodel. Uiteindelijk bleek dat de kalibratie nog steeds geldig was ten opzichte van versie 2 (De Jong en Kerkhoven, 2014).

j12_5-v1

Dit model is opgezet in 2012/2013. De j12_5-v1 Baseline-schematisatie (Baseline-rmm-j12_5-v1) is opgebouwd vanuit Baseline-rmm-j98_5-v2 door middel van 87 maatregelen opgenomen in dit gebied die de veranderingen tussen 1998 en 2012 beschrijven.

beno12_5-v1

De beno12_5 Baseline-schematisatie (baseline-rmm-beno12_5-v1) is gebaseerd op baseline-rmm-j98_5-v2 en is op de volgende manier opgebouwd:



De schematisatie is dus geactualiseerd naar de situatie 2012, met uitzondering van de ecotopenkarteringen (aanneمة dat het project Stroomlijn wordt uitgevoerd). Vervolgens zijn reeds verleende vergunningen opgenomen. Als laatste stap zijn de vergunningen in de overlapgebieden van Rijn, Maas en Ruimte voor de Rivier ingemixt. Bij het BenO model is een randvoorwaarden set beschikbaar (Randvoorwaarden-rmm-beno).

beno14_5-v2

De beno14_5-v2 schematisatie is gebaseerd op j98_5-v3. Hierin heeft een actualisatie naar 2014 plaatsgevonden en zijn Ruimte voor de Rivier maatregelen opgenomen die in de nabije toekomst

worden opgeleverd. Tevens is in Baseline het Grevelingen-Volkerak-Zoommeer (GVZ) toegevoegd. Het te gebruiken WAQUA model heeft versienummer 3 in plaats van 2.

hr2017_5-v2

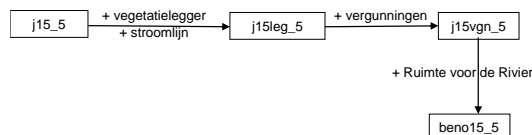
baseline-rmm-hr2017_5-v2 is een exacte kopie van beno14_5-v2, hierin zijn echter de WTI-locaties in het RMM-gebied toegevoegd. Het te gebruiken WAQUA model heeft versienummer 3 in plaats van 2.

j15_5-v1

De j15_5-v1 schematisatie is gebaseerd op j12refact_5-v1 die op zijn beurt gebaseerd is op j98_5-v3, vanuit die variant is met behulp van maatregelen naar 2015 geactualiseerd. Dit betekent dat op de Waal en Lek vanaf 1995 wordt begonnen en voor de Maas vanaf 2012 wordt geactualiseerd. De j15_5-v1 variant is voor de Lek, Waal en Maas gelijk aan de laatste j15 variant van deze gebieden.

beno15_5-v1

De beno15_5-v1 schematisatie is gebaseerd op j15_5-v1 en is met de onderstaande stappen geschematiseerd:



Als eerste worden de handboekenheden vervangen door leggereenheden en worden projecten uit “Stroomlijn” toegevoegd aan de schematisatie. Daarna worden reeds verleende vergunningen opgenomen. Als laatste worden plannen “die in de nabije toekomst met een aan zekerheid grenzende waarschijnlijkheid worden uitgevoerd” opgenomen.

j12refact_5-v2, j15_5-v2 en beno15_5-v2

Deze schematisaties zijn gebaseerd op voorgaande schematisaties, in deze versie zijn enkele modelmaatregelen toegevoegd om de bodemhoogte rondom de Haringvliet- en Volkeraksluizen te verbeteren. Deze baseline schematisatie is gebruikt voor het afleiden van een WAQUA model maar heeft niet geleid tot een nieuw SOBEK-model, omdat de verschillen weinig effect hebben op de profielen in SOBEK.

WAQUA

roosterafmetingen

De WAQUA-RMM modellen gebruiken drie rekenroosters, een voor het zee-domein (rmmzee40m_1), een voor het rivieren-domein (rmmriv40m_5-v5) en een voor het GVZ-domein (grid-gn_vo_zo60m_5-v2). Deze roosters worden aan elkaar gekoppeld door middel van horizontale domein decompositie (DDHOR). Domein decompositie is het dynamisch (in twee richtingen) koppelen van meerdere rekenroosters in een berekening. Het rooster sluit op de bovenranden aan op de 5e-generatie-modellen van de Maas (maas40m_5) en de Rijntakken (rijn40m_5). Aan

de zeezijde is een 3:1 koppeling met de Kuststrookfijn modellen (simona-kuststrookfijn-v4 en waqua-kuststrookfijnv6-hr20011_5-v1) gemaakt. De twee roosters worden gekoppeld ter plaatse van de Haringvlietmond, circa 1 km ten westen van de Haringvlietsluizen, en ter plaatse van de Maasmond, tussen de havendammen, enigszins ten westen van het Beerkanaal.

Het kromlijnige rooster, in het Parijse coördinatenstelsel, meet aan zeezijde 418 bij 132 roosterpunten waarvan circa 67% actief (ca. 480000 roostercellen). Het rooster aan rivierzijde telt 1079 bij 3022 roosterpunten waarvan circa 16% actief (ca. 530000 roostercellen).

resolutie

De resolutie varieert sterk. De resolutie in het zeegebied varieert van ca. 40 m tot 325 m. In het rivier en GVZ-domein verloopt de resolutie van circa 11 m tot 128 m. De maaswijdte in de stroomrichting bedraagt daar circa 40 m en er liggen minimaal 8 cellen in het zomerbed tussen de normaallijnen. De roosterlijnen volgen zoveel als mogelijke de normaallijnen van de rivieren.

courantgetallen

De Courantgetallen liggen in het overgrote deel van het model onder de 10. In enkele delen van het WAQUA RMM-model (o.a. in de riviertakken) kunnen de waarden wat hoger uitvallen.

schematisatie

In de schematisatie zijn de volgende elementen meegenomen:

- De zes kunstwerken in het RMM-gebied (Maeslantkering, Volkerak waterberging, Hartelkering, Haringvlietsluizen, stormstuw Hollandse IJssel en kering Heusdensch Kanaal) zijn in de vorm van barriers, bestaande uit een culvert en een weir, geschematiseerd om gevallen van overstrom/overstort en lekkage te kunnen modelleren.
- De sluit- en openstrategieën Maeslantkering, Volkerak waterberging en de Hartelkering kunnen via een “Keringenscript” worden opgelegd. De verwachte waterstanden Rotterdam en Dordrecht, die hiervoor nodig zijn, worden met het model gegenereerd
- De Haringvlietsluizen zijn geschematiseerd als barriers (17 stuks) en deze werken via LPH84-“condities” of via tijdreeksen van werkelijk gemeten schuifhoogtes. In de LPH84-condities zit een afhankelijkheid van de rivierafvoer op de Waal en van de waterstanden voor en achter de sluisen.
- In het model zijn vele overlaten aanwezig.
- De stormstuw Hollandse IJssel en kering Heusdensch Kanaal hebben ieder individuele criteria.
- Op 6 locaties kan, buiten de open randen, water worden toegevoegd of worden onttrokken aan het systeem (Lek, Getij Maas).

Er zijn diverse data bronnen gebruikt en er is gewerkt conform de Dienstsificatie Invoer Baseline. De

belangrijkste bron voor de boven water liggende gegevens is het Digitaal Topografisch Bestand (DTB)-NAT en Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN) van RWS-DID. Voor de onderwatergegevens wordt gebruik gemaakt van lodingen van de Meetdienst van RWS-ZN (voorheen Dienst Limburg), Dienst Oost Nederland en RWS-WNZ (voorheen Dienst Zuid-Holland). De aanwezige vegetatie in het gebied wordt met de ecotopenkaart van RWS-DID beschreven, waarbij gebruik is gemaakt van de 1e, 2e, 3e en 4e cyclus ecotopenkartering.

modelkarakteristieken

Het model wordt voor de kalibratie en validatie periode aangestuurd door:

- Debietreeksen op de bovenrand bij Tiel, Lith en Hagestein (10-minuten-waardes). Deze drie tijdreeksen van de bovenstroomse debieten voor de kalibratie- en validatieperioden zijn afkomstig uit DONAR.
- Via de modellentrein bepaalde waterstandsrandvoorwaarden op de zeerand, welke middels residuanalyse verder zijn geoptimaliseerd (zie voor details literatuur 3). Ter plaatse van de benedenstroomse open rand wordt tevens het zoutgehalte van het instromende water opgelegd met behulp van Thatcher-Harleman randvoorwaarden.
- Wind: Voor het vertalen van de windsnelheid naar de windschuifspanning wordt een wind drag coëfficiënt opgegeven, die (binnen een bepaald bereik) lineair toeneemt met de windsnelheid. Deze toename is het gevolg van een toenemende ruwheid van het wateroppervlak bij toenemende windsnelheid. Voor het WAQUA RMM model is de cd-coëfficiënt, bij een windsnelheid van 7.8 m/s of lager, ingesteld op $1.4 \cdot 10^{-3}$. Bij een windsnelheid van 50 m/s of hoger wordt een wind drag coëfficiënt van $3.9 \cdot 10^{-3}$ gebruikt. Bij windsnelheden tussen 7.8 m/s en 50 m/s wordt de wind drag coëfficiënt lineair geïnterpoleerd. Voor het zee-domein wordt de wind gemeten te Hoek van Holland uniform toegepast; voor het rivieren-domein wordt de wind gemeten te Rotterdam Zestienhoven toegepast.

Dit model wordt alleen in 2D-mode (WAQUA) gedraaid. Voor het draaien van het model worden de volgende instellingen aangehouden:

- tijdstap = 0.25 minuut (15 s)
- Er worden in het WAQUA-RMM model verschillende ruwheidformuleringen gebruikt. In het getijgedomineerde gebied wordt van de Manning formulering uitgegaan. In het afvoergedomineerde gebied worden zomerbedruwheden gebruikt (bovenstrooms/ten oosten van Hardinxveld en Keizersveer).
- ruwheid: via de Roughcombination methode (roughcombination.karak, versie 0.72). Er wordt dus gebruik gemaakt van het handboek "Stromingsweerstand vegetatie in uiterwaarden" (Velzen et al., 2003a en 2003b):

De ruwheid van het zomerbed in het afvoergedomineerde deel van de rivier wordt met de

formulering van alluviale ruwheden berekend. Het zomerbed is in trajecten ingedeeld, waarbij de trajectgrenzen gevormd worden door de locatie van MSW stations. Deze methode is gelijk aan de vorige kalibratie-ronde (4e-generatie-WAQUA-modellen j95_4). Dit is relevant voor de schematisaties die worden gemaakt op basis van Baseline-rmm-j98_5-v1_hr2011.

In de 5e-generatie-modellen verschillen echter de alpha-waardes in de hierboven genoemde formulering voor verschillende afvoerniveaus (hoog, midden en laag). Dit is relevant voor de schematisaties die worden gemaakt op basis van Baseline-rmm-j98_5-v2.

- Een aantal typen ecotopen (akkers, plassen, kribvakstrand, bebouwd/verhard) worden weergegeven met een vaste k-Nikuradse waarde.
- Het grootste deel van de vegetatie (grassen, bossen, ruigtes) worden met de formulering van door- en overstroomde vegetatie weergegeven.
- De aanwezige gebouwen en de brugpijlers worden in de ruwheid opgenomen met behulp van de formulering voor gebouwen.
- In het gebied zijn vele heggen aanwezig, welke een ruwheid krijgen door de formulering voor heggen.
- De roughcombination-methode maakt het mogelijk om verschillende types ruwheden in één ruwheidscode te combineren.
- Nieuwe ruwheidscodes moeten aangevraagd worden bij de regionale diensten. Dit is belangrijk voor het versiebeheer van de ruwheidsdefinities (roughcombination-bestanden).

De Haringvlietsluizen, Maeslantkering en Hartelkering zijn gemodelleerd als regelbare STRUCTURES (culvert and weirs). De Restricting afvoercoëfficiënt varieert per kunstwerk voor de culvert. De afvoercoëfficiënt voor de Haringvlietsluizen is sterk bepalend voor de debietverdeling tussen Nieuwe Waterweg en Haringvliet. Vanaf het j15_5-v2 model is de sturing van de Haringvlietsluizen iets aangepast zodat de juiste volgorde in spuien wordt aangehouden in het model. De verschillen in resultaten zijn beperkt.

- De horizontale eddy-viscositeit = $1.0 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$.
- De ruimtelijk variërende dispersiecoëfficiënt heeft waarden tussen de 50 m²/s en 2000 m²/s.

nauwkeurigheid

De modelresultaten zijn gekalibreerd en gevalideerd voor langere periodes. De kalibratie is uitgevoerd voor de periode 6 augustus tot 15 november 1998. De validatie is uitgevoerd voor de periode 6 oktober 2002 tot 1 februari 2003. Beide periodes worden gekarakteriseerd door wisselende periodes van hoge afvoer en gemiddelde stormen.

De onderstaande tabel geeft een indruk van de nauwkeurigheid van het waqua-rmm-j98_5-v1 (j98 voor de kalibratie- en verificatiesituaties) voor 14

meetstations in het gebied. Details zijn te vinden in de rapportage (Zijl et al., 2011).

Tabel 6.13 Overzicht van de Goodness-of-Fit waarden (cm) voor en na de kalibratie, voor de volledige kalibratieperiode (6 augustus tot 15 november, 1998).

	GoF _{TSD}	GoF _{HW}	GoF _{HS}	GoF _{HW}	GoF _{LW}
voor kalibratie	13,7	11	5,4	10,3	15,1
na kalibratie	5,3	6	2,5	5,4	6,2

De onderstaande tabel geeft een indruk van de nauwkeurigheid van het waqua-rmm-j98_5 (j98 voor de kalibratie- en verificatiesituaties) voor 14 meetstations in het gebied. Details zijn te vinden in de rapportage (De Jong en Kerkhoven, 2014).

Tabel 4.8 Goodness of Fit (GoF) voor de verschillende versies van de modellen voor de kalibratie- en validatieperiode. De GoF is zowel gegeven voor de gehele periode, als ook de periodes van hoogwater en storm.

GoF waarde waterstand (cm)	j98_5-v1	j98_5-v2	j98_5-v3
Kalibratieperiode – geheel	9,09	6,96	7,00
Kalibratieperiode – hoogwater	13,49	12,81	11,48
Kalibratieperiode – storm	6,57	6,10	7,62
Validatieperiode – geheel	9,79	7,30	6,67
Validatieperiode – hoogwater	9,81	10,04	9,97
Validatieperiode – storm	12,53	11,46	10,44

deelmodel

Het standaard beno WAQUA-model is gebaseerd op een rekenrooster van 40 meter. Om maatregelen beter te representeren is een fijner rooster noodzakelijk. Voor de Rijnmaasmonding is 1 deelmodel beschikbaar waarin het rekenrooster met een factor twee is verfijnd in beide richtingen.

Het waqua-beno15_5_bbosch-v1 model beslaat het gebied tussen Tiel (afvoerrand), Heesbeen (afvoerrand), Groothoofd te Dordrecht (waterstandsrand) en Moerdijkbrug (waterstandsrand). Het gebruikte rooster heeft de naam "grid-rmm20m-bbosch_5-v1.grd".

De volgende model parameters zijn aangepast ten opzichte van het standaard model:

- Tstep = 0.125 minuten
- Tirouc = 0.125 minuten
- Ticval = 0.125 minuten

De resultaten van het deelmodel tijdens 6 extreme condities zijn beschreven in Ottevanger et al. (2016).

SOBEK 3

resolutie en netwerk

De details van de SOBEK-modellen zijn te vinden in de modelopzet- en kalibratierapportage van sobek-rmm-j98_5-v1 (Berends, 2015). Aanpassingen hierop zijn beschreven in de rapportage bij sobek-rmm-j98_5-v2 (Fujisaki, 2015a) en de rapportage bij sobek-rmm-j15_5-v1 (Fujisaki, 2015b).

De knopen-takken structuur van de SOBEK-schematisatie is gebaseerd op de basisstructuur van het SOBEK-NDB-model, de SOBEK 3 modellen voor de Rijn en Maas en de (toekomstige) ontwikkelingen in het gebied. Het benedenstroomse deel van het netwerk is geheel herzien op basis van ervaringen met het NDB-

model en wensen van toekomstige gebruikers van het model.

Het netwerk is afhankelijk van het jaar waarvoor het model geldig is. Takken die die niet meegenomen dienen te worden in dit jaar zijn afgesloten met een stuw met een oneindige hoogte.

Het SOBEK-rekenrooster heeft een afstand van ongeveer 500 meter. Bij kunstwerken wordt gewerkt met afstanden van 10 meter aan beide zijden van het kunstwerk.

schematisatie

De dwarsprofielen en winterbedruwheden van de takken zijn gebaseerd op de overeenkomstige Baseline- en WAQUA-schematisaties door middel van de vertaling naar SOBEK-profielen en winterbedruwheden via het programma WAQ2PROF. Zomerbedruwheden van de belangrijke takken zijn gekalibreerd op waterstanden (Berends, 2015).

In de schematisatie zijn verder de volgende elementen meegenomen:

- Vele kleinere kunstwerken en enkele grotere stormvloedkeringen (Hollandsche IJsselkering, Hartelkering, Maeslantkering, Haringvlietsluizen, Kromme Nolkering).
- Zoutindringing is opgenomen
- Observatiepunten van alle rivierkilometerpunten en alle officiële meetpunten en uitvoerlocaties zoals gedefinieerd in Baseline.
- Punten voor laterale instromingen gelijk aan Baseline
- Randvoorwaarden op de rivieren (Lek, Waal en Maas) en op de zee (Haringvliet en Maasmond).

modelkarakteristieken

Parameter	Gebruikte waarde
iadvec1D	2
limtyphu1D	1
MomDilution1D	1
TransitionheightSD	0.75
TimeStep	10 min
InterpolationType	Linear

nauwkeurigheid

De modelresultaten zijn gekalibreerd en gevalideerd voor langere periodes. De kalibratie is uitgevoerd voor de periode 6 augustus tot 15 november 1998. De validatie is uitgevoerd voor de periode 6 oktober 2002 tot 1 februari 2003. Beide periodes worden gekarakteriseerd door wisselende periodes van hoge afvoer en gemiddelde stormen.

De onderstaande tabel geeft een indruk van de nauwkeurigheid van het sobek-rmm-j98_5-v1 en sobek-rmm-j98_5-v2 (j98 voor de kalibratie- en

verificatiesituaties). Details zijn te vinden in de rapportage (Fujisaki, 2015a).

	j98_5-v1	j98_5-v2
Bias (m)	0,004	0,001
RMSE (m)	0,068	0,068
Standaarddeviatie (m)	0,063	0,064

Herkalibratie j15_5-v2

Het j15_5-v1 SOBEK3 model is opnieuw gekalibreerd naar aanleiding van aanpassingen in de software. In 2017 is de zoutformulering aangepast in de SOBEK3 software waardoor een herkalibratie noodzakelijk was voor een nieuwe parameter en een herziening van de zomerbedruwheden. Tijdens de herkalibratie is op basis van de resultaten besloten om eb- en vloedruwheden te introduceren op de Nieuwe Waterweg, Nieuwe Maas, Oude Maas en Lek. Daarnaast is de schematisatie van de Voordelta aangepast. Details over de herkalibratie zijn te vinden in de rapportage (Buschman et al., 2018).

De modelresultaten zijn vergeleken met j15_5-v1 en SOBEK-RE voor verschillende periodes in 2005, 2008, 2011 en 2013 met een groot bereik aan mogelijke condities. Na de herkalibratie weet het model zoutindringing en zoutverspreiding globaal te reproduceren. De zoutconcentratie kan echter 50% afwijken van de metingen waardoor er voorzichtig omgegaan moet worden met het gebruik van het model voor overschrijdingsduren of scenariostudies voor zoutindringing.

De nauwkeurigheid voor de verschillende stations in de Rijn-Maasmond worden uitgebreid beschreven in de rapportage (Buschman et al., 2018). Hieronder worden de gemiddelde verschillen (Bias) en root mean square error (RMSE) voor verschillende condities voor alle stations beschreven. De condities treden allemaal op in 2011 (januari [hoge afvoer], voorjaar [lage afvoer] en december [opzet op zee]).

	j15_5-v1	j15_5-v2
Bias hoge afvoer (m)	-0,031	-0,006
RMSE hoge afvoer (m)	0.094	0.053
Bias hoge opzet op zee (m)	0,009	0,005
RMSE hoge opzet op zee (m)	0.067	0.059
Bias lage afvoer (m)	0,016	0,001
RMSE lage afvoer (m)	0.041	0.047

Aansturing Haringvlietsluizen j15_5-v3

Bij hoge afvoeren waren de waterstanden op het Haringvliet instabiel wat leidde tot crashende simulaties. De schommelingen in waterstand werden veroorzaakt door het snelle openen en sluiten van de sluisen. Er is daarom binnen de software gezocht naar een oplossing voor de aansturing van de Haringvlietsluizen. Tegelijkertijd is er geprobeerd om mate van openen af te laten hangen van de afvoer bij Tiel waardoor ook met dynamische afvoeren is te rekenen met het model.

Uiteindelijk zijn er drie dingen aangepast in de stuwsturing van de Haringvlietsluizen:

- De mate van openen wordt bepaald door middel van een lookup table en de afvoer bij Tiel. De lookup table is verschillend per sluis en overgenomen van WAQUA.
- De snelheid van sluiten is gelimiteerd tot 1200 seconden van compleet open naar compleet dicht. Dit kon voorheen met 1 tijdstap. In werkelijkheid kunnen de sluisen binnen enkele minuten volledig gesloten worden.
- Het waterstandsverschil waarbij de sluisen open of dicht gaan is aangepast naar 0 centimeter (was 12 centimeter). Hierdoor gaat in de eerste tijdstap minder water door de sluisen en blijft de simulatie stabiel. Deze werkwijze komt overeen met de SOBEK-RE schematisatie.

Er is nog steeds een mogelijkheid om te sturen met gemeten tijdreeksen met behulp van een switch.

De resultaten zijn op het Haringvliet een stuk stabielier ten opzichte van de vorige versie. De waterstand daalt over het algemeen enkele centimeters op het Haringvliet en in de rest van de Rijn-Maasmond ten opzichte van j15_5-v2. De resultaten zijn door deze aanpassing meer vergelijkbaar met SOBEK-RE.

Belangrijke aanvulling is dat deze aanpassing geen gevolgen heeft voor de kalibratie en validatie sommen omdat daar gebruik gemaakt wordt van tijdreeksen. De nauwkeurigheid blijft dus hetzelfde na deze aanpassing.

Dit model is nu eenvoudiger te gebruiken in toekomstscenario's en de sturing is ook deels opgenomen in het Landelijk SOBEK Model (LSM).

SOBEK 3-modellen

De volgende SOBEK 3-modellen zijn beschikbaar:

- sobek-rmm-j98_5-v1,
- sobek-rmm-j98_5-v2,
- sobek-rmm-j15_5-v1
- sobek-rmm-vozo-j15_5-v2
- sobek-rmm-vozo-j15_5-v3

literatuur

1. Hartsuiker, G., Aanpassingen aan roosters riviermodellen, Alkyon, A2437R2r1, mei 2010
2. Hartsuiker, G., 2010 Bouw nieuw rooster voor Rijn-Maasmond-model, Roostergeneratie en testsimulatie. Alkyon, A2437, april 2010
3. WAQUA-model Rijn Maasmond : Modelopzet, kalibratie en verificatie. Deltares, rapport 1202199-005-ZKS-0035, Zijl et al., 18 oktober 2011
4. Paarlberg, A., 2010. Update Baseline gegevens Rijn-Maasmond; Databases voor 1998 en eind 2009 inclusief update maatregelen. HKV LIJN IN WATER, PR1614.20, januari 2010

5. Velzen, E.H. van, P. Jesse, P. Cornelissen en H. Coops (2003a): Stromingsweerstand vegetatie in uiterwaarden, Deel 1, RIZA rapport 2003.028. ISBN 9036956420, Arnhem, november 2003.
6. Velzen, E.H. van, P. Jesse, P. Cornelissen en H. Coops (2003b): Stromingsweerstand vegetatie in uiterwaarden, Deel 2, RIZA rapport 2003.029. ISBN 9036956439, Arnhem, november 2003.
7. Volleberg, K.P., Hoefsloot, F., en Ypenburg, G.C., 2009. Dienstspecificaties Invoer Baseline, versie 5, 7 mei 2009, In opdracht van RWS-DID
8. De Jong, J.S., & Kerkhoven, D. (2014). Modelschematisatie Rijnmaasmonding WTI2017 - Baseline en WAQUA schematisatie j98_5-v3, beno14_5-v1 en hr2017_5-v1. Deltares, 1209449-005-ZWS-0004.
9. De Jong, J.S. (2014b). Verbeteringen in baseline-waqua-rmm-beno14_5-v2 ten behoeve van WTI 2017. Deltares memo 1209449-005-ZWS-0016
10. Van Der Wijk, R.M. (2015): Modelschematisatie Rijnmaasmonding, Baseline en WAQUA schematisatie j15_5-v1 en beno15_5-v1. Deltares rapport 1220072-005-ZWS-0012
11. Berends, K.D. (2015). SOBEK 3 model van de Rijn-Maasmonding, Deltares rapport 1209449-004-ZWS-0015-v1
12. Fujisaki, A. (2015a). Improvements to the SOBEK 3-model of Rijnmaasmonding 1998. Deltares memo 1220072-004-ZWS-0005
13. Fujisaki, A. (2015b). SOBEK 3-model of Rijnmaasmonding 2015. Deltares rapport 1220072-004-ZWS-004
14. Ottevanger, W., Visser, T., van der Wijk, R.M. (2016). Deelmodel Rijn-Maasmonding WAQUA; Ontwikkeling en verificatie. Deltares rapport 1230071-004-ZWS-0018
15. Plieger, R. (2018). Correctie fout in stuurtafel LPH '84 van Zeedelta en RMM & verbetering Haringvlietsluizen schematisatie in Baseline & implementatie schotjes WAQUA-RMM bij Volkerakscheepvaartsluis. Deltares memo 11202221-002-ZKS-0004-d
16. Buschman, F., Fujisaki, A., Huismans, Y., Berends, K., van der Wijk, R. Aanpassing, herkalibratie en verificatie SOBEK3 model van de Rijn-Maasmonding. Deltares rapport 11202220-006-ZWS-0012

overige opmerkingen

- De bouw van rmm-j98_5-v1_hr2011 en rmm-j09_5-v1_hr2011 heeft plaatsgevonden tijdens/ parallel met de ontwikkeling van Baseline 5 basissoftware. Vandaar dat de opbouw van de Baseline basisbestanden en de mixage van maatregelen nog heeft plaatsgevonden met Baseline 4 software (softwareversie 4.03). Vervolgens is de Baseline 4 schematisatie geconverteerd naar Baseline 5, zijn in

Baseline 5 de afgeleide bestanden aangemaakt en is de conversie naar WAQUA uitgevoerd. De schematisatie rmm-j98_5-v1_hr2011 is in september 2010 opgebouwd met Baseline softwareversie 5.0.5.820. De schematisatie rmm-j09_5-v1_hr2011 is in maart 2011 opgebouwd met Baseline softwareversie 5.1.0.1067. De ontwikkeling van Baseline 5 software was op dat moment echter nog niet beëindigd. De doorontwikkeling en verbeteringen in Baseline softwareversie 5.2 hebben ervoor gezorgd dat de Baseline 5 (softwareversie 5.2) dermate anders is geworden, dat de Baseline schematisatieopbouw van rmm-j98_5-v1_hr2011 en rmm-j09_5-v1_hr2011 niet meer voldeden. Doordat er veel vraag is naar deze modellen, is er besloten om de bijbehorende Baseline 4 schematisaties van beide modellen opnieuw te converteren naar Baseline 5 (softwareversie 5.2) en vervolgens opnieuw op te bouwen en om te zetten naar WAQUA. Dit is gedaan met Baseline 5 versie 5.2.0.435. Voor de overlappende gebieden met Rijn en Maas is gebruik gemaakt van de 4^e generatie Maas en Rijn takken Baselinebomen en ruwheden. De bijbehorende WAQUA-schematisaties (waqua-rmm-j98_5-v1_hr2011 & waqua-rmm-j09_5-v1_hr2011) zijn opgezet en afgeregeld met SIMONA 2011RC.

randvoorwaarden

Voor de schematisaties zijn de volgende pakketten van randvoorwaarden beschikbaar:

- Randvoorwaarden-rmm-1998 (kalibratie)
- Randvoorwaarden-rmm-2002 (validatie)
- Randvoorwaarden-rmm-2003 (validatie)
- Randvoorwaarden-rmm-2005 (validatie)
- Randvoorwaarden-rmm-2008 (validatie)
- Randvoorwaarden-rmm-2011 (herkalibratie)
- Randvoorwaarden-rmm-2013 (validatie)
- Randvoorwaarden-rmm-2014 (validatie)
- Randvoorwaarden-rmm-2015 (validatie)
- Randvoorwaarden-rmm-2016 (validatie)
- Randvoorwaarden-rmm-2017 (validatie)
- Randvoorwaarden-rmm-2018 (validatie)
- Randvoorwaarden-rmm-WTI_testsom
- Randvoorwaarden-rmm-beno

De WTI_testsom bevat een extreme conditie met hoge Rijnafvoer en Maasafvoer, hoge windsnelheid uit WNW en een zeewaterstand van circa +5m NAP bij Maasmond.

De set Randvoorwaarden-rmm-beno bevat 6 extreme sommen en 6 niet-extreme sommen, zie hieronder de details.

Extreme sommen											
Nr	Keringen	Rijn-afvoer	Afvoer Waal	Afvoer Neder-rijn- /Lek	Afvoer Maas	H Maas- mond	Storm- opzet	Lateraal van	Wind- richting	Wind- snelheid	Code
		(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	
1	Open	16000	10165	3376	3504	1.75	0.735	16000	WNW	11.38	tba
2	Open	9000	5885	1825	1861	3.00	2.263	10000	WNW	19.38	tbb
3	Open	3000	2049	529	452	3.75	3.155	4000	WNW	23.22	tbc
4	Dicht	16000	10165	3376	3504	2.50	1.660	16000	WNW	16.49	tbd
5	Dicht	11500	7379	2412	2448	4.50	3.944	13000	WNW	27.41	tbe
6	Dicht	9000	5885	1825	1861	3.50	2.857	10000	WNW	22.03	tbf

Niet extreme sommen

Nr	Conditie	Zeerand	Opzet (m)	Zeespiegel- stijging (cm)	Rijn (Q_{90}) (m^3/s)	Maas (m^3/s)	Wind	Code
1	Springtij	Springtij	0	8	2200	320	Geen	tbg
2	Doodtij	Doodtij	0	8	2200	320	Geen	tbb
3	Gemiddeld/modale afvoer	Gemiddeld	0	8	1750	110	Geen	tbi
4	Opzet 2x/jaar	Gemiddeld	1	8	1750	110	Geen	tbj
5	Verziltingsrisico	Gemiddeld	0	8	1100	55	Geen	tbk
6	Lage afvoergolf 1x/jaar	Gemiddeld	0	8	6000	p.m.	Geen	tbl

maatregelpakketten

Voor de schematisaties zijn de volgende pakketten van maatregelen beschikbaar:

maatregel_lijst-rmm-j98_5-v1_hr2011-j09_5-v1_hr2011,
maatregel_lijst-rmm-j98_5-v2-j12_5-v1,
maatregel_lijst-rmm-j98_5-v2-beno12_5-v1,
maatregel_lijst-rmm-j98_5-v2-beno14_5-v1,
maatregel_lijst-rmm-j12_5-v1-j12refact_5-v1,
maatregel_lijst-rmm-j12refact_5-v1-j15_5-v1,
maatregel_lijst-rmm-j15_5-v1-j15leg_5-v1,
maatregel_lijst-rmm-j15_5-v1-j15vgn_5-v1,
maatregel_lijst-rmm-j15vgn_5-v1-beno15_5-v1,
maatregel_lijst-rmm-j15_5-v1-j15_5-v2,

DISCLAIMER:

Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat



De schematisaties zijn opgezet en gekalibreerd met de eerder genoemde softwareversies. Hierbij waren de software versies nog in ontwikkeling en is dus niet gebruik gemaakt van een officiële software-release. Voor uitlevering van de schematisaties wordt gebruik gemaakt van officiële software-releases van Baseline, SIMONA en SOBEK 3. De resultaten van de kalibratiesom kunnen hierdoor enigszins afwijken van hetgeen is vastgelegd in de rapportage over de modelopzet en de kalibratie. Overige verschillen kunnen veroorzaakt worden door het gebruik van andere hardware.

Hoewel de informatie in dit document met de nodige zorgvuldigheid is samengesteld, aanvaarden RWS en Deltares geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onnauwkeurigheden daarin of het gebruik ervan door derden. Deltares en RWS behouden zich het recht voor om de inhoud van dit document te allen tijde zonder nadere aankondiging te wijzigen

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