

D-Flow FM 3D RijnMaasMonding



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: <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/applicaties-modellen/modelschematisaties>



Leeswijzer

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 en wordt gevolgd door paragrafen waarin meer details staan over de uitgangspunten en aannames bij de opzet en ontwikkeling van de modellen van Rijkswaterstaat. De algemene inleiding geeft in vier paragrafen informatie over de rol van hydrodynamische modellen bij Rijkswaterstaat, over het gemodelleerde gebied, over de mogelijke toepassingen en over de geografische brongegevens. Deze informatie is vooral bedoeld voor een bredere groep van geïnteresseerden.

Vanaf paragraaf “rekenrooster”, is de factsheet vooral bedoeld voor mensen die beschikken over een modelleerachtergrond. De opvolgende paragrafen bevatten informatie over de beschikbare modellen en de onderliggende uitgangspunten en modelleerkeuzes. Per modelitem wordt dit op hoofdlijnen nader toegelicht. Voor nadere details wordt verwezen naar de modelrapportages onder de paragraaf “Referenties”.

De factsheets zijn conform een uniform template opgezet. Dit met als doel dat de lezer eenvoudig zijn weg kan vinden in de factsheets voor de verschillende gebieden en deze onderling ook kan vergelijken.

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.

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, zoutgehalten en watertemperatuur (vanaf versie v2b) 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 per se 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, stroomsnelheden en watertemperatuur over de diepte, zaken die bepalend zijn voor zoutindringing.

Voor een uitgebreide beschrijving van het model wordt verwezen naar (Kaaij, et al., 2020), (Kaaij, et al., 2021) en, voor v2b, (Kaaij, 2025)

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. Het berekenen van de watertemperatuur met name met het oog op vergunningverlening (vanaf versie v2b).

Merk op: Voor de water temperatuur geldt dat de gemeten water temperaturen in het zeegebied van het model goed worden voorspeld. Voor het rivierendeel van het model geldt dat gemeten temperaturen structureel 0,5 a 1 °C hoger zijn dan berekende waarden. Voor toepassing van het model in het kader van vergunningverlening voor warmtelozingen moet het verschil tussen de gemeten en de berekende temperatuur ter plaatse van een nabijgelegen meetlocatie in de analyse van berekeningsresultaten verdisconteerd worden.

4. 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

RWS heeft daarom, rekening houdend met het bovenstaande, deze modelschematisatie (dflowfm3d-rmm-j19_nw18_6-v2b) 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.
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-v2b), 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:

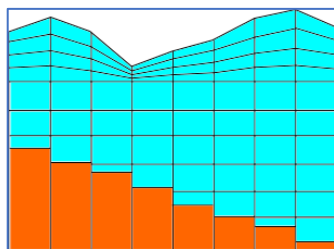
Het ongestructureerde rekenrooster is op de hoofdvaarwegen en in het zomerbed zoveel als mogelijk curvilineair (met vierhoekige rekencellen). Het winterbed en de havens worden met driehoekige roostercellen weergegeven. Het rekenrooster sluit naadloos aan op de rekenroosters van naburige modelschematisaties.

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 derde 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:

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, et al., 2022). 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 (Heusdens 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

- Functionaliteit in D-HYDRO Suite om de energieverliezen door brugpijlers mee te nemen, is momenteel (begin 2026) alleen beschikbaar voor 1D- en 2D-modellen.

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 saliniteits- en temperatuurprofielen worden gespecificeerd. Deze tijdreeksen kunnen worden gegenereerd met het 3D-DCSM FM model (Zijl, et al., 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, et al., 2021).
- Ter plaatse van instromende rivieren, Hagestein (Rijn), Tiel (Rijn) en Lith (Maas), is per rivier een tijdreeks debiet met een daarbij behorend zoutgehalte en watertemperatuur gespecificeerd. Deze informatie is afkomstig uit DONAR-database van RWS.

Lozingen en onttrekkingen

- De zoet water lozingen en onttrekkingen zijn overgenomen uit SOBEK3 jaarsom voor 2018 (Deijl, et al., 2019). Voor de Hollandsche IJssel betreft dit alleen een lozing/onttrekking te Gouda. Vanwege de beoogde toepassing van het 3D model voor zoutindringing op de Hollandse IJssel, is daar de lozings-/onttrekkingsinformatie uitgebreid met de lozingen en onttrekkingen op de Hollandsche IJssel. Het betreft hier voornamelijk uitslagen van de poldergemalen, zoals verzameld/toegeleverd in/voor (Wijk, et al., 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.
- De locaties van de koelwater lozingen- en onttrekkingen zijn overgenomen uit het Landelijk Sobek Model (Loos, et al., 2022). Het bleek niet doenlijk om voor alle koelwaterlozingen in het RMM gebied, ongeveer 80 locaties, de lozingsinformatie, bestaande uit debiet en temperatuurverhoging van het geloosde water, te achterhalen. Enkel de belangrijkste warmtelozingen zijn als bron in het model opgenomen. Het betreft hier de vergunde hoeveelheden.

Randvoorwaarden

Meteo

- Het effect van wind en (variërende) 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 (v2b) berekent ook de watertemperatuur. Voor de forcering van het warmtemodel wordt gebruik gemaakt van in tijd en ruimte variërende velden van onder andere relatieve luchtvochtigheid, luchttemperatuur, zoninstralingsflux, etc, afkomstig uit het meteorologisch ERA5 model
- 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 hefhoogten van de Haringvlietsluizen zijn identiek aan de hefhoogten 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., 2023). 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. Wel is een gevoeligheidsonderzoek uitgevoerd naar het effect van parameters gebruikt in de temperatuurmodellering, i.e. de Stanton en Dalton parameter en de Secchi diepte (Kaaij, 2025).

Resultaten

Niet van toepassing

Validatie

Methodiek

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

De toetsingsperioden zijn:

- December 2011, v2a, (Kaaij, et al., 2020),
- Mei 2011, v2a (Kaaij, et al., 2020), en,
- Najaar 2018, v2a en v2b, zie *respectievelijk* (Kaaij, et al., 2021) en (Kaaij, 2025).

Resultaten

De bias, standaarddeviatie en RMSE van de zoutreproductie en watertemperatuur ter plaatse van RWS-meetlocaties, op basis van de data-model-vergelijking voor periodes in 2018, zijn op de volgende pagina in tabelvorm opgenomen. Voor analyse deelperiodes en figuren van tijdreeksen per locatie wordt verwezen naar de rapportage (Kaaij, 2025). Daarin wordt ook nader ingegaan op de berekende temperatuur in de vaste meetpunten. De onderste regel in de eerste tabel voor de zoutreproductie bevat ook de gemiddelde waarden van versie v2a. Alle kentallen, bias, Standdeviatie, RMSE en correlatiecoëfficiënt, geven aan dat de saliniteitsreproductie is verbeterd ten opzichte van v2a van het model. Dit is een gevolg van opname van extra onttrekkingen in de schematisatie. Omdat de simulatieperiode een droge periode betreft zijn de Haringvlietsluizen gesloten. Extra onttrekkingen betekent dan minder (rest)afvoer over de Nieuwe Waterweg met als gevolg een grotere zoutindringing door Nieuwe Waterweg en Nieuwe Maas. Voor watertemperatuur geldt dat de reproductie in het zeegebied van het model goed is. Voor het rivierendeel van het model geldt dat de berekende temperatuur 0.5 a 1 graden Celsius lager is dan gemeten waarden. Voor het rivierendeel geldt dat de berekende watertemperatuur voornamelijk bepaald wordt door de uit de meteorologische forcering bepaalde warmtefluxen.

Meetlocatie	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]	0,65	2,33	2,41	0,87
Lekhaven	z = -2.50[m]	-0,25	0,94	0,97	0,86
	z = -5.00[m]	-0,09	0,84	0,84	0,90
	z = -7.00[m]	0,73	0,92	1,17	0,89
Brienoordbrug	z = -2.50[m]	0,29	0,57	0,64	0,94
	z = -6.50[m]	0,45	0,85	0,96	0,92
Krimpen aan de IJssel	z = -4.00[m]	0,09	0,21	0,23	0,94
	z = -5.50[m]	0,07	0,32	0,33	0,90
Kinderdijk aan de Lek	z = -5.00[m]	0,09	0,17	0,19	0,96
Spijkenissebrug	z = -2.50[m]	-0,91	1,48	1,74	0,96
	z = -4.50[m]	-0,25	1,27	1,30	0,97
	z = -9.00[m]	2,76	1,80	3,30	0,95
Beerenplaat	z = -2.00[m]	0,19	0,65	0,68	0,95
Bernisse/Zuidland	z = -3.00[m]	-0,06	0,20	0,21	0,93
Gemiddeld		0,27	0,90	1,07	0,92
j19_nw18_6-v2a (2022)		-0,54	0,98	1,31	0,90

Meetlocatie	Analyseperiode: 1 april 2018 - 1 januari 2019			
	Meethoogte	bias °C	std °C	RMSE °C
Brouwershavense Gat	Depth: 4 m	0.16	0.58	0.60
Lichteiland Goeree	Depth: 6 m	0.11	0.43	0.44
Haringvliet 10	Depth: 2 m	0.28	0.66	0.72
Haringvliet 10	Depth: 9 m	0.23	0.65	0.69
Stellendam boei	Depth: 2 m	-0.71	0.83	1.10
Stellendam boei	Depth: 5 m	-0.70	1.02	1.23
Noordwijk 2	Depth: 1 m	0.42	0.85	0.94
Noordwijk 10	Depth: 1 m	0.19	0.66	0.69
Noordwijk 20	Depth: 1 m	0.45	0.58	0.73
Hoek van Holland	Depth: 2 m	-0.20	0.77	0.79
Hoek van Holland	Depth: 4.5 m	-0.17	0.78	0.80
Hoek van Holland	Depth: 9 m	-0.04	0.69	0.69
Lekhaven	Depth: 2.5 m	-0.71	0.32	0.78
Lekhaven	Depth: 5 m	-0.73	0.30	0.78
Lekhaven	Depth: 7 m	-0.76	0.35	0.84
Brienoord Brug	Depth: 2.5 m	-0.79	0.36	0.86
Brienoord Brug	Depth: 6.5 m	-0.80	0.36	0.87
Krimpen ad IJssel	Depth: 4 m	-1.31	0.86	1.56
Krimpen ad IJssel	Depth: 5.5 m	-1.45	0.91	1.71
Kinderdijk	Depth: 5 m	-0.75	0.37	0.84
Stellendam binnen	Depth: 2 m	-0.31	0.42	0.52
Stellendam binnen	Depth: 6 m	-0.23	0.40	0.46
Stellendam binnen	Depth: 11 m	-0.41	0.44	0.60
Haringvliet boei	Depth: 2 m	-0.26	0.43	0.51
Haringvliet boei	Depth: 8 m	-0.13	0.40	0.42
Haringvliet boei	Depth: 13 m	0.40	1.15	1.22
Middelharnis boei	Depth: 2 m	-0.44	0.42	0.61
Middelharnis boei	Depth: 8 m	-0.41	0.48	0.63
Middelharnis boei	Depth: 15 m	-0.12	0.61	0.62
Inloop Spui	Depth: 1 m	-0.67	0.40	0.78
Inloop Spui	Depth: 5 m	-0.64	0.39	0.74
Volkeraksluizen	Depth: 0.4 m	-0.91	0.49	1.04
Volkeraksluizen	Depth: 4.5 m	-0.64	0.44	0.77
Keizersveer	Depth: 0 m	-0.69	0.44	0.82
Lith	Depth: 2 m	0.03	0.51	0.51
Spijkenissebrug	Depth: 2.5 m	-0.72	0.35	0.80
Spijkenissebrug	Depth: 4.5 m	-0.72	0.36	0.81
Spijkenissebrug	Depth: 9 m	-0.78	0.59	0.98
Beerenplaat	Depth: 2 m	-0.65	0.36	0.74
Bernisse	Depth: 3 m	-0.66	0.37	0.76
Gemiddeld		-0.41	0.54	0.80

Nauwkeurigheid, toepasbaarheid en modelonzekerheid

Het model is getoetst op reproductie van waterstanden, debieten, saliniteit en watertemperatuur. 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, et al., 2021) “directe verzilting” wordt genoemd, zijnde zoutindringing als gevolg van instantané 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 niet voldoende goed door het model gereproduceerd om verzilting van het innamepunt Gouda te kunnen voorspellen. Bij de modeltoepassing moet rekening gehouden worden met bovenstaande.

Voor watertemperatuur geldt dat metingen goed worden gereproduceerd in het zeegebied van het model. Voor het rivierendeel van het model wordt de gemeten watertemperatuur structureel 0,5 a 1 °C onderschat. Bij gebruik van het model in het kader van vergunningverlening hoort dit verschil tussen gemeten en berekende waarden in de analyse van de resultaten te worden verdisconteerd.

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 modelschematisatie (Rijkswaterstaat, 2021b). Voor snelle tests naar mogelijke impact van een aanpassing kan dit ook rechtstreeks via de D-HYDRO GUI (2D/3D versie).
- **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 (afvoerraken 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 afvoerraken 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

De meest recente validatiesimulaties voor deze 3D modelschematisatie zijn uitgevoerd op de het H7-rekencluster van Deltares. Daarbij was, gebruikmakend van 88 cores (zijnde 2 X 44vcpu nodes met Intel(R) Xeon(R) Gold 6342 CPU), de doorlooptijd van één enkele berekening voor orde 7 maanden ongeveer 3 weken wall-clock time.

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 RijnMaasmonding 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, et al., 2020). 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.

Beschikbare versies

Modelschematisatie	Type	Jaar	Software	
			Baseline	D-HYDRO Suite 2D3D (DIMR)
dflowfm3d-rmm-j19_nw18_6-v2b	VB	2025	6.1.1 (2021)	2024.03
dflowfm3d-rmm-j19_nw18_6-v2a	V	2022	6.1.1 (2021)	2022.04_inx64_sif1032 Versie geschikt gemaakt voor Snellius
dflowfm3d_rmm-j13_6-w4	V	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 '**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 getes

Randvoorwaardensets

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

Naam	Type	Beschrijving	Kenmerken	Referentie
Winter 2011 (validatie metingen) v2a	hist	1 oktober 2011 – 31 december 2011	Windsnelheid, -richting (Hirlamv7.2) Zeelandvoorwaarden DCSM-3D, rivierafvoeren Tiel, Lith, Hagestein.	(Kaaij & Chavarrias, 2020)
Lente 2011 (validatie metingen) v2a	hist	1 maart 2011 – 31 mei 2011	Windsnelheid, -richting (Hirlamv7.2) Zeelandvoorwaarden DCSM-3D, rivierafvoeren Tiel, Lith, Hagestein.	(Kaaij & Chavarrias, 2020)
2018 (toetsing watertemperatuur) v2b	hist	2 april 2018 – 1 januari 2019	Windsnelheid, -richting (Hirlamv7.2), in tijd en ruimte variërende velden van relatieve luchtvochtigheid, luchttemperatuur (ERA5), Lateralen zoetwaterlozingen in het gehele RMM gebied, Belangrijkste koelwaterlozingen Zeelandvoorwaarden DCSM-3D, rivierafvoeren Tiel, Lith, Hagestein.	(Kaaij, 2025)

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 daarna 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).

dflowfm3d-rmm-j19_nw18_6-v2b

Ten opzichte van de voorloper, v2a, zijn de wijzigingen/aanpassingen aan de schematisatie, zie Kaaij 2025:

- Het berekenen van de watertemperatuur is toegevoegd.
- Een aantal lozings- onttrekkingslocaties zijn toegevoegd.
- De schematisatie van de onttrekking te Gouda is verbeterd.

Deze modelschematisatie kan dienen als uitgangspunt voor toekomstige 3D-schematisaties voor dit gebied, waarbij de modelbathymetrie kan worden geüpdate met de meest recente informatie uit Baseline.

Referenties (alfabetisch)

Deijl, E. v. en Wijk, R. v. 2019. *Jaarsom 2018 Rijn-Maasmonding*. Delft : Deltares, 2019.

Deltares (2021). D-Flow Flexible Mesh. Computational Core and User Interface. User Manual. Version: 0.9.1. In te zien op: https://content.oss.deltares.nl/delft3d/D-Flow_FM_User_Manual.pdf

Kaaij, Th. van der en 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, 2020.

Kaaij, Th. van der. 2025. *Verdere Ontwikkeling 6e generatie D-HYDRO RMM 3D model; Modellering van Watertemperatuur*. Delft : Deltares, 2025.

Kaaij, Th. van der, Chavarrias, V. en Kranenburg, W.M. 2021. *RMM 3D, een nieuw 3D model van de RijnMaasMonding in D-HYDRO*. Delft : Deltares, 2021.

Loos, s. en Boderie, P. 2022. *Verificatie van LSM3 voor temperatuur*. Delft : Deltares, 2022.

Minns, T.A., Spruyt, A. en Kerkhoven, D. 2023. *Specificaties zesde-generatie modellen met D-HYDRO - Generieke technische en functionele specificaties*. Delft : Deltares, 2023.

Veenstra, J., et al. 2022. *Ontwikkeling zesde-generatie RijnMaasmonding-model; Modelbouw, kalibratie en validatie 2D model*. Delft : Deltares, 2022.

Wijk, R. van, Kranenburg, W. en Kaaij, Th. van der. 2019. *Data-analyse verzilting Hollandsche IJssel en Lek droogteperiode 2018*. Delft : Deltares, 2019.

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



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.