

D-Flow FM 3D & D-Water Quality Slib Waddenzee



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

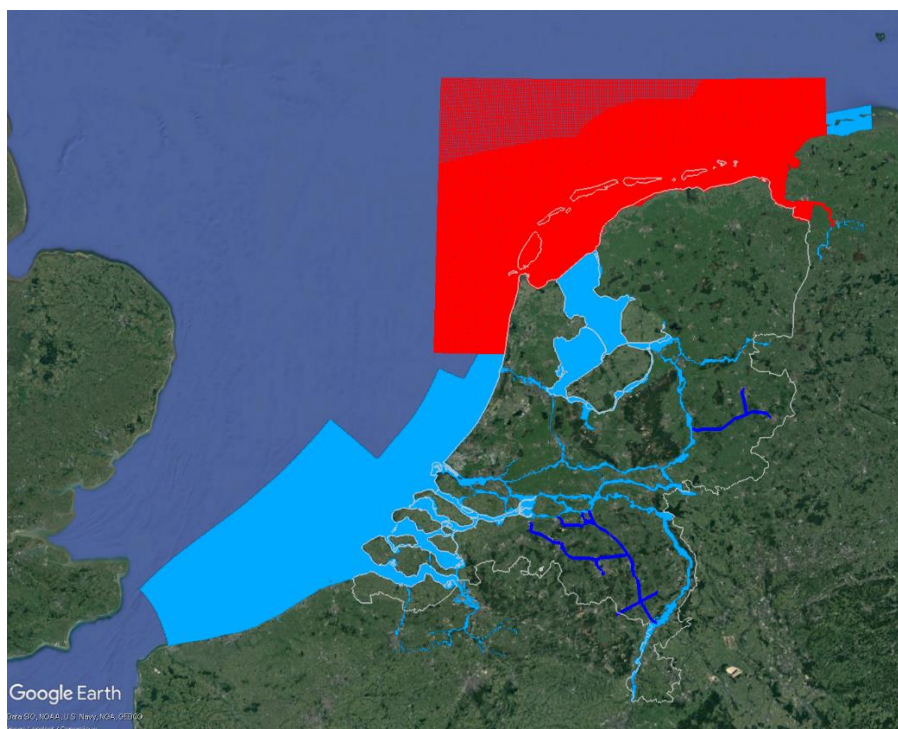
De ontwikkeling van de nieuwe, zesde generatie, modelschematisaties van de door Rijkswaterstaat beheerde watersystemen resulteert in een set schematisaties voor alle Rijkswateren en een aantal aangrenzende gebieden.

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/



Leeswijzer

Deze factsheet geeft een kort en bondig overzicht van een bestaande modelschematisatie(s) (modelinvoer) 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 beschrijven 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 door RWS ingezet voor toepassing bij het opstellen van operationele verwachtingen, vergunningverlening, planstudies en het Beoordelings- en Ontwerpinstrumentarium (BOI). 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 de 3D modelschematisatie voor hydrodynamica en slibdynamiek in de Waddenzee (Dutch Wadden Sea Model (DWSM) – Mud). De formele naamgeving is 'dflowfm3d_dwaq_slib-waddenzee_200m-j22_6-v1a'. Deze modelschematisatie is onderdeel van de zesde generatie modellen. Voor toepassingen van dit model zonder slib bestaat een losse factsheet; de formele naamgeving van het hydrodynamische model is 'dflowfm3d-waddenzee_200m-j22_6-v1a'.

Geografische ligging

DWSM is opgezet voor 3D hydrodynamica in de Nederlandse Waddenzee. Voor correcte aansturing vanaf de modelranden omvat het model daarnaast het Eems-Dollard estuarium en het nabijgelegen deel van de Noordzee. Het gebied wordt weergegeven in het WGS-84 coördinatenstelsel (EPSG: 4326) en het verticale referentievlak is ten opzichte van Normaal Amsterdams Peil (NAP).

Toepassingen

Deze modelschematisatie is ontwikkeld voor onderstaande toepassingen in de Nederlandse Waddenzee. Het model is geschikt voor simulatie van driedimensionale waterbeweging en stroming, inclusief temperatuur en saliniteit, onder verschillende omstandigheden. Het modeldomein en de roosterresolutie zijn gericht op grootschalige toepassingen (d.w.z. op de ruimtelijke schaal van één of enkele bekken). Door de koppeling met de processenbibliotheek in D-Water Quality voor slibdynamiek kan de modelschematisatie worden ingezet ten behoeve van beheer- en beleidsvragen rondom de grootschalige slibdynamiek in de Waddenzee en de uitwisseling van slib tussen de waterkolom en de bodem, op tijdschalen van meerdere getijperiodes tot enkele jaren. De modelschematisatie kan bijvoorbeeld ingezet worden om de effecten van ingrepen op KRW-doelen gerelateerd aan slib en troebelheid te bepalen. Modelresultaten, zoals slibconcentraties en slibgehalten in de bodem, kunnen ook gebruikt worden als input voor ecologische studies.

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), omdat het model niet is afgeregeld op zandtransport en de roosterresolutie in met name de geulen daarvoor te grof is;
2. Scheepvaartbegeleiding (waarin o.a. diepte variërende stroming en dwarsstroming een rol speelt), omdat de roosterresolutie in (vaar)geulen daarvoor onvoldoende is.
3. Slibdynamiek in het Eems-Dollard estuarium, omdat het model hiervoor een te beperkte resolutie heeft in het Eems-Dollard estuarium. Er zijn andere modellen beschikbaar, o.a. i.h.k.v. ED2050.
4. Waterkwaliteitsmodellering. Ondanks dat gebruik wordt gemaakt van de D-Water Quality software voor het simuleren van de slibdynamiek betreft het geen waterkwaliteitsmodel (met bijvoorbeeld nutriënten en primaire productie). In de toekomst is het wel mogelijk om het D-Water Quality model met dergelijke stoffen en processen uit te bereiden.

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

1. Beleidsondersteuning en verkenning, zijnde o.a. doorrekenen van klimaatscenario's en aanpassingen van stuwprogramma's.
2. Effectbepaling op slibdynamiek van beheer en onderhoud van het beheergebied, zijnde o.a. het op diepte houden en onderhoud aan platen, geulen, dammen, kwelders, schorren en slikken.
3. Effectbepaling op slibdynamiek van maatregelen, zijnde o.a. aanpassingen in het gebied zoals bijvoorbeeld beheeringrepen in de vorm van baggeren en storten, verruiming/verdieping van de (vaar)geulen, dijkverlegging, aanpassing strekdammen, natuurontwikkeling, etc.
4. Effectbepaling op slibdynamiek van nieuwe aanlegprojecten, zijnde o.a. natuurontwikkelingsprojecten, inpoldering, aanleg strekdammen en havens, etc.

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 databronnen gebruikt om deze database te vullen en er is gewerkt conform de Dienstspecificatie Invoer Baseline. De belangrijkste bron voor de boven water liggende gegevens is het Digitaal Topografisch Bestand (DTB)-NAT van Rijkswaterstaat-CIV. Voor de onderwatergegevens wordt gebruik gemaakt van lodingen van de Meetdienst van Rijkswaterstaat-CIV. De bodemhoogte op het diepere deel van de Noordzee in het modeldomein is gebaseerd op gegevens van het European Marine Observation and Data Network (EMODnet¹, versie december 2020). De reductiematrix die gebruikt is voor het omzetten van deze gegevens van MSL naar NAP/EVRF is gebaseerd op een berekening met 3D DCSM-FM (Zijl & Groenenboom, 2021) voor de jaren 2013-2016.

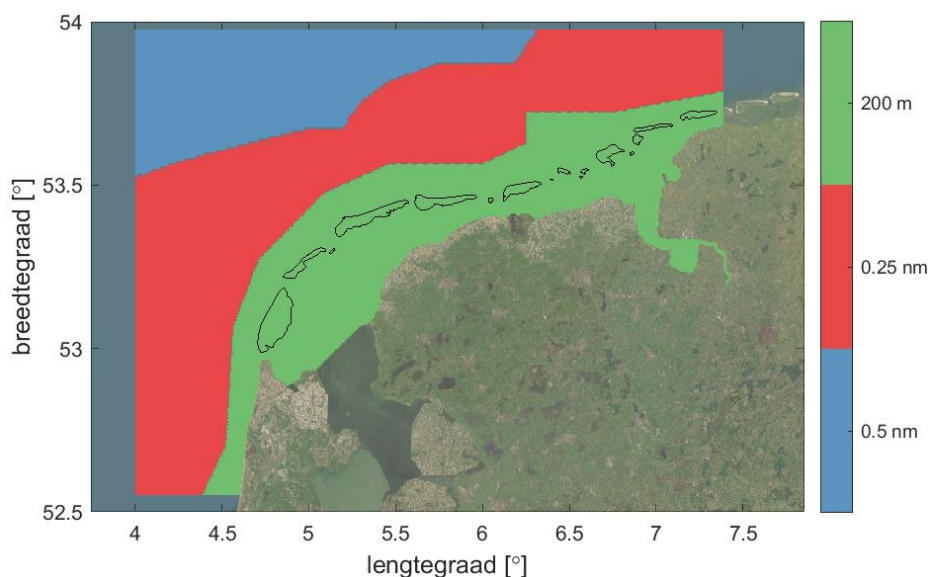
De geografische gegevens in Baseline worden via een automatische procedure (Bas2FM) geprojecteerd op het rekenrooster van de modelschematisatie. Dit betreft de bodemligging, droge punten, dunne dammen, lijnelementen en begrenzingen.

Rekenrooster

Horizontale rooster

Het ongestructureerde rekenrooster is afgeleid van een uitsnede uit het (2D) rekenrooster van DCSM-FM 100m (Zijl et al., 2022). Het rekenrooster bevat voornamelijk rechthoekige roostercellen die zijn uitgelijnd met lijnen van constante lengte- en breedtegraad. In het noordwestelijke deel van het modeldomein van DWSM is de resolutie van het rekenrooster 1/2 nautische mijl (nm) x 1/2 nm. De resolutie neemt in twee verfijningsstappen toe tot ongeveer 200 m x 200 m langs de Noordzeekust, in de Waddenzee en in het Eems estuarium (Figuur 1). Anders dan in het rekenrooster van DCSM-FM 100m wordt de laatste roosterverfijning naar 100 m x 100 m resolutie in de Waddenzee en het Eems-Dollard estuarium in DWSM niet toegepast. Deze keuze volgt uit een afweging tussen enerzijds de resolutie en anderzijds de rekentijd van het driedimensionale model.

De gebieden met verschillende resolutie worden met behulp van driehoekige cellen met elkaar verbonden. Het rooster is zo ontworpen dat het een toenemende resolutie heeft bij afnemende waterdiepte. Het rekenrooster bestaat in totaal uit ongeveer 200.000 nodes.



Figuur 1 Het rekenrooster van DCSM, waarbij de kleuren de celgrootte aangeven (groen: ~200 m; rood: ~0.25 nm; blauw: ~0.5 nm).

¹ Data/information used in this model was made available by the EMODnet Bathymetry project, www.emodnet-bathymetry.eu, funded by the European Commission Directorate general for Maritime Affairs and Fisheries.

Verticale laagverdeling

Het verticale grid wordt beschreven door 10 equidistante σ -lagen. Dit betekent dat elke rekencel een vast aantal lagen heeft waarvan de dikte afhankelijk is van de lokale waterdiepte.

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 gebaseerd op de Baselineprojectie met Baselineboom *baseline-nl_land-j22_6-w1* en *baseline-nl_zee-j22_6-w1*. Omdat hierin voor intergetijdengebieden in het Eierlandse Zeegat, de Vliestroom en het Amelander Zeegat verouderde gegevens van de bodemhoogte zitten, zijn in deze gebieden de bodemgegevens overschreven met LiDAR metingen uit 2016 en 2017.

Overlaten

- De overlaten (*fixed weirs*) uit de Baselineprojectie zijn overgenomen in de schematisatie.

Droge punten, dunne dammen

- Cellen die op land liggen zijn verwijderd uit het rekendomein met behulp van droge punten. Dit is gedaan op basis van Baseline-gegevens.
- Daarnaast zijn stromingsblokkerende elementen, die smal zijn ten opzichte van een rekencel, geschematiseerd door het plaatsen van dunne dammen. Deze dunne dammen verhinderen de stroming tussen twee naastgelegen rekencellen.

Landgebruik en bodemruwheid

- De bodemruwheid wordt gespecificeerd als Manning ruwheidscoëfficiënt. De bodemruwheid is afgeleid van de gekalibreerde bodemruwheid van 2022 release van DCSM-FM 100m (Zijl et al., 2022). De bodemruwheid wordt opgelegd in verschillende vakken waartussen bi-lineair wordt geïnterpoleerd. De waarde van de bodemruwheid in het modeldomein van DWSM varieert tussen $0,013 \text{ s/m}^{1/3}$ en $0,026 \text{ s/m}^{1/3}$.
- Er wordt in het model geen aanvullende parameterisatie van vegetatieruwheden gebruikt.

Kunstwerken

- Er zijn geen kunstwerken in het model opgenomen. Debieten door kunstwerken, zoals de spuisluisen in de Afsluitdijk en de Eemskering, zijn als lozingen opgenomen.

Brugpijlers

- N.v.t.

Hoogwatervrije gebieden

- N.v.t.

Modelgrenzen:

- De rand van het modeldomein volgt de land-zee begrenzing uit Baseline-gegevens en komt overeen met de primaire kering langs de kust.

Modelkarakteristieken – Hydrodynamica

Open randen

- Op de open randen van het modeldomein worden waterstanden en driedimensionale randvoorwaarden voor (advectieve) stroomsnelheden, saliniteit en temperatuur opgelegd welke zijn afgeleid uit de 2022 release van het 3D DCSM-FM model (Zijl et al., 2023). Hiervoor worden 305 steunpunten gebruikt, waartussen door D-Flow FM lineair wordt geïnterpoleerd. Voor waterstanden worden tijdreeksen met een

tijdstap van 10 minuten opgelegd. Voor saliniteit, temperatuur en (advectieve) stromingsnelheden wordt een 3D randvoorwaarde opgelegd, dat wil zeggen dat op elk steunpunt een diepte-afhankelijk profiel wordt opgelegd met 20 waardes. 3D DCSM-FM gebruikt in gebieden ondieper dan 100 m namelijk 20 equidistante σ -lagen en die informatie wordt overgenomen in de randvoorwaarden voor DWSM. De 20-laags randvoorwaarde wordt door de D-Flow FM software geïnterpoleerd op de 10 met de waterstand meebewegende lagen van DWSM. Voor de 3D randvoorwaarden is de tijdstap ook 10 minuten.

Lozingen en ontrekkingen

- De zoetwater debieten in het DWSM domein worden op basis van metingen als bronnen toegevoegd. De grootste bronnen van zoet water zijn de sluizen in de Afsluitduik (nabij Den Oever en Kornwerderzand), de Eems en de Cleveringsluizen in het Lauwersmeer. Een overzicht van alle gebruikte afvoeren, inclusief de bron en temporele resolutie, wordt weergegeven in onderstaande tabel. Hierin wordt ook aangegeven welke metingen er gebruikt zijn voor de temperatuur van het geloosde water. Voor het zoutgehalte is voor alle bronnen een constante waarde van 0,2 psu aangenomen.

Locatie	Tijdstap meetreeks	Bron	Meetlocatie watertemperatuur
Den Oever	10 min	Rijkswaterstaat (Matroos database)	Den Oever
Kornwerderzand	10 min	Rijkswaterstaat	Kornwerderzand buiten
Cleveringsluizen	15 min	Noorderzijvest	Schiermonnikoog
Ems (Herbrum)	1 dag	Datahuis Wadden	Schiermonnikoog
Ems (Leer)	1 maand	Datahuis Wadden	Schiermonnikoog
Harlingen	1 dag	Datahuis Wadden	Schiermonnikoog
Ropta	1 dag	Datahuis Wadden	Schiermonnikoog
H.G. Miedema	1 dag	Datahuis Wadden	Schiermonnikoog
Noordpolderzijl	1 dag	Waterschap Noorderzijlvest	Schiermonnikoog
Spijksterpompen	15 min	Waterschap Noorderzijlvest	Schiermonnikoog
DeDrieDelfzijlen	15 min	Waterschap Noorderzijlvest	Schiermonnikoog
Helsdeur	15 min	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (gebaseerd op operationele voorspellingen)	Schiermonnikoog

Meteo

- Impulsflux:** Bij de validatie van het model is gebruik gemaakt van tijd- en ruimteafhankelijke windsnelheden (op 10 m hoogte) en luchtdruk (op MSL) afkomstig van het meteorologische model ERA5² van het European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF³). Het tijdsinterval van deze gegevens is 1 uur. In de modellering wordt de windsnelheid ten opzichte van de stroomsnelheid beschouwd bij het bepalen van de windschuifspanning (relatieve windeffect). Ook zijn de variaties in de luchtdichtheid in de windsnelheid verdisconteerd. De lokale windschuifspanningscoëfficiënt wordt berekend met een Charnock-formulering. De dimensieloze Charnock-coëfficiënt is overgenomen uit ERA5, zodat deze waarde en formulering consistent zijn met wat in het meteorologisch model gebruikt wordt om de windsnelheid op 10 m hoogte af te leiden.
- Warmteflux:** Om de warmte-uitwisseling tussen het water en de atmosfeer te modelleren wordt een warmtefluxmodel gebruikt. Voor dit model worden tijd- en ruimteafhankelijke zinstraling (korte golf) en neerwaartse atmosferische straling (lange golf) opgelegd vanuit ERA5. Warmteuitwisseling door het lucht-water oppervlak door verdamping en convectie wordt berekend op basis van luchttemperatuur en dauwpunttemperatuur op 2m hoogte en windsnelheid uit ERA5.
- Massaflux:** De massaflux door het lucht-water oppervlak wordt opgelegd met tijd- en ruimteafhankelijke neerslag en verdamping uit ERA5.

Zout en temperatuur

- Transport van zout en temperatuur wordt meegenomen in de modelberekening.

² <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5>

³ This model schematization contains modified Copernicus Atmosphere Monitoring Service information. Neither the European Commission nor ECMWF is responsible for any use that may be made of the Copernicus information or data it contains.

Overige fysica

- Verticale turbulentie wordt berekend op basis van het in D-Flow FM geïmplementeerde k-ε-model. De achtergrondwaarden van de verticale eddy viscositeit en diffusiviteit zijn overgenomen uit het 3D DCSM-FM model.

Numerieke en fysische instellingen

- De opzet van dit zesde-generatie model is gebaseerd op de generieke technische en functionele specificaties zoals beschreven in Minns et al. (2022). Op onderstaande uitzonderingen na worden de standaardinstellingen voor de zesde-generatie D-HYDRO modellen gebruikt.

Overzicht van 2D keywords waarbij van de standaardinstellingen wordt afgeweken

Keyword	Standard setting	DWSM 2022 release
Dxwumin2D	0	0.1
BedlevUni	-5	5
OpenBoundaryTolerance	3	0.1
Izbdpos	0	1
Tlfsmo	0	86400
Rhomean	1000	1023
DtUser	300	600
DtMax	30	100
DtInit	1	30

Overzicht van de keywords met betrekking tot interactie met de atmosfeer waarbij van de standaardinstellingen wordt afgeweken

Keyword	Standard setting	DWSM 2022 release
Secchi depth	2	4 (1 in Waddenzee)
Stanton	-1	0.0013
Dalton	-1	0.0013
ICdtyp	2 (Smith & Banke)	4 (Charnock)
Relativewind	0	0.5
Rhoair	1.205	1.2265
Soiltempthick	1	0
RhoairRhowater	0	1
Jadelvapps	1	0

Overzicht van de 3D keywords waarbij van de standaardinstellingen wordt afgeweken

Keyword	Standard setting	DWSM 2022 release
vicoww	5E-5	1.0E-4
dicoww	5E-5	1.4E-5

Kalibratie

Methodiek

- In DWSM zijn de voor DCSM-FM 100m gekalibreerde Manning ruwheidscoëfficiënten overgenomen. Ook zijn de achtergrondscoëfficiënten van het turbulentiemodel die in 3D DCSM-FM zijn afgeregeld in DWSM overgenomen.

Resultaten

- N.v.t.

Validatie

Methodiek

Het hydrodynamische 3D-model is gevalideerd op basis van een reproductie van gemeten waterstanden (inclusief onderverdeling in gemiddelde, getij en opzet), (residuele) stroming, saliniteit en temperatuur in 2017. Hierbij is de kwaliteit van 3D DCSM-FM, DCSM-FM 100m en de vorige release van DWSM als benchmark gebruikt. De nauwkeurigheid van de reproductie wordt hieronder per onderdeel toegelicht.

Resultaten

Waterstanden

Onderstaande tabel toont de nauwkeurigheid van het model voor het reproduceren van getij, opzet en totale waterstand in 2017 op 25 waterstandsmeeetpunten in het modeldomein. De RMSE van de totale waterstanden is over het algemeen 5-8 cm, waarbij het getij 4-5 cm bijdraagt en de opzet 4-6 cm. Uitzonderingen zijn Den Oever buiten and West-Terschelling met getijfouten van ongeveer 9 cm en de bovenstroomse gebieden van de Eems-Dollard (Emden and Pogum) waar de fout flink toeneemt. De gemiddelde waterstand wordt in de NAP-gereferende stations goed weergegeven met een station-gemiddelde bias van 1,5 cm. In de vorige release van DWSM was dat nog 8,5 cm.

Station	RMSE tide (cm)		RMSE surge (cm)		RMSE water level (cm)	
	DWSM 1 st release	DWSM 2 nd release	DWSM 1 st release	DWSM 2 nd release	DWSM 1 st release	DWSM 2 nd release
Q1	4.8	3.9	4.1	3.5	6.3	5.2
DENHDR	4.3	3.4	4.2	3.8	6.1	5.1
TEXNZE	6.1	5.2	5.2	4.7	8.0	7.0
OUUSD	4.3	6.4	4.2	3.7	6.0	7.4
DENOVBTN	4.3	9.4	6.6	6.0	7.9	11.1
TERSLNZE	4.8	3.6	5.2	4.7	6.5	5.5
VLIELHVN	6.4	4.6	5.0	4.6	8.2	6.5
WESTTSLG	5.7	9.0	4.8	4.6	7.4	10.1
KORNWDZBTN	4.4	6.8	5.6	5.4	7.1	8.7
WIERMGDN	5.2	4.4	5.4	4.8	6.9	6.1
HARLGN	9.1	4.0	9.3	5.6	13.0	6.9
HUIBGT	6.4	5.2	6.5	6.0	7.4	6.8
NES	8.2	3.9	6.1	6.1	10.3	7.2
LAUWOG	5.9	4.5	6.7	7.0	8.9	8.3
SCHIERMNOG	23.0	5.3	12.4	6.7	26.1	8.5
BORKUM_Sudstrand	5.4	4.7	5.4	5.5	7.4	6.8
BorkumFischerbalje	6.5	3.6	6.7	5.2	9.2	6.1
EMSHORN	5.4	4.1	5.4	5.6	7.6	6.9
EEMSHVN	5.2	4.5	5.4	5.6	7.5	7.2
NORDERNEX_RIFFG	4.9	4.7	5.8	6.1	7.6	7.7
DUKEGAT	5.6	4.6	5.9	5.9	8.2	7.5
KNOCK	6.4	4.8	6.5	6.7	9.1	8.3
Average (total)	6.5	5.0	6.0	5.4	8.8	7.3

Diepte-gemiddelde stroomsnelheden

De berekende diepte-gemiddelde stroomsnelheden zijn gevalideerd door te vergelijken met metingen uit de Kustgenese 2.0 meetcampagne rond het Amelander Zeegat in 2017, zie onderstaande tabel. Over het algemeen worden de gemeten snelheden goed gerepresenteerd. De kwaliteit van de kustdwarse snelheden langs de Noordzeekust wordt iets minder goed gereproduceerd.

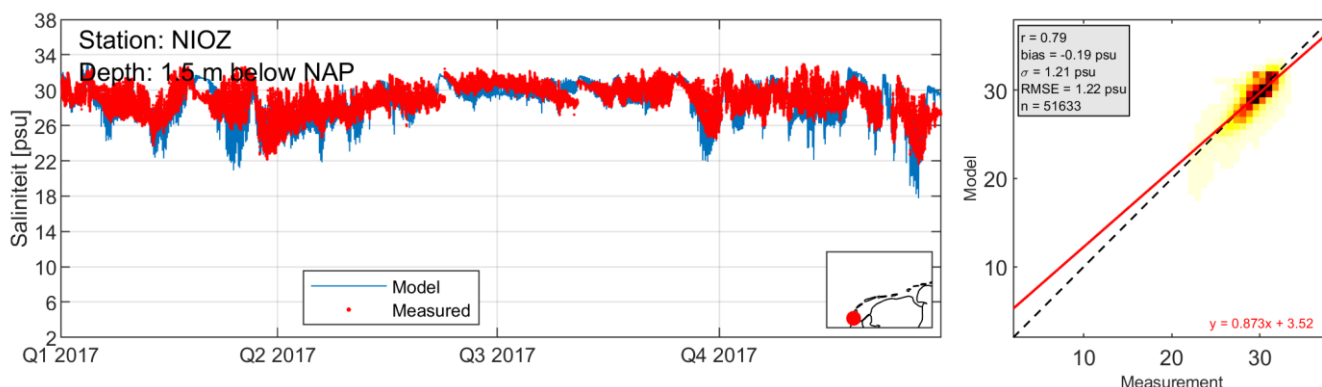
Station	velocity magnitude		u (west-east)		v (south-north)	
	r	RMSE [cm/s]	r	RMSE [cm/s]	r	RMSE [cm/s]
DVA lower shoreface						
DVA F1	0.95	7.3	0.99	8.3	-0.18	17.5
DVA F3	0.90	10.6	0.97	12.7	0.44	14.6
DVA F4	0.88	11.9	0.94	18.0	0.65	19.9
AZG ebb-tidal delta						
AZG F1	0.93	8.8	0.97	12.1	0.78	16.8
AZG F3	0.94	18.2	0.52	29.6	0.99	14.9
AZG F4	0.86	12.6	0.96	13.1	0.74	11.6
AZG F5	0.88	10.5	0.97	11.5	0.22	13.4

Saliniteit

Onderstaande tabel toont de nauwkeurigheid van de reproductie van saliniteitsmetingen op MWTL meetstations in de Waddenzee en in de Noordzee. Over het algemeen wordt de oppervlaktesaliniteit goed weergegeven, waarbij opgemerkt wordt dat de fouten in de Waddenzee groter zijn dan op de Noordzee. Dit

hangt samen met de grotere ruimtelijke en temporele variabiliteit van het zoutgehalte in de Waddenzee. Vergeleken met de voorgaande release van DWSM is de kwaliteit in de meeste stations toegenomen of gelijkgebleven. Figuur 2 laat zien dat het model in staat is om seizoensvariaties en variaties op tijdschalen van enkele dagen tot weken in 2017 te reproduceren.

Station	Bias (psu)			Std (psu)			RMSE (psu)		
	3D DCSM-FM	DWSM 1 st rel.	DWSM 2 nd rel.	3D DCSM-FM	DWSM 1 st rel.	DWSM 2 nd rel.	3D DCSM-FM	DWSM 1 st rel.	DWSM 2 nd rel.
Terschelling 10 km	0.07	-0.25	0.08	0.45	0.59	0.42	0.46	0.64	0.42
Terschelling 50 km	-0.02	-0.10	-0.04	0.29	0.27	0.33	0.29	0.29	0.34
Rottumerplaat 3 km	-1.33	-0.97	-0.60	0.73	0.80	0.73	1.52	1.25	0.94
Rottumerplaat 50 km	0.15	0.05	0.13	0.35	0.46	0.35	0.38	0.46	0.37
DANTZGT	-1.38	-1.64	-0.29	1.50	1.50	1.12	2.04	2.22	1.16
DOOVBWT	0.10	-0.83	-0.44	1.97	1.60	1.58	1.97	1.80	1.64
MARSDND	0.27	-0.83	-0.39	1.72	1.55	1.36	1.75	1.76	1.42
VLIESM	0.36	0.09	0.32	0.92	0.90	0.86	0.99	0.90	0.92
NIOZ Jetty	0.10	-0.74	-0.19	1.38	1.26	1.21	1.38	1.46	1.22

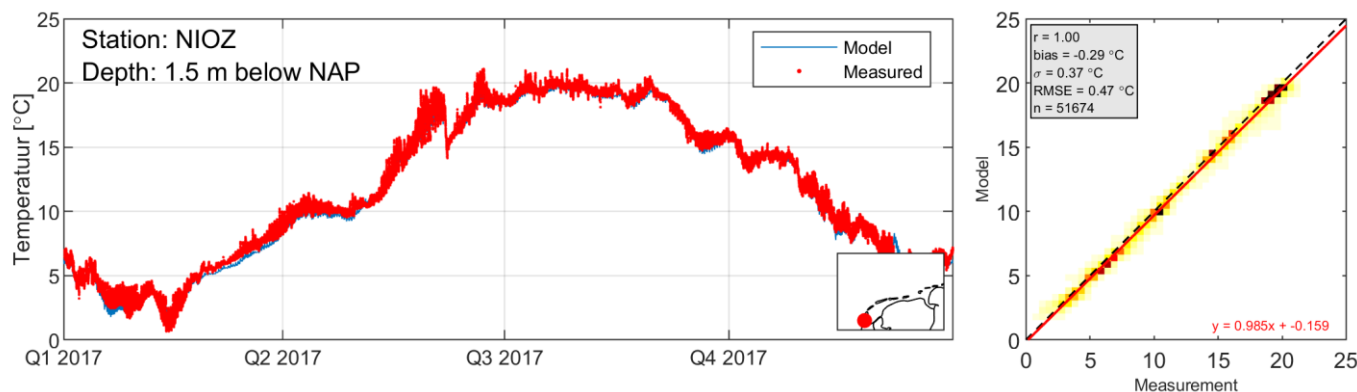


Figuur 2 Gemeten (rood) en berekende (blauw) saliniteit bij de NIOZ steiger op Texel in 2017.

Temperatuur

Onderstaande tabel toont de nauwkeurigheid van de reproductie van temperatuurmetingen op MWTL meetstations in de Waddenzee en in de Noordzee. Hieruit blijkt dat de oppervlaktetemperatuur goed wordt gerepresenteerd door DWSM, zowel in het Waddenzee als Noordzee deel van het domein. De kwaliteit is vergelijkbaar met die van 3D DCSM-FM, met RMSE waarden van 0.3-0.6 °C. Vergeleken met de vorige release van DWSM is de kwaliteit spectaculair toegenomen. In Figuur 3 is te zien dat seizoensvariaties in de watertemperatuur goed gereproduceerd wordt.

Station	Bias (°C)			Std (°C)			RMSE (°C)		
	3D DCSM-FM	DWSM 1 st rel.	DWSM 2 nd rel.	3D DCSM-FM	DWSM 1 st rel.	DWSM 2 nd rel.	3D DCSM-FM	DWSM 1 st rel.	DWSM 2 nd rel.
Terschelling 10 km	-0.22	-0.94	-0.26	0.23	0.42	0.20	0.32	1.03	0.33
Terschelling 50 km	-0.09	-0.95	-0.11	0.35	0.46	0.40	0.36	1.06	0.41
Rottumerplaat 3 km	-0.51	-1.23	-0.36	0.35	0.96	0.24	0.62	1.56	0.43
Rottumerplaat 50 km	-0.28	-1.33	-0.30	0.08	0.33	0.13	0.29	1.37	0.33
DANTZGT	-0.55	-2.30	-0.44	0.44	1.31	0.46	0.70	2.65	0.64
DOOVBWT	-0.37	-1.89	-0.42	0.32	0.98	0.24	0.49	2.12	0.48
MARSDND	-0.24	-1.30	-0.29	0.27	0.72	0.20	0.35	1.48	0.36
VLIESM	-0.25	-1.07	-0.27	0.24	0.71	0.22	0.35	1.28	0.35
NIOZ Jetty	-0.23	-1.25	-0.29	0.42	0.85	0.37	0.48	1.51	0.47



Figuur 3 Gemeten (rood) en berekende (blauw) temperatuur bij de NIOZ steiger op Texel in 2017.

Modelkarakteristieken – Slibdynamiek

Instellingen

- De slibdynamiek wordt berekend door middel van een koppeling van het hydrodynamische model (in D-Flow FM) met D-Water Quality. Er is gekozen voor een zogenaamde *online* koppeling tussen D-Flow FM en D-Water Quality, zodat communicatie tussen beide modellen op tijdstapniveau plaatsvindt en de hydrodynamica en slibdynamiek parallel worden berekend. In DWSM-Mud worden zowel het transport als de processen in D-Water Quality op de hydrodynamische tijdstap berekend.
- Het model bevat twee slibfracties (IM1 en IM2), die enkel van elkaar verschillen in valsnelheid (d.w.z. eigenschappen voor erosie zijn gelijk). Voor de slibdynamiek wordt gebruik gemaakt van het buffermodel (Van Kessel et al., 2011). Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen een makkelijk erodeerbare sliblaag (S1) op de bodem en een onderlaag (S2) met een hogere weerstand tegen erosie. De verdeling van de depositieflux van slib over de twee bodemlagen volgt uit de modelkalibratie. Erosie van de twee bodemlagen kan parallel optreden, afhankelijk van de verhouding tussen de bodemschuifspanning en de weerstand tegen erosie van elk van de bodemlagen.

Open randen en lozingen

- Op de open modelranden worden seizoens- en diepteafhankelijke slibconcentraties opgelegd. De concentraties zijn gelijk voor beide slibfracties. Zowel de diepteafhankelijkheid van tijdsgemiddelde slibconcentraties als de seizoensvariatie zijn gebaseerd op een analyse van MWTL metingen op de Noordzee (Herman et al., 2018). De seizoensvariatie heeft het verloop van een sinusoidie rond de tijdsgemiddelde slibconcentratie, waarbij de slibconcentratie in de winter 2 keer zo hoog is als in de zomer. De diepteafhankelijkheid zorgt ervoor dat de concentraties op diepe punten op de rand lager zijn dan op ondiepe punten bij de kust.
- De concentratie van de slibfracties in afvoeren van zoetwater bij spuisluizen en vanuit de Eems rivier is 10 mg/l per fractie. De totale slibconcentratie voor twee fracties is dus 20 mg/l.

Bodemschuifspanning door golven

Om opwerveling van slib door golven te schematiseren wordt in DWSM-Slib gebruik gemaakt van de strijklengte-aanpak die binnen de D-HYDRO Suite beschikbaar is. Op basis van de berekende orbitaalsnelheden bij de bodem wordt de bodemschuifspanning door golven (τ_{wave}) bepaald in de D-Water Quality processenbibliotheek. Vervolgens wordt τ_{wave} lineair opgeteld bij de bodemschuifspanning door stroming (τ_{flow}) en het resultaat ($\tau_{flow+waves}$) wordt in D-Water Quality gebruikt als basis voor de erosie van slib.

Initiële slibverdeling en inspeelperiode

De initiële slibverdeling in de bodem (onderlaaglaag S2) is gebaseerd op het percentage slib in de bodem volgens de Sedimentatlas van de Waddenzee. Vervolgens is een periode van 3 jaar doorgerekend om de verdeling van slib in de waterkolom en de bodemlagen in te spelen. De slibverdeling aan het einde van die inspeelperiode wordt gebruikt als initiële conditie voor nieuwe berekeningen.

Kalibratie slibdynamiek

Methodiek

Bij de originele kalibratie van het slibmodel zijn de eigenschappen van slib aangepast tot er voldaan is aan een aantal kalibratiecriteria (Vroom et al., 2020; Van Weerdenburg, 2023). Hierbij is het doel om de gemeten slibdynamiek op verschillende tijd- en ruimteschalen te reproduceren en toe te rekenen naar een dynamisch evenwicht. De data die voor de modelkalibratie zijn gebruikt zijn:

- periodiek gemeten concentraties Zwevende Stof bij observatiepunten in het MWTL meetnet in de Waddenzee en in de Noordzee;
- tijdseries van de gemeten concentraties Zwevende Stof bij Eemshaven en troebelheid bij Boontjes. Het meetpunt bij Eemshaven ligt aan de rand van het toepassingsgebied van dit model, namelijk op de overgang van de Nederlandse Waddenzee en het Eems-Dollard estuarium;
- ruimtelijke patronen van slib in de bodem op basis van de Sedimentatlas van de Waddenzee.

Het resultaat van de kalibratie is in de vorm van de gekozen slibeigenschappen opgenomen in onderstaande tabel. Een discussie van deze instellingen ten opzichte van andere slibmodellen is opgenomen in het kalibratierapport (Vroom et al., 2020).

Slibeigenschap	Fractie 1 (IM1)	Fractie 2 (IM2)
Valsnelheid [mm/s]	1,5	0,4
Depositie-efficiëntie [-]		0,25
Fractie van depositieflux naar bodemlaag S2 [-]		0,05
Kritische bodemschuifspanning voor erosie uit bodemlaag S1 [Pa]		0,1
0 ^e orde erosiesnelheid van bodemlaag S1 [kg/m ² /s]		6,9*10 ⁻⁶
1 ^e orde erosiesnelheid van bodemlaag S1 [s ⁻¹]		5,8*10 ⁻⁶
Kritische bodemschuifspanning voor erosie uit bodemlaag S2 [Pa]		0,8
Erosiesnelheid van bodemlaag S2 [kg/m ² /s]		1,5*10 ⁻⁴
Dikte van bodemlaag S2 [m]		0,1

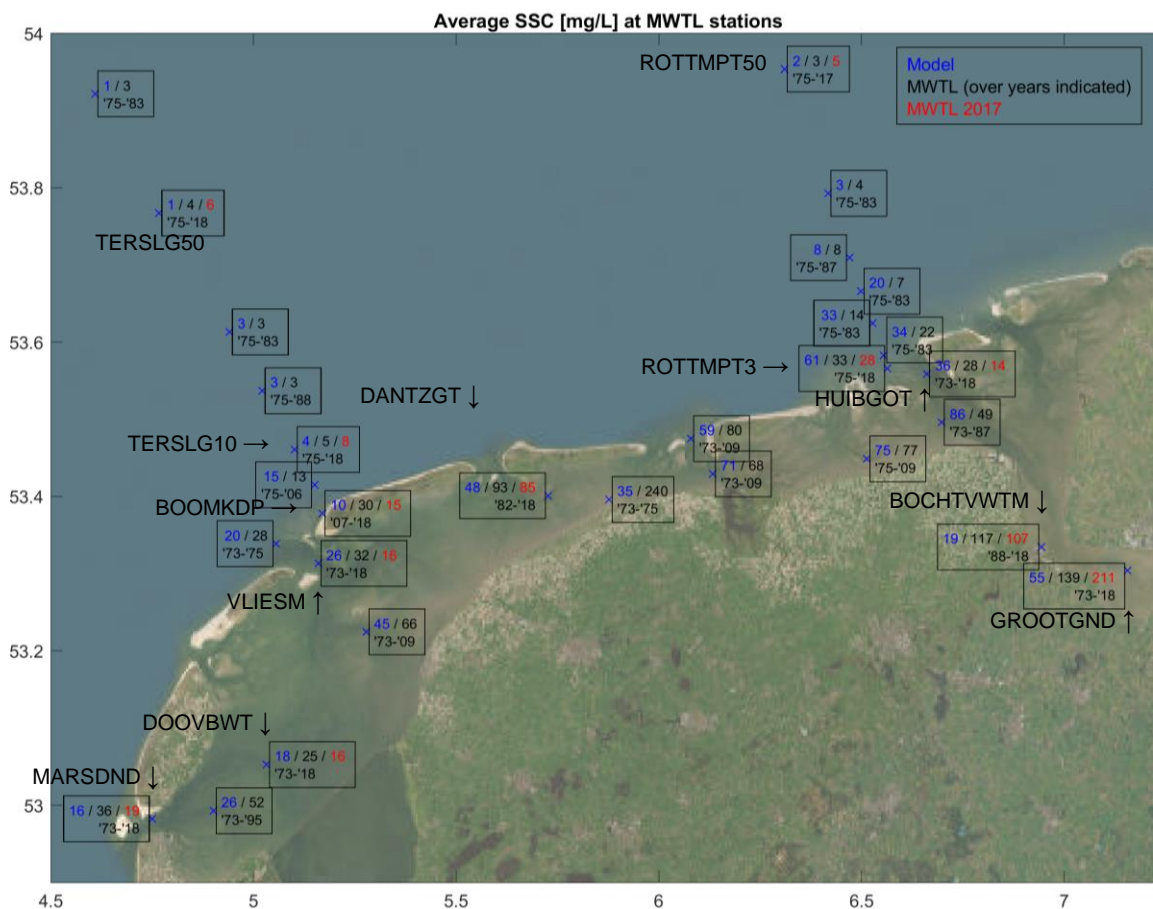
Resultaten

De berekende ruimtelijke verdeling en jaargemiddelde SPM gehalten komen na kalibratie goed overeen met metingen, zoals weergegeven in onderstaande tabel en in Figuur 4. Op plekken waar hoge slibgehalten worden gemeten (zoals bij Holwerd) presteert het model minder goed. De seizoensvariatie in slibgehalten in de Waddenzee en het gedrag onder rustige condities en bij stormen zijn in het model vergelijkbaar met metingen (Vroom et al., 2020; Van Weerdenburg, 2023). Bij onderstaande resultaten wordt opgemerkt dat voor de vergelijking tussen het model en de MWTL metingen modeluitvoer met een tijdstap van 10 minuten is gebruikt, terwijl de MWTL metingen altijd in een specifieke fase van het getij worden uitgevoerd.

Meetpunt	SPM in MWTL 2017		SPM in MWTL 1989 ⁴ tot 2017		SPM in modelresultaten
	N	μ [mg/l]	N	μ [mg/l]	μ [mg/l]
WADDENZEE					
DANTZGT	18	85	671	98	48
DOOVBWT	19	17	517	23	18
MARSDND	19	19	524	27	16
VLIESM	12	16	338	27	26
NOORDZEE					
BOOMKDP	18	15	188	29	10
ROTTMPT3	12	28	225	25	61
ROTTMPT50	6	4,8	172	3,5	2,4
TERSLG10	18	8,0	434	5,1	4,2
TERSLG50	18	6,1	331	5,0	1,4

⁴ In deze tabel is 1989 als startjaar gekozen omdat de MWTL metingen sinds 1989 op consistente wijze uitgevoerd worden. Voor Figuur 4 is gebruik gemaakt van de gehele dataset (met data vanaf 1973) om een groter aantal locaties op te kunnen nemen.

EEMS-DOLLARD					
BOCHTVWTM	18	107	471	117	19
GROOTGND	19	211	526	147	55
HUIBGOT	19	14	526	16	36



Figuur 4 Vergelijking tussen gemiddelde slibconcentraties aan de oppervlakte [mg/l] ter plaatse van MWTL meetstations in een modelberekening voor 2017 (blauw), in MWTL metingen in 2017 (rood) en het langjarige gemiddelde van MWTL metingen (zwart, over de aangegeven jaren waarvoor meetdata beschikbaar is).

Validatie slibdynamiek

Methodiek

Omdat alle beschikbare data gebruikt is bij de kalibratie van het model is geen validatie uitgevoerd met een andere dataset.

Resultaten

N.v.t.

Nauwkeurigheid en modelonzekerheid

Het hydrodynamische model voor de Waddenzee is gevalideerd op waterstanden, saliniteit en temperatuur. Het slibmodel is gekalibreerd op basis van concentraties zwevende stof (SPM) en ruimtelijke variaties in slibgehalte in de bodem.

Modelgebruik

Wat mag er wel of niet worden gewijzigd in de modelschematisatie

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

de modelschematisatie (Dienstspecificaties Invoer Baseline). Voor snelle tests naar de 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 is een standaard set met randvoorwaarden beschikbaar bij het model.
- **Uitvoerlocaties:** Er kunnen indien gewenst uitvoerlocaties (afvoerradien en/of uitvoerpunten) worden toegevoegd.
- **Instellingen slibmodel:** Bij officieel gebruik van de modelschematisatie mogen er geen veranderingen aan de instellingen van het slibmodel worden gedaan. Dit is wel toegestaan in het kader van onderzoeksvragen.
- **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 rekestijd van DWSM-Mud bedraagt ca. 2,9 dagen/simulatiejaar (oftewel 11,6 min/simulatiedag) op 5 nodes met 4 cores (dus 20 partities) op een Deltares' Linux rekencluster.

Koppelingen en relaties met andere modellen

Het hydrodynamische model is afgeleid van de zesde generatie Noordzee modellen (Zijl et al., 2022 & 2023a), zowel voor wat betreft de gebiedsschematisatie, de numerieke en fysische instellingen als wat betreft de randvoorwaarden.

Praktisch gebruik van het model

- Informatie over D-Flow FM software is te vinden via de online User Manual: https://content.oss.deltares.nl/delft3d/manuals/D-Flow_FM_User_Manual.pdf
- Als initiële conditie voor DWSM-Slib wordt een herstartbestand op 22 december 2016 gebruikt. Dit herstartbestand bevat een driedimensionale initiële verdeling voor saliniteit, temperatuur en slib. De simulatietijd van 22 december 2016 tot 1 januari 2017 dient gebruikt te worden als (hydrodynamische) inspeelperiode. Randvoorwaarden voor DWSM-Mud zijn beschikbaar voor 2017. Voor berekeningen met 1 en met 20 domeinen zijn de herstartbestanden meegeleverd. Voor berekeningen met een ander aantal domeinen kan het *merged* herstartbestand gebruikt worden.

Beschikbare versies

Modelschematisaties

Modelschematisatie	Jaar	Software	
		Baseline	D-HYDRO Suite
dflowfm3d-waddenzee_200m-j17_6-v1	2021	6.2	2021.05 (DIMR: 2.16.12.71638)
dflowfm3d-dwaq_slib-waddenzee_200m-j17_6-v1	2021	6.2	2021.05 (DIMR: 2.16.12.71638)
dflowfm3d-waddenzee_200m-j22_6-v1a	2022	6.3.1.2640	2023.02 (DIMR: 2.22.16.78016)
dflowfm3d-dwaq_slib-waddenzee_200m-j22_6-v1a	2023	6.3.1.2640	2024.03 (DIMR: 2.26.25.79023)

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.
- 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

Naam	Type	Beschrijving	Karakteristiek	Referentie
jaarsom2017	hist	Volledige jaar 2017 als simulatieperiode met daaraan voorafgaand een inspeelperiode van 10 dagen	Meteorologische condities vergelijkbaar met meerjarig gemiddelde, maar relatief veel wind uit het westen. Nabij het maximum van de 18,6 jarige getijcyclus. Zoetwaterafvoeren relatief laag ten opzichte van periode 2012-2016.	Van Weerdenburg, 2024

Release notesdflowfm3d-waddenzee_200m-j17_6-v1

Modelschematisatie dflowfm3d-waddenzee_200m-j17_6-v1 is een verouderde versie van de 3D D-Flow FM schematisatie voor dit gebied. De gebiedsschematisatie, randvoorwaarden en instellingen van deze versie zijn nog niet volledig consistent met de zesde generatie gebiedsschematisaties van de Noordzee, zoals beschreven door Groenenboom (2021).

dflowfm3d_dwaq_slib-waddenzee_200m-j17_6-v1

Modelschematisatie dflowfm3d_dwaq_slib-waddenzee_200m-j17_6-v1 is voor wat betreft de hydrodynamica identiek aan dflowfm3d-waddenzee_200m-j17_6-v1 en is een verouderde versie van de 3D D-Flow FM & D-Water Quality schematisatie voor dit gebied. Gebruik deze dflowfm3d_dwaq-waddenzee_200m-j17_6-v1 deze schematisatie niet in combinatie met nieuwere software versies dan 2021.05, omdat de afhandeling van golfschuifspanningen in D-HYDRO suite sindsdien is veranderd.

dflowfm3d-waddenzee_200m-j22_6-v1a

Modelschematisatie dflowfm3d-waddenzee_200m-j22_6-v1a is het uitgangspunt voor de toekomstige D-Flow FM schematisaties voor dit gebied. Over het algemeen is de kwaliteit van het model significant verbeterd ten opzichte van de vorige j17_6_v1 versie. De belangrijkste veranderingen ten opzichte van de vorige j17_6-v1 release zijn:

- Voor de laterale randvoorwaarden is gebruik gemaakt van de 2022 release van het Noordzeemodel 3D DCSM-FM. Ten opzichte van de voorloper versie van dit model, die voor de j17_6-v1 is gebruikt, is de kwaliteit van berekende waterstanden (getij en opzet) en watertemperatuur sterk verbeterd.
- De standaard meteorologische aansturing die gebruikt is voor validatie is afkomstig van ECMWF ERA5. Eerder werd Hirlam gebruikt. Ook is de manier van opleggen van de oppervlaktefluxen gewijzigd.

dflowfm3d_dwaq_slib-waddenzee_200m-j22_6-v1a

Modelschematisatie dflowfm3d_dwaq_slib-waddenzee_200m-j22_6-v1a is een actualisatie van dflowfm3d_dwaq_slib-waddenzee_200m-j17_6-v1 op basis van de hydrodynamica in dflowfm3d-waddenzee_200m-j22_6-v1a en is het uitgangspunt voor de toekomstige 3D D-Flow FM & D-Water Quality schematisaties voor dit gebied.

Referenties

- Groenenboom, J. (2021). *Wijzigingen in DCSM t.o.v. eerder gebruikte versies t.b.v. ontwikkeling Waddenzeemodel*. Deltares memo 11206814-009-ZKS-0001.
- Herman, P., van Kessel, T., Vroom, J., Dankers, P., Cleveringa, J., de Vries, B., & Villars, N. (2018). *Mud dynamics in the Wadden Sea. Towards a conceptual model*. Deltares report 11202177-0000-ZKS-0011.
- Minns, T., A. Spruyt & D. Kerkhoven (2022): *Specificaties zesde-generatie modellen met D-HYDRO - Generieke technische en functionele specificaties*. Deltares rapport 11203714-013-ZWS-0001.
- Rijkswaterstaat & Deltares, in voorbereiding: *Factsheet Baseline-NL v2021-v1*.
- Van Kessel, T., Winterwerp, H., van Prooijen, B., van Ledden, M. & Borst, W. (2011). *Modelling the seasonal dynamics of SPM with a single algorithm for the buffering of fines in a sandy seabed*. *Continental Shelf Research*, 31, S124-S134.
- Van Weerdenburg, R. (2024): *DWSM-Mud: a sixth-generation 3D model of the Dutch Wadden Sea for hydrodynamics and mud dynamics (2023 release)*, 11209231-001-ZKS-0002.
- Vroom, J., Van Weerdenburg, R., Smits, B., & Herman, P. (2020). *Modelling slibdynamiek voor de Waddenzee – Kalibratie voor KRW Slib*. Deltares rapport 11205229-001-ZKS-0001.
- Zijl, F., Groenenboom, J., Laan, S., Zijlker, T. (2022): *DCSM-FM 100m: a sixth-generation model for the NW European Shelf*, Deltares, 11205259-004-ZKS-0002.
- Zijl, F., Zijlker, T., Laan, S., Groenenboom, J. (2023a): *3D DCSM-FM: a sixth-generation model for the NW European Shelf*, Deltares, 11205259-004-ZKS-0003.
- Zijl, F., van Weerdenburg, R., Laan, S. (2023b): *DWSM: a sixth-generation 3D model of the Dutch Wadden Sea*, Deltares, 11208054-006-ZKS-0001.



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 Rijkswaterstaat en Deltares geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onnauwkeurigheden in deze informatie en ten gevolge van het gebruik van deze informatie.

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