

D-Flow FM 2D RMM



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

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

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

De modelschematisaties 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 bij het Informatiepunt Leefomgeving:
iplo.nl/thema/water/applicaties-modellen/modelschematisaties/



Introductie

Rijkswaterstaat maakt ten behoeve van haar kerntaken gebruik van verschillende modelschematisaties van de Rijkswateren en het Hoofdwatersysteem. Deze modelschematisaties worden o.a. ingezet voor de operationele verwachtingen, vergunningverlening, planstudies en het Beoordelings- en Ontwerpinstrumentarium. Modelschematisaties omvatten toepassingen voor waterbeweging, golven, morfologie, waterkwaliteit en ecologie.

Deze factsheet geeft een kort en bondig overzicht van een bestaande modelschematisatie(s) (model-invoer) en de bijbehorende gebiedsschematisatie(s) voor het betreffende watersysteem. Elke factsheet start met een algemene inleiding voor een breder publiek met informatie over het gemodelleerde gebied, over de mogelijke toepassingen en over de geografische brongegevens. Daarna volgen meer details over de uitgangspunten en aannames bij de opzet en ontwikkeling van de modellen en is vooral bedoeld voor personen die beschikken over een modelleerachtergrond. Per modelitem wordt dit op hoofdlijnen nader toegelicht. Voor nadere details wordt verwezen naar de modelrapportages onder de paragraaf "Referenties".

In deze factsheet wordt een beschrijving gegeven van het 2D hydrodynamische model van de Rijn-Maasmonding binnen de D-HYDRO Suite. Deze modelschematisatie is onderdeel van de zesde generatie modellen.

Geografische ligging

De modelschematisatie van de Rijn-Maasmonding loopt langs de Nederlandse Kust van Zandvoort tot aan de kop van Schouwen Duiveland. 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-dijkringenbestand of de winterbedbegrenzing uit het vijfde generatie model.

Het model wordt opgeleverd met twee verschillende enclosures, elk geschikt voor een andere toepassing (Zijlker & Gradussen, 2025):

1. Standardsommen (beheer, onderhoud en beleidsvraagstukken): enclosure *rmm_vzm_HA10_j24_6_enc*, waarin de Volkeraksluizen als structures zijn opgenomen en het Volkerak-Zoommer onderdeel uitmaakt van het rekendomein. De zeerand ligt ongeveer 10 km uit de kust voor de Haringvlietsluizen en ter plaatse van de monding van de Nieuwe Waterweg in de Noordzee.
2. Jaarsommen (historisch validatie): enclosure *rmm-j24_6_enc*, waarin de Volkeraksluizen als laterale bron zijn toegevoegd en het Volkerak-Zoommeer geen onderdeel uitmaakt van het rekendomein. De zeerand licht 35 km uit de kust in de Noordzee.

Toepassingen

De tweedimensionale D-HYDRO-modelschematisaties van de Rijn-Maasmonding zijn ontwikkeld voor onderstaande toepassingen:

1. Waterloopkundige aanpassingen in het beheergebied
2. Simulatie van dieptegemiddelde waterbeweging en dieptegemiddelde stroming onder verschillende hydrologische omstandigheden

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. scheepvaartbegeleiding (waarin o.a. diepte variërende stroming en dwarsstroming een rol speelt),
3. stofverspreiding-, zoutindringing- en temperatuurstudies (waarin o.a. gelaagdheid en horizontale en verticale uitwisseling een rol speelt).

RWS heeft daarom, rekening houdend met het bovenstaande, deze modelschematisatie vrijgegeven voor gebruik binnen de volgende kerntaken bij Rijkswaterstaat:

De actuele (jxx) modelschematisaties:

1. Watermanagement, zijnde o.a. de werkzaamheden vanuit Water Management Centrum Nederland ten aanzien van waterberichtgeving over waterstanden, overstromingsdreiging, watertekorten (niet vrijgegeven voor berekening van stoftransport, olieverspreiding, oppervlaktestroming).
2. Operationele toepassingen, zijnde o.a. het gebruik binnen de operationele systemen van RWS.

De beleidsmodelschematisatie (*benoxx/hrxxx*) en de eventueel afgeleide deelmodelschematisaties:

1. Beheer en onderhoud van het beheergebied, zijnde o.a. op diepte houden, onderhoud krib/kribvakken/uiteerwaarden.
2. Vergunningverlening, zijnde o.a. Waterwetvergunning voor ingrepen in de rivier en toetsing aan het Rivierkundig Beoordelingskader
3. Effectbepaling van maatregelen, zijnde o.a. waterloopkundige aanpassingen in het gebied zoals bijvoorbeeld verruiming/verdieping van de rivieren, dijkverlegging, aanpassing strekdammen, natuurontwikkeling, etc.

4. Nieuwe aanleg projecten, zijnde o.a. natuurontwikkelingsprojecten, inpoldering, aanleg strekdammen en havens, etc.
5. Beleidsondersteuning (*hr2023*) en verkenning, zijnde o.a. doorrekenen van klimaatscenario's, bepalen waterstanden voor toetsen en ontwerpen van dijken en aanpassing stuwprogramma's.

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 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)-NAT van RWS-CIV. Voor de onderwatergegevens wordt gebruik gemaakt van lodingen van de Meetdienst van RWS-CIV en het Havenbedrijf Rotterdam. 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

Het ongestructureerde rekenrooster is zoveel mogelijk uitgelijnd met stroombanen, waar vierhoekige roostercellen de voorkeur hebben boven driehoeken voor de rivieren. Voor het Haringvliet en de havenbekkens zijn driehoeken gebruikt. Ter plekke van de Haringvliet- en Volkeraksluizen zijn vierkante roostercellen toegevoegd en uitgelijnd met de stroomlijnen en de lokale geometrie van de sluiscomplexen. Het rekenrooster sluit naadloos aan op de rekenroosters van naburige modelschematisaties. De volgende resolutie van het rekenrooster is toegepast:

- In het zomerbed zijn er minimaal 8 gridcellen. Deze hebben een aspectratio van maximaal 1:4 en zijn in de lengterichting 20 - 60 meter afhankelijk van de grootte van de riviertak.
- In het winterbed wordt gericht op cellen met een aspect ratio van 1:1. Deze hebben dezelfde resolutie als de lengterichting van het zomerbed: 40 meter.
- De driehoeken in de havenbekkens volgen zo goed mogelijk de kades met een resolutie van ~45 meter;
- In het Haringvliet is de resolutie 60 meter.
- Per opening door de Haringvliet- en Volkeraksluizen, is één vierkante rooster cel voorzien met een afmeting van respectievelijk ~50 en ~30 meter.

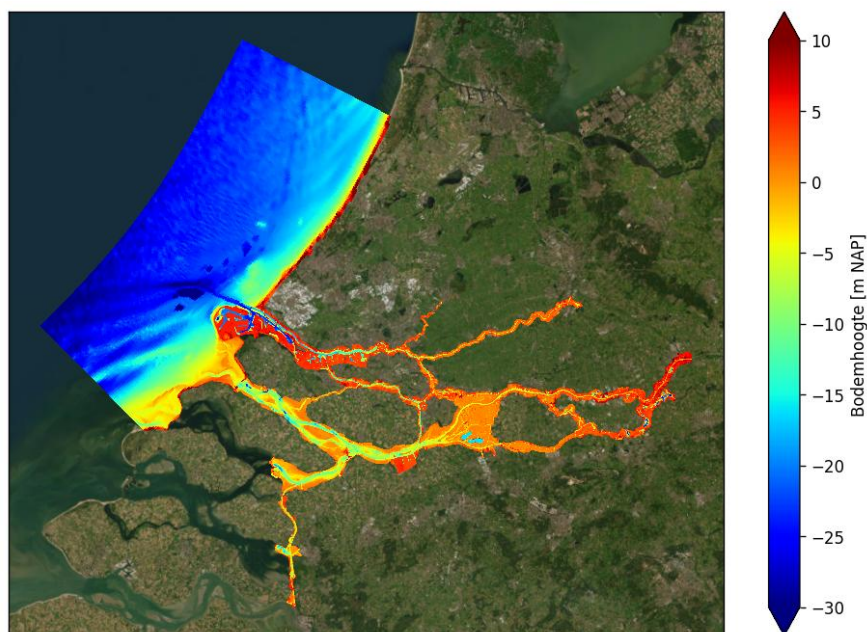
De vigerende versie van het rooster is grid-rmm_vzm_6-v2025_01_net.nc.

Schematisatie-elementen

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

Bodemhoogte

- De bodemhoogte is geprikt uit het bodemhoogtemodel van Baseline op de hoekpunten van de rooster cellen. 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.



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.
- Voor het zomerbed van de rivieren wordt met de formulering van alluviale ruwheden berekend volgens van Rijn.
- Voor het zomerbed van het getijdegedomineerd wordt gewerkt met Manning-ruwheden

De grens van afvoer- en getijdegedomineerd ligt bij de stations Krimpen aan de Lek (Lek), Dordrecht (Beneden Merwede), Moerdijk (Nieuwe Merwede) en Keizersveer (Maas).

Kunstwerken (kenmerken)

- Haringvlietsluizen. Met real-time-control (RTC) wordt de bodem van iedere deur (lower gate edge) gedurende een simulatie continue aangepast zodat de waterstanden bovenstrooms van de sluizen in overeenstemming zijn met het stuwprogramma. Het is ook mogelijk om gemeten reeksen op te leggen.
- Keringen bij Heusdensch Kanaal (Kromme Nolkering) en Hollandsche IJssel (Hollandsche IJsselkering). Met RTC worden deze keringen gesloten tijdens extreme afvoergolven en zware stormen.
- Maeslant- en Hartelkering & Volkeraksluizen. Met RTC worden er tijdreeksen (gemeten of via extern script) opgelegd.

Brugpijlers

- Voor het berekenen van de energieverliezen door brugpijlers worden deze geschematiseerd met een lokale weerstand.

Modelgrenzen

- De gesloten modelranden worden gevormd door bandijken.

Modelkarakteristieken

Open randen

- De rivierranden liggen bij Hagestein op de Lek, Tiel op de Waal en Lith op de Maas. De rivierranden van het model worden geforceerd met tijdseries van debieten. De randvoorwaarden zijn als volgt afgeleid:

- **Standaardsommen:** de afvoeren voor de rivierranden op de Lek, Waal en Maas (uurwaardes) horende bij de theoretische scenario's zijn stationaire afvoercondities.
- **Historische condities:** afvoertijdreeksen zijn opgevraagd via de DataDistributieLaag van Rijkswaterstaat. Voor Hagestein/Lek zijn gemeten afvoeren (ADM, akoestische debietmeting) beschikbaar. De afvoeren bij Tiel/Waal zijn op basis van gemeten waterstanden bepaald met een Qh-relatie. Bij Lith/Maas worden gemeten afvoeren van station Megen (ADM) opgelegd. De ADM bij Megen levert geen afvoeren bij waterstanden hoger dan 6,0 m+NAP omdat vanaf dat niveau het winterbed mee gaat stromen. Bij een waterstand bij Megen boven 6,0 m+NAP is deze reeks daarom aangevuld met een Qh-relatie.
- De locatie en bron van de zeeranden is ook afhankelijk van de modeltoepassing:
 - **Standaardsommen:** er wordt gebruik gemaakt van een verkleinde zeerand, beschreven met enclosure *rmm_vzm_HA10_j24_6_enc*. Voor het model voor gebruik binnen BenO en beleid wordt alleen gebruik gemaakt van theoretische randvoorwaarden, afkomstig uit WBI- en BOI-werkzaamheden.
 - **Jaarsommen:** de zeerandvoorwaarden op open zee zijn verkregen door (offline) nesting in dflowfm2d-noordzee_100m-j22_6-v1a gebruikt. De uit dit model verkregen waterstanden zijn geïnterpoleerd naar de randlocaties van het RMM rooster, horende bij het domein 'Maasmond' met enclosure *rmm-j26_6_enc*. Dit resulteert in 148 tijdseries van de waterstand (getij en stormopzet) op de rand van het model.

Laterale lozingen en onttrekkingen

- **Standaardsommen:** op een zestal locaties wordt een theoretische laterale lozing en onttrekking opgelegd, afkomstig uit WBI- en BOI-werkzaamheden.
- **Jaarsommen:** randvoorwaarden voor vijf lateralen zijn afgeleid op basis van de jaarsommen met het 1D SOBEK-model, waarvan de aanlevering door Rijkswaterstaat West-Nederland Zuid komt.

Meteo

- **Standaardsommen:** er worden enkel ruimtelijk uniforme windvelden opgelegd, afkomstig uit WBI- en BOI-werkzaamheden.
- **Jaarsommen:** Voor meteorologische forcering is een afweging gemaakt tussen een ruimtelijk constante en ruimtelijk variabele windforcering. Er is in overleg met RWS en HbR besloten om HiRLAM te gebruiken in de kalibratie en validatie, mede ook omdat dit een ruimtelijk variërende wind en luchtdruk voorziet voor het gehele RMM gebied. Sinds uitfasering van HiRLAM kan meteorologische forcering van HARMONIE gebruikt worden. Voor de randvoorwaardenset 2020-2023 wordt HARMONIE gebruikt.

Zout en temperatuur

- Omdat het prognostisch berekenen van het zouttransport alleen mogelijk bleek bij hele kleine tijdstappen en dus hele lange rekentijden, is in overleg met RWS besloten om het RMM model diagnostisch te laten rekenen. Deze beslissing heeft als effect dat de opgelegde velden voor zout en temperatuur in de tijd constant blijven, waardoor de randvoorwaarden voor zout en temperatuur geen effect hebben.

Overige fysica

- Er is geen rekening gehouden in de interactie met het grondwater (inziging en indringing).

Numerieke instellingen

Gebruik is gemaakt van de instellingen zoals vastgesteld in generieke specificaties (Minns et al., 2023) met onderstaande uitzonderingen.

Groep	Keyword	Waarde en reden
model	PathsRelativeToParent	1 i.p.v. 0, zodat het model zonder wijzigingen in DeltaShell geïmporteerd kan worden
physics	Salinity	1 i.p.v. 0, omdat het effect van zout op de waterstand wordt doorgerekend
physics	Temperature	1 i.p.v. 0, omdat het effect van temperatuur op de waterstand wordt doorgerekend
physics	InitialTemperature	9 i.p.v. 6, omdat dit de temperatuur is van het zeewater aan het begin van de kalibratieperiode

numerics	DiagnosticTransport (*)	1 i.p.v. TransportMethod = 2, deze wijziging is nodig bij het gebruik van de voorgeschreven D-HYDRO versie 2024.03. De parameter stelt dat diagnostisch rekenen wordt geactiveerd, wat betekent dat het model met een constant temporeel zoutveld rekent. Dit was ook het effect van TransportMethod=2 zoals in voorgaande schematisaties werd toegepast.
numerics	Zerozbninflowadvection (*)	1 i.p.v. 0, om een jet op de zuidelijke zeerand te voorkomen
numerics	Tlfsmo	3600 i.p.v. 0 [s], zodat de waterstandsrand rustig wordt opgestart
numerics	Izbnpos	1 i.p.v. 0, omdat de randvoorwaarden zijn afgeleid op de modelrand waar ook de pli-file ligt
wind	ICdtyp	4 (Charnock) i.p.v. 2 (Smith/Banke) voor de kalibratie en validatie
wind	Cdbreakpoints	2.5d-2 i.p.v. 0. 100.
wind	Rhoair	1.2265 i.p.v. 1.205
time	DtUser	60 i.p.v. 300, om instabiliteit in de waterstanden als gevolg van te snel openende of sluitende keringen te voorkomen. Deze instabiliteit werd bij Gouda waargenomen als gevolg van de sluiting van de Hollandsche IJsselkering tijdens de Sinterklaasstorm in december 2013. Tevens is de tijdstap voor trachytopen standaard 60 seconden, welke een veelvoud van DtUser moet zijn (dus niet minder). De waarde van 60 seconden voor DtUser en DtTrt wordt ook gebruikt voor de modellen voor de Maas en Rijnakken.

Kalibratie

Methodiek

De ruwheid in het zomerbed bestaat uit een achtergrondruwheid, vermenigvuldigd met een kalibratiefactor. Tussen de meetstations ligt een kalibratietraject en voor elk traject kan een aparte kalibratiefactor worden opgegeven. Tijdens de kalibratie op waterstanden bij LMW-meetstations is deze kalibratiefactor aangepast tot de bias en RMSE tussen meting en model is gereduceerd tot maximaal enkele centimeters (5 voor de bias en 7 voor de RMSE). Tussen aansluitende trajecten is een geleidelijke overgang in kalibratiefactor over een afstand van 2 km gehanteerd. Bij splitsingspunten wordt de factor gesplitst over de tak.

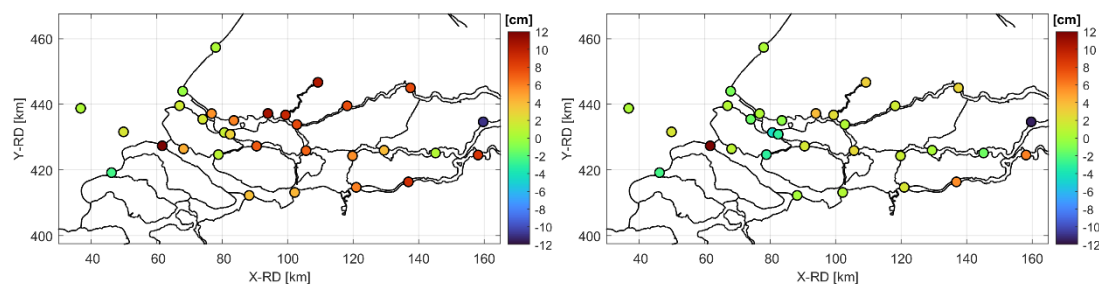
Daarnaast is de kalibratiefactor in het overlapgebied ook afhankelijk gemaakt van de grootte van de rivierafvoer. Voor de riviertakken worden de kalibratiefactoren voor hogere (M2, H1 en H2) afvoeren bepaald met de riviermodellen. Voor de lagere afvoeren is in overleg bepaald welke factoren worden gekozen. Uiteindelijk is alleen voor de Lek de kalibratiefactor bepaald met het RMM model. Voor de overige riviertakken in het overlapgebied zijn de kalibratiefactoren uit het Maas en Rijn model overgenomen. In een toekomstige kalibratieprocedure zouden deze overige riviertrajecten ook kunnen worden meegenomen bij het bepalen van optimale kalibratiefactoren.

Bij de kalibratie van het zesde-generatie 2D RMM-model worden waterstanden op LMW en HbR stations gekalibreerd, waarbij voor alle stations een gelijke weging wordt gebruikt. Voor de kalibratie wordt gebruik gemaakt van de open source data assimilatie toolbox OpenDA met het DUD-algoritme.

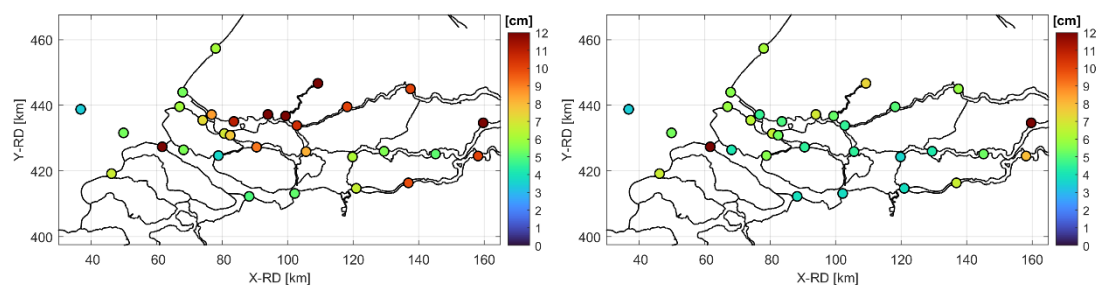
De kalibratieperiode loopt van 1 tot en met 31 december 2013 en bevat afwisselend lage en gemiddelde afvoeren op de drie rivieren en 3 meter stormopzet (Sinterklaasstorm).

Resultaten

De geactualiseerde modelschematisatie dflowfm2d-rmm_vzm-j24_6-v1b bouwt voort op de kalibratiewaardes uit j11 en j13. Figuur 1 en Figuur 2 tonen de bias en RMSE voor het gekalibreerde model j13. Hierin is zichtbaar dat de bias en RMSE voor totale waterstanden (vergelijking tussen model en metingen) over het hele domein sterk afnemen als gevolg van de kalibratie en dus de reproductie van de waterstanden aanzienlijk beter wordt. De afregeling van het benedenrivierengebied heeft ook een positieve invloed op de riviertakken.



Figuur 1 Bias voor waterstanden van voor de kalibratie (links) en na kalibratie met OpenDA (rechts)



Figuur 2 RMSE voor waterstanden van voor de kalibratie (links) en na kalibratie met OpenDA (rechts)

De bias en RMSE voorafgaand aan en na de kalibratie zijn weergegeven in Tabel 1. Uit de statistieken blijkt dat de kalibratie gezorgd heeft voor een afname van de gemiddelde RMSE voor het benedenstroomse gebied van 7,7 cm naar 5,3 cm (8,6 cm naar 5,9 cm voor de riviertakken). De gemiddelde bias voor het benedenstroomse gebied neemt door de kalibratie met OpenDA af van 3,8 cm naar 0,1 cm (van 4,6 cm naar 0,7 cm op de riviertakken). Er wordt voldaan aan het beoordelingscriterium voor de bias (lager dan 5 cm) en de RMSE (lager dan 7 cm) na kalibratie met OpenDA voor alle benedenstroomse stations, met een maximale absolute waarde van 4,5cm (Hartelbrug). De RMSE voldoet voor alle benedenstroomse stations behalve Gouda (7,4cm). Op de riviertakken wordt niet gekalibreerd en de statistiek is dan ook niet voor alle stations beter dan het beoordelingscriterium. Wel verbetert de statistiek op de riviertakken aanzienlijk als gevolg van de kalibratie.

Tabel 1 Verschil in waterstanden tussen model en meting na kalibratie voor de volledige kalibratie- en validatieperioden.

Periode	Geheel model		Rivieren		Benedenstrooms	
	Bias [m]	RMSE [m]	Bias [m]	RMSE [m]	Bias [m]	RMSE [m]
Kalibratie - dec 2013	0.003	0.055	0.007	0.059	0.001	0.053
Validatie - 2011 & 2013	0.011	0.058	0.020	0.076	0.006	0.049

Validatie

Methodiek

Diverse validaties zijn uitgevoerd om de kwaliteit van de kalibratie te controleren. Hiervoor is het jaar 2023 gehanteerd. Er is gekeken hoe het model presteert tijdens perioden (validatievensters) waarin de condities vergelijkbaar waren met de condities van de kalibratie. Om de modelstatistiek van waterstanden in afvoer- en stormcondities op te splitsen, wordt de Jaarsomtoolbox toegepast (Deijl et al, 2020). De Jaarsomtoolbox genereert statistiek van (een subset van) de geanalyseerde periode met behulp van grenswaarden voor bovenstroomse afvoeren en stormcondities op basis waarvan selectie plaatsvindt:

- Gehele periode;
- Verlaagde waterstand door storm (periodes waarin de waterstand bij Hoek van Holland lager is dan astronomisch getij en er binnen die periode een waterstand optreedt lager dan -0,92m);
- Verlaagde waterstand door afvoer (debiet Lobith <1200 of Megen <25);

- Verhoogde waterstand door storm (periodes waarin de waterstand bij Hoek van Holland hoger is dan het astronomisch getij en er binnen die periode een waterstand optreedt hoger dan +2,8 m)¹;
- Verhoogde waterstand door afvoer (debiet Lobith >4300 of Megen >1800).

Resultaten

De bias voor de stations in het benedenstroomse gebied vallen binnen het gestelde beoordelingscriterium (Tabel 1, hele periode, eerste kolom). Gemiddeld over alle benedenstroomse stations is de bias van de waterstand 0,6 cm (RMS 2,2 cm). Opmerkelijk is dat de standaarddeviatie van de bias relatief hoog is voor Lichteiland Goeree. De RMSE voor de stations in het benedenstroomse gebied vallen binnen het gestelde beoordelingscriterium (RMSE <7cm), het gemiddelde over deze stations is 4,9 cm. Ten opzichte van dflowfm2d-rmm-vzm-j24_6-v1a neemt de RMSE op alle LMW-stations af. In vergelijking tot dflowfm2d-rmm-vzm-j19_6-v1d neemt de RMSE voor dflowfm2d-rmm-vzm-j24_6-v1b beperkt toe ter plaatse van de LMW-stations Stellendam-Buiten (+2 cm), waar de lokale bathymetrie zeer bepalend is voor het (gemodelleerde) getijdesignaal. Ook ter plaatse van LMW-station Tiel op wordt een toename in RMSE gevonden van 1 cm. Het is mogelijk dat op deze locatie de optimale kalibratiefactor is veranderd door aanzienlijke wijzigingen in Baselineschematie. Ten opzichte van dflowfm2d-rmm-vzm-j24_6-v1a is het verschil in RMSE op deze locaties verwaarloosbaar (Gradussen & Zijlker, 2024).

De validatie over het jaar 2023 bij ontwikkeling van **dflowfm2d-rmm_vzm-j24_6-v1b** gaf geen noodzaak tot nieuwe kalibratie (Zijlker & Gradussen, 2025).

Nauwkeurigheid en modelonzekerheid

Voor het benedenstroomse gebied zijn de waarden voor bias voor de gehele periode lager dan de gestelde norm en voor de meeste stations lager dan 3,5 cm. Gemiddeld over de benedenstroomse stations is de bias van de waterstand 0,6 cm met een RMS van 2,5 cm. De bias is voor veel andere condities vergelijkbaar, maar de bias voor laagwaterstanden door lage afvoer is veel hoger (de waterstanden worden overschat). Voor de RMSE voldoen de benedenstroomse stations ook aan het gestelde criterium als gekeken wordt naar de gehele periode, maar er zijn uitschieters bij de conditie 'hw storm' (hoge waterstanden door storm).

Bij opsplitsing van de waterstanden in getij en opzet geldt dat gemiddeld over de benedenstroomse stations de RMSE ongeveer 2,7 cm is voor getij en 4,0 cm voor opzet, waar dit 4,9 cm was voor de totale waterstanden.

Voor rivierstations zijn de bias en RMSE waarden veel hoger. De kalibratiefactoren voor de riviertakken volgen rechtstreeks vanuit de riviermodellen. Deze kalibratiefactoren zijn afgeleid voor andere periodes en dus schematisaties en afvoeren en daarnaast is er gekalibreerd op de bias in plaats van de bij RMM gebruikte kwadratische kostenfunctie. Daarnaast worden de afvoeren in de riviermodellen op een andere manier afgeleid en bijgesteld op basis van extra informatie en relaties.

De RMSE-waarden van de zesde generatie D-HYDRO validatieperiodes zijn vergelijkbaar met die van het vijfde generatie WAQUA model. In het noorden van het domein iets slechter, in het zuiden iets beter en gemiddeld ongeveer gelijk. De bias is in het zesde generatiemodel iets hoger dan in het vijfde generatiemodel. Een directe vergelijking is echter niet mogelijk, omdat de modellen zijn doorgerekend voor andere condities, andere periodes en bijbehorende schematisaties.

Modelgebruik

¹ De grenswaarde van 2,8 m komt overeen met stormcondities. Bij normale Jaarsomtoolbox sommen wordt met een grenswaarde van 2,2 meter gerekend (verhoogde waterstand). Bij gebruik van die waarde is er ook een 'storm' in december 2011 terwijl dit in werkelijkheid niet zo is. Het gebruik van een dergelijk hoge grenswaarde zorgt wel voor redelijk hoge waarden voor bias en RMSE.

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 modelschematisatie (Rijkswaterstaat, 2021b). Voor snelle tests naar mogelijke impact van een aanpassing kan dit ook rechtstreeks via de D-HYDRO GUI (versie voor 2D3D).
- **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 (afvoerraaian 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 afvoerraaian 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 rekentijden

Het model maakt gebruik van automatische rekentijdstepverkleining op basis van het CFL-criterium. Hierdoor heeft een model een langere rekentijd bij hoge afvoeren dan bij lage afvoeren.

Het beschreven model heeft een gemiddelde rekentijdstep van ongeveer 10 seconden en een rekentijd van 13,6 uur per maand (25,7 minuten per dag, 6,5 dagen per jaar) op 2 nodes met elk 4 cores op het Deltares H6 rekencluster². Doordat de rekentijdstep varieert, is deze rekentijd afhankelijk van de opgelegde condities. Deze rekentijden gelden voor de kalibratieperiode (december 2013).

Koppelingen en relaties met andere modellen

- Baseline NL (via clipcontour clip_contour_rmm_vzm_j24_6_v1 wordt de deelschematisatie van RMM hieruit aangemaakt).
- Het rooster van de Rijn-Maasmonding sluit aan op het rooster van het Rijntakken-, Maas- en overige delen in de Zuidwestelijke Delta.

Praktisch gebruik van het model

- Het model kan gerund worden via de opgeleverde DIMR-versie (Windows of Linux). Het runnen via de (2D3D) GUI van D-HYDRO is (praktisch) niet mogelijk. Het is wel mogelijk om het model in de 2D3D GUI te openen, maar daar worden nog niet alle functionaliteiten ondersteund.
- Bij het model worden meerdere initiële condities meegeleverd. Er kan gewisseld worden tussen de condities door het aanpassen van de IniFieldFile en de StructuresFile in het mdu-bestand. Het inititële waterstandsveld voor alle modelscenario's is afkomstig uit de baselineprojectie van Baseline-rmm-j24_6-v1.
- Voor het postprocessen van de bestanden kan gebruikt gemaakt worden van de tool *dfmoutput* (onderdeel van D-HYDRO) voor bijvoorbeeld het samenvoegen van partities en berekenen van HIS-statistieken (zoals max13 en last25).
- In principe wordt het D-HYDRO-model voor de standaardsommen gebruikt in combinatie met de enclosure-polygoon model_boundary_rmm_vzm_HA10_j24_6_v1. Ter volledigheid is ook enclosure-polygoon model_boundary_rmm_j24_6_v1 geleverd. Deze laatste enclosure hoort bij de kalibratie- en validatiesommen zonder Volkerak-Zoommeer, maar met het grote zeedomein.
- Voor verdere toelichting over de modelactualisatie wordt verwezen naar de actualisatierapportage (Zijlker & Gradussen, 2025). Voor het gebruik van D-HYDRO, zie de manual (Deltares, 2024).

Beschikbare versies

² Cluster Hydrax6, queue normal-e3: Cores 920/1850 (HT), Intel Xeon CPU E3-1276 v3 @ 3.60 GHz

Modelschematisaties

In de Release notes is een uitgebreidere toelichting opgenomen van iedere modelschematisatie.

Modelschematisatie	Type	Jaar	Software	
			Baseline	D-HYDRO Suite
dflowfm2d-rmm-j11_6-v1	K/V	2022	6.2.1	2022.01_PATCH01
dflowfm2d-rmm-j13_6-v1	K/V	2022	6.2.1	2022.01_PATCH01
dflowfm2d-rmm_vzm-j19_6-v2d	A	2022	6.2.1	2022.01_PATCH01
dflowfm2d-rmm_vzm-beno19_6-v1c	B	2022	6.2.1	2022.01_PATCH01
dflowfm2d-rmm_vzm-hr2023_6-v1c	H	2022	6.2.1	2022.01_PATCH01
dflowfm2d-rmm_vzm-j24_6-v1a	A	2024	6.3.2	2024.03
dflowfm2d-rmm_vzm-beno19_6-v1d	B	2024	7.0.1	2025.01
dflowfm2d-rmm_vzm-j24_6-v1b	A	2025	7.0.1	2025.01

De schematisaties zijn weergegeven op volgorde van actualiteit van de gebiedsbeschrijving. De dik gedrukte schematisaties zijn de vigerende versies. In grijs zijn de schematisaties aangegeven die intussen zijn vervangen door een nieuwere versie voor ditzelfde schematisatiejaar.

- De kolom '**modelschematisatie**' verwijst naar de naam van de modelschematisatie: Hieraan is te zien welke geometrie de schematisatie het beste representeert. Het jaar verwijst naar de start van het hoogwaterseizoen (dus j10 staat voor seizoen 2010-2011) (zie ook Rijkswaterstaat, 2021a).
- De kolom '**type**' model verwijst naar het gebruik van het model: K=kalibratie, V=validatie, A=actueel, B=beno, H=HR
- 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 getest.

Randvoorwaardensets

De volgende randvoorwaardensets zijn beschikbaar voor de zesde-generatie Rijn-Maasmonding-modellen. Deze zijn ingedeeld in de typen: historisch opgetreden afvoergolven (hist), hydraulische randvoorwaarden (hr), en testsommen voor bijvoorbeeld de actualisatie van het model (test).

Naam	Type	Beschrijving	Referentie
2007-2008	hist	Jaarsom 2007 en 2008	Veenstra et al. (2021)
2011	hist	Jaarsom 2011	Veenstra et al. (2021)
2013	hist	Kalibratiesom	Veenstra et al. (2021)
St. sommen	test	Set randvoorwaarden ten behoeve van controle van een model bij actualisatie	Van der Wijk et al. (2022)
HR2023	hr	Set randvoorwaarden voor gebruik in BOI2023	Van der Wijk et al. (2022)
2020-2023	hist	Jaarsommen 2020-2023	Zijlker & Gradussen (2025)

RGWM-regressierelaties

Voor het afleiden van laterale afvoeren met behulp van de Randvoorwaarden Generator Watermodellen (RGWM; Tanis, 2020) zijn voor verschillende WBI condities relaties beschikbaar. Hierbij worden voor 2 lateralen op de Lek en 4 lateralen op de Maas randvoorwaarden gegenereerd. Op basis van de RGWM van de Rijn en Maas zijn er in het overlapgebied meer lateralen af te leiden.

Release notes

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

dflowfm2d-rmm-j11_6-v1 (Veenstra et al., 2022)

De j11_6 schematisatie is gebaseerd op j12_5-6 welke weer is gebaseerd op j12refact waarin met Baseline-maatregelen de actualisatie is uitgevoerd van 1995 naar 2012 voor de riviertakken. Met behulp van downgrade maatregelen wordt de situatie van 2011 weergegeven.

dflowfm2d-rmm-j13_6-v1 (Veenstra et al., 2022)

De j13_6 schematisatie is gebaseerd op j12_5-6 waarin met Baseline-maatregelen de actualisatie is uitgevoerd van 2012 naar 2013. Deze schematisatie bevat de ecotopenkartering 2012 met een (fijne) resolutie van 5x5 m. Deze schematisatie is gebruikt voor de kalibratie op 2013.

dflowfm2d-rmm_vzm-j19_6-v2d (van der Wijk et al., 2022)

De basis voor dit model is het kalibratie-validatie-model van j13. Naast het bijwerken van de geometrie op basis van een geactualiseerde baseline-schematisatie, bevat het actuele j19-model de volgende toevoegingen:

- Operationele sturing is geïmplementeerd voor alle keringen en sluizen in het model.

- De benedenstroomse randvoorwaarde is bijgesteld naar een klein zeedomein ten behoeve van BOI2023.
- Volkerak-Zoommeer is toegevoegd.

Ten slotte is de geometrie in het model afgeleid vanuit de landsdekkende database Baseline-NL (baseline_nl_land-j19_6-v2) waardoor de consistentie in de overlapgebieden met Rijntakken en Maas wordt verbeterd.

dflowfm2d-rmm_vzm-beno19_6-v1c (van der Wijk et al., 2022)

De basis voor dit model is het actuele j19-model, waarbij voor het beno19 model gebruik wordt gemaakt van de vegetatielegger en er worden toekomstige maatregelen toegevoegd (alleen in het overlapgebied met de rivieren). In het overlapgebied is de maximale waterstand op de Waal 10 centimeter hoger in het beno model, op de Lek is de waterstand in het beno model 5 centimeter lager. In het benedenrivierengebied is er geen noemenswaardig verschil merkbaar. De geometrie van het model is afgeleid vanuit de landsdekkende database baseline_nl_land-beno19_6-v1. Voor dit model geldt dezelfde operationele kunstwerksturing als voor j19 en het kleine zeedomein.

dflowfm2d-rmm_vzm-hr2023_6-v1c (van der Wijk et al., 2022)

Dit model is identiek aan het model dflowfm2d-rijn-beno19_6-v1c alleen met de toevoeging van de BOI2023-uitvoerlocaties. Dit model is opgebouwd uit baseline_nl_land-hr2023_6-v1. Voor dit model zijn specifieke randvoorwaarden en initiele condities afgeleid.

dflowfm2d-rmm_vzm-j24_6-v1a (Gradussen & Zijlker, 2024)

Dit model is grotendeels gebaseerd op dflowfm-rmm_vzm-j19_6-v2d. De modelgeometrie is echter geactualiseerd aan de hand van Baseline-nl-j24_6-v1.

Enkele handmatige aanpassingen zijn doorgevoerd aan de modelschematisatie zoals die door Baseline geprojecteerd worden:

- Locaties voor de zoutriolen rondom de Haringvlietsluizen zijn toegevoegd als punten waar laterale afvoeren kunnen worden opgelegd.
- Enkele handmatige aanpassingen zijn gedaan aan de sturing van de Volkeraksluizen en aan de naastliggende fixed weirs om doorstroming door de spuisluizen richting het Volkerak Zoommeer te garanderen.

Er zijn aanpassingen gedaan aan de instellingen van het model:

- Het formaat van de modeluitvoer is gereduceerd, wat mogelijk is door de ingebruikname van D-HYDRO-release 2024.03.
- Ten opzichte van j19 is in j24 het keyword DiagnosticTransport=1 toegevoegd om met een constant zoutveld te blijven rekenen. Gebruik van D-HYDRO release 2024.03 vereist deze aanpassing.

dflowfm2d-rmm_vzm-beno19_6-v1d (Spruyt & Zijlker, 2025)

Dit model is grotendeels gelijk aan dflowfm2d-rmm_vzm-beno19_6-v1c. De conversie naar D-HYDRO invoer is nu alleen gedaan met Baseline 7.0.1 in plaats van Baseline 6.3.1.

Ten opzichte van de baseline-projectie zijn twee handmatige aanpassingen gedaan (net zoals bij dflowfm2d-rmm_vzm-beno19_6-v1c):

- Rondom kunstwerken zijn enkele thin dams toegevoegd (met file geometry/rmm_vzm-beno19_6-v1d_thd_additional.pli)
- Ten zuiden van de spuisluizen naar het Volkerak zijn handmatige aanpassingen aan overlaten gedaan. Deze zijn noodzakelijk om spuien naar het Volkerak te kunnen simuleren. Deze aanpassing bestaat uit
 - Het verwijderen van de overlaten in rmm_vzm-beno19_6-v1d_fwx_toremove.pliz uit het geprojecteerde bestand met overlaten
 - Het toevoegen van de aangepaste overlaten uit: geometry/rmm_vzm-beno19_6-v1d_fwx_additional.pliz

Daarnaast wordt het model uitgeleverd met D-HYDRO 2025.01, hiervoor zijn enkele aanpassingen gedaan aan de keywords in de MDU:

Er is voor gezorgd dat de uitvoerfiles in single-precision en gecomprimeerd weg worden geschreven, zodat de grootte van de uitvoerbestanden kleiner wordt. Dit betekent dat in de MDU-file de volgende keywords zijn aangepast/toegevoegd:

```
NcMapDataPrecision      = single
NcHisDataPrecision      = single
NcFormat                = 4   (deze was 3)
NcCompression           = 1
```

Ten opzichte van de v1c is in v1d het keyword DiagnosticTransport=1 toegevoegd om met een constant zoutveld te blijven rekenen. Dit keyword komt in de plaats van TransportMethod=2

```
DiagnosticTransport      = 1
TransportMethod       = 2
```

Het keyword Qhrelax is komen te vervallen:

```
Qhrelax                = 0.01
```

De start en stoptijd van de simulatie worden nu aangegeven in een gebruikersvriendelijk format:

```
StartDatetime           = 20500101000000
StopDatetime            = 20500116000000
TStart                = 0
TStop                 = 21600
```

Er is een keyword toegevoegd dat een modelrun automatisch stopt en een foutmelding geeft als het model instabiel wordt bij een hele kleine tijdstap:

```
MinTimestepBreak        = 0.001
```

Er is een keyword toegevoegd om observatiepunten die buiten het netwerk en/of enclosure vallen niet weg te schrijven in de history file

```
DeleteObsPointsOutsideGrid = 1
```

Tot slot zijn enkele keywords van history- en mapuitvoer aangepast om by default niet teveel uitvoer weg te schrijven. Het staat gebruikers vrij dit aan te passen naar wens.

dflowfm2d-rmm_vzm-j24_6-v1b (Zijlker & Gradussen, 2025)

Dit model is grotendeels gebaseerd op dflowfm-rmm_vzm-j24_6-v1a. De modelgeometrie is gebaseerd op Baseline-nl-j24_6-v1.

Ten opzichte van dflowfm-rmm_vzm-j24_6-v1a zijn enkele wijzigingen doorgevoerd:

- Roosteraanpassingen Volkeraksluizen;
- Roosteraanpassingen Haringvlietsluizen;
- Roosteraanpassingen domein overlap met Rijn- en Maasmodel;
- Modelrandvoorwaarden voor de jaarsommen 2020-2023 zijn toegevoegd.

De geactualiseerde modelresultaten zijn gevalideerd aan de hand van standaardsom tbd en een jaarsom voor het jaar 2023.

Referenties (alfabetisch)

Deltares (2024). D-Flow Flexible Mesh. User Manual In te zien op: https://content.oss.deltares.nl/delft3d/D-Flow_FM_User_Manual.pdf

Gradussen, B., Zijlker, T. (2024). 11210333-004-ZWS-0006_v1.0-Jaarlijkse Actualisatie Modellen RMM 2024

Minns, T., Spruyt, A.S. en Kerkhoven, D. (2021). Specificaties zesde-generatie modellen met D-HYDRO: Generieke technische en functionele specificaties (v1-2023). Deltares rapport 11208053-012-ZWS-0024, 22 december 2022.

Spruyt, A. & T. Zijlker (2024): Overstap vergunningverleningsmodellen RWS naar Baseline 7 en D-HYDRO 2025.01. Deltares memo 11210333-015-ZWS-0001.

Rijkswaterstaat (2021a) Naamgeving conventies modellen Rijkswaterstaat Versie 2.0. In voorbereiding

Rijkswaterstaat (2021b) Dienstspectificaties. Deze variant voor Baseline 6 is nog in voorbereiding

Rijkswaterstaat & Deltares. Factsheet Baseline-NL.

Tanis, H. (2020). Randvoorwaarden Generator Water Modellen (RGWM) 2.2.1. Gebruikershandleiding RGWM.

Veenstra, J., van der Kaaij, T., Visser, T., Becker, A., van der Wijk, R. (2022) 11208053-004-ZWS-0003_v0.4-Ontwikkeling zesde-generatie Rijn-Maasmonding-model.docx.

van der Wijk, R., Veenstra, J., van der Kaaij, T., Visser, T. (2022) 11208053-004-ZWS-0007_v0.1-Actualisatie 2D D-Flow FM model van de Rijn-Maasmonding Opzet j19, BenO19 en HR2023 model.docx.

Zijlker, T., Gradussen, B. (2025). 11211534-004-ZWS-0003_v1.0-Actualisatie RMM2D



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.