

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



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

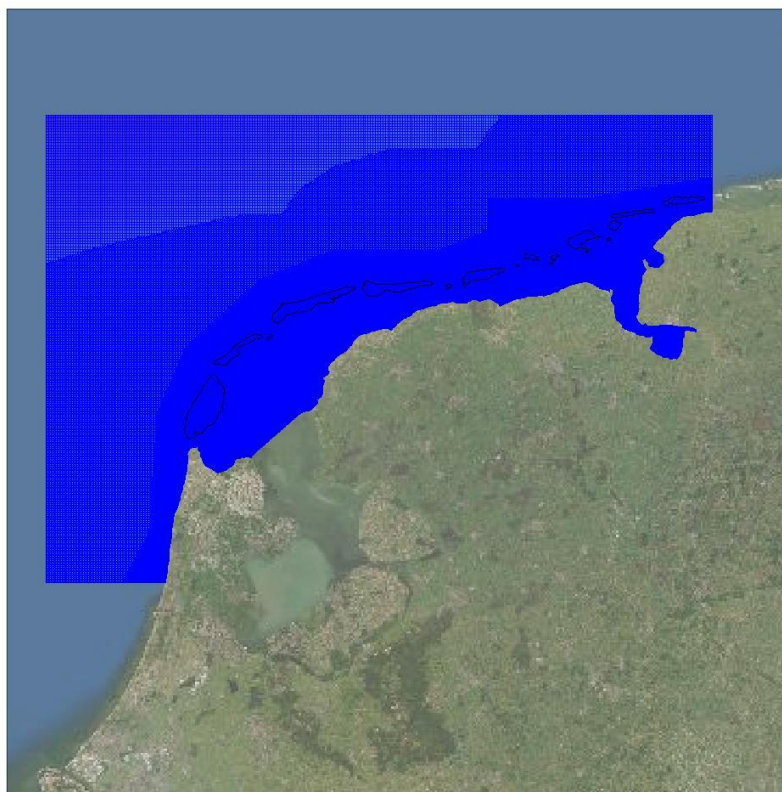
De ontwikkeling van de nieuwe, zesde generatie, modelschematisaties van de door Rijkswaterstaat beheerde watersystemen resulteert in een set schematisaties voor alle Rijkswateren en een aantal aangrenzende gebieden.

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/](http://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.

In deze factsheet wordt een beschrijving gegeven van het 3D hydrodynamische *Dutch Wadden Sea Model*, afgekort als DWSM, en het gecombineerde 3D hydrodynamische en slibmodel DWSM-Slib. De formele naamgeving is 'dflowfm3d-waddenzee\_200m-j17\_6-v1' voor het hydrodynamische model en 'dflowfm3d\_dwaq\_slib-waddenzee\_200m-j17\_6-v1' voor het gecombineerde hydrodynamische en slibmodel. Het 3D hydrodynamisch model in D-Flow FM wordt in DWSM-Slib online gekoppeld met een slibmodel in D-Water Quality. D-Flow FM en D-Water Quality zijn respectievelijk de module voor hydrodynamica en voor waterkwaliteit in de D-HYDRO suite. Deze modelschematisatie is onderdeel van de zesde generatie modellen.

## Geografische ligging

DWSM(-Slib) is opgezet en afgeregeld voor 3D hydrodynamica en slibdynamiek 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 modelschematisaties zijn ontwikkeld voor onderstaande toepassingen in de Nederlandse Waddenzee

**DWSM:** 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 bekkens).

**DWSM-Slib:** 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. Het model kan bijvoorbeeld ingezet worden om de effecten van ingrepen op KRW-doelen gerelateerd aan slib en troebelheid te bepalen. Modelresultaten, zoals slibconcentraties en slibgehalte 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, in voorbereiding). 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.

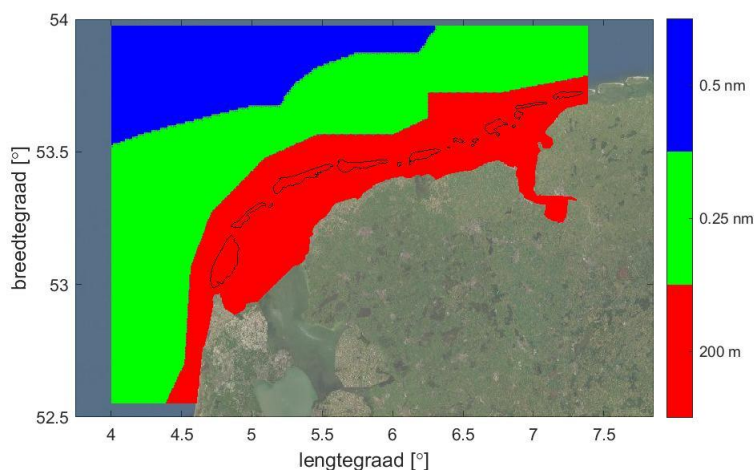
De geografische gegevens in Baseline worden via een automatische procedure (Bas2FM) geprojecteerd op het rekenrooster van de modelschematisatie. Dit betreft de bodemligging, locaties van uitvoerpunten, lateralen, kunstwerken en debietraaien, lijnelementen, ecotopenkartering en begrenzingen.

## Rekenrooster

### Horizontale rooster

Het ongestructureerde rekenrooster is afgeleid van het (2D) rekenrooster van DCSM-FM 100m (Zijl et al., 2020a). Het rekenrooster bevat voornamelijk rechthoekige roostercellen die zijn uitgelijnd met lijnen van constante lengte- en breedtegraad. Het rekenrooster in het modeldomein van DWSM-Slib is grotendeels gelijk aan het rekenrooster van DCSM-FM 100m. In het noordwestelijke deel van het modeldomein van DWSM-Slib is de resolutie van het rekenrooster 1/2 nautische mijl (nm) x 1/2 nm. De resolutie neemt in twee verfijningsstappen toe tot 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-Slib niet toegepast. Deze keuze volgt uit een afweging tussen enerzijds de resolutie en anderzijds de rekentijd van het driedimensionale model online gekoppeld met D-Water Quality.

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-Slib, waarbij de kleuren de celgrootte aangeven (rood: ~200 m; groen: ~0.25 nm; blauw: ~0.5 nm).

### Verticale laagverdeling

Het verticale grid wordt beschreven door 10 equidistante  $\sigma$ -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 op het diepere deel van de Noordzee in het modeldomein is gebaseerd op gegevens van het European Marine Observation and Data Network (EMODnet, versie oktober 2016). De bodemhoogte in de Nederlandse wateren is gebaseerd op de Baselineprojectie met Baselineboom *baseline-nl-j16\_6-w4*. De bodemhoogtegegevens uit Baseline zijn vervangen met bodemdata uit vaklodingen tot en met 2018 als ten tijden van de modelontwikkeling recentere bodemdata beschikbaar was dan in Baseline was opgenomen.

#### Overlaten

- De overlaten (*fixed weirs*) uit de Baselineprojectie zijn overgenomen in de schematisatie. Vanwege het ontbreken van de Pollendam bij Harlingen in de gebruikte Baseline-gegevens is deze aanvullend als overlaat in het model opgenomen.

### 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 bodemruwheid van DCSM-FM 100m. De bodemruwheid wordt opgelegd in verschillende vakken waartussen bi-lineair wordt geïnterpoleerd. Om scherpe overgangen tussen vakken met een verschillende ruwheidscoëfficiënt te voorkomen zijn de overgangszones tussen verschillende vakken vergroot ten opzichte van DCSM-FM 100m (Vroom et al., 2020). Scherpe overgangen in ruwheidscoëfficiënt zouden namelijk onnatuurlijke gradiënten in de hoeveelheid resuspensie van slib veroorzaken. De waarde van de bodemruwheid in het modeldomein van DWSM-Slib varieert tussen  $0,013 \text{ s/m}^{1/3}$  en  $0,028 \text{ s/m}^{1/3}$ .
- Er wordt in de huidige versie van het model geen gebruik gemaakt van de in Baseline beschikbare trachytopen. Hierdoor wordt geen rekening gehouden met de invloed van aanwezige vegetatie en ecotopen op de bodemruwheid.

### Kunstwerken

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

### Bruggijlers

- 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 saliniteit en temperatuur opgelegd welke zijn afgeleid uit het 3D DCSM-FM 0.5nm model (Zijl en Groenenboom, 2019). Er worden 308 steunpunten gebruikt voor het opleggen van waterstanden, saliniteit en temperatuur. De zuidelijke modelrand bevat 49 steunpunten. De westelijke modelrand bevat 87 steunpunten. De noordelijke modelrand bevat 137 steunpunten. De oostelijke modelrand is opgesplitst in een deel ten noorden van de Waddeneilanden (30 steunpunten) en een deel ten zuiden van de Waddeneilanden (5 steunpunten). Voor waterstanden worden tijdseries met een tijdstap van 10 minuten opgelegd. Voor saliniteit en temperatuur wordt een 3D randvoorwaarde opgelegd, dat wil zeggen dat op elk steunpunt een diepte-afhankelijk profiel wordt opgelegd met 20 waarden. 3D DCSM-FM gebruikt namelijk 20 equidistante  $\sigma$ -lagen en die informatie wordt overgenomen in de randvoorwaarden voor DWSM-Slib. De 20 laags randvoorwaarde wordt door de DFlow-FM software geïnterpoleerd op de 10 lagen van DWSM. Voor de 3D randvoorwaarden is de tijdstap ook 10 minuten.

### Lozingen en ontrekkingen

- Debietsen van de Eems rivier zijn toegevoegd op basis van 15-minuuts meetgegevens. De spuidebietsen van zoet water bij Den Oever en Kornwerderzand en bij spuilsuizen Cleveringsluizen (Lauwersoog), Helsdeur, Noordpolderzijk, Spijksterpompen en DeDrieDelfzijlen zijn opgenomen op basis van meetgegevens met een

tijdstap zoals opgenomen in onderstaande tabel. De saliniteit is voor alle lozingen gelijk en als constante van 0,01 psu aangenomen. De temperatuur van de lozingen volgt de gemiddelde seizoensfluctuatie van de watertemperatuur.

- Er zijn geen onttrekkingen.

Afvoerlocatie	Tijdstap in meetreeks
Eems	$\Delta t = 15 \text{ min}$
Den Oever	$\Delta t = 10 \text{ min}$
Kornwerderzand	$\Delta t = 10 \text{ min}$
Cleveringsluizen	$\Delta t = 15 \text{ min}$
Helsdeur	$\Delta t = 15 \text{ min}$
Noordpolderzijk	$\Delta t = 1 \text{ dag}$
Spijksterpompen	$\Delta t = 15 \text{ min}$
DeDrieDelfzijlen	$\Delta t = 15 \text{ min}$

### Meteo

- Impulsflux: Bij de ontwikkeling van DWSM-Slib is gebruikt gemaakt van tijd- en ruimteafhankelijke windsnelheden (op 10 m hoogte) en luchtdruk (op MSL) afkomstig van het meteorologische model HiRLAM 7.2. 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). De lokale windsnelheidsafhankelijke windschuifspanningscoëfficiënt wordt berekend met een Charnock-formulering. Voor de dimensieloze Charnock-coëfficiënt is een constante, uniforme waarde van 0,025 gebruikt. Deze waarde en formulering komen overeen met water in het HiRLAM 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 (Heat Flux model). Voor dit model worden tijd- en ruimteafhankelijke dauwpunt, luchttemperatuur en bewolgingsgraad gebruikt uit HiRLAM 7.2.
- Massaflux: Er wordt geen rekening gehouden met de massaflux door het lucht-water oppervlak ten gevolge van neerslag en/of verdamping.

### Zout en temperatuur

Transport van zout en temperatuur wordt meegenomen in de modelberekening.

### Overige fysica

- Verticale turbulentie wordt berekend op basis van het k- $\epsilon$  model.

### Numerieke instellingen

- De achtergrondwaarden van de verticale eddy viscositeit en diffusiviteit zijn overgenomen uit het 3D DCSSM-FM model.
- De opzet van dit zesde-generatie model is gebaseerd op de generieke technische en functionele specificaties zoals beschreven in Minns et al. (2020). Op onderstaande uitzonderingen na worden de standaardinstellingen voor de zesde-generatie D-HYDRO modellen gebruikt. De uitzonderingen zijn veelal het gevolg van de roosterresolute en consistentie tussen het hydrodynamische model en de gebruikte meteorologische data.

Parameter	Standaardinstelling	DWSM
BedlevUni	-5	5
OpenBoundaryTolerance	3	0,1
Izbnupos	0	1
Jarhoxu	0	2
ICdtyp	2 (Smith and Banke)	4 (Charnock)
Relativewind	0	1
Rhoair	1,205	1,2265
DtUser	300	600
DtMax	30	90
DtInit	1	30

## Kalibratie

### Methodiek

- DWSM gebruikt de resultaten van de kalibratie van DCSM-FM 100m. De Manning ruwheidscoëfficiënten die het resultaat zijn van de kalibratie van DCSM-FM 100 m zijn overgenomen in DWSM. Vervolgens zijn de resultaten van DWSM gevalideerd ten opzichte van metingen.

### Resultaten

- N.v.t.

## Validatie

### Methodiek

Het hydrodynamische 3D-model is gevalideerd op basis van een reproductie van gemeten waterstanden, saliniteit en temperatuur in 2017. De nauwkeurigheid van de reproductie wordt hieronder per onderdeel toegelicht.

### Resultaten

#### Waterstanden

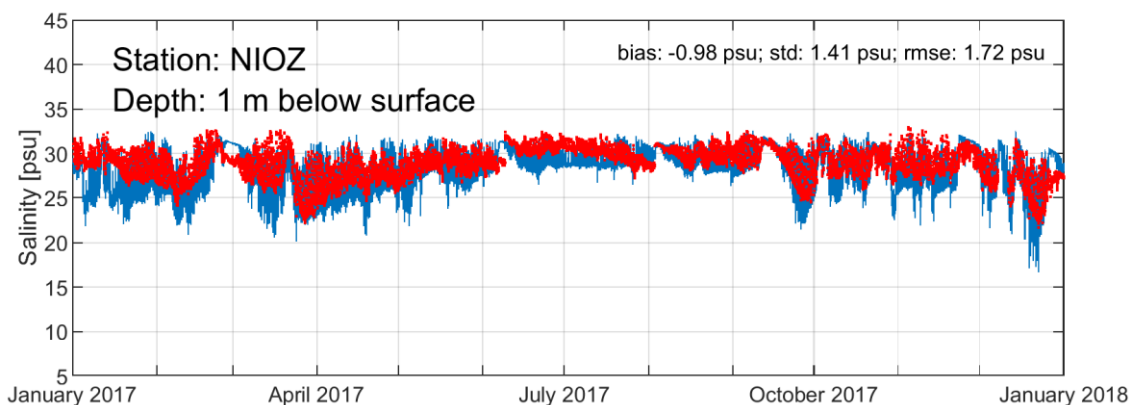
Onderstaande tabel toont de nauwkeurigheid van het model voor het reproduceren van getij, opzet en totale waterstand in 2017 op waterstandsm Meetpunten in het modeldomein. De beperkte roosterresolutie van 200 meter zorgt ervoor dat kleine geulen in de Waddenzee minder goed in de modelbodem zijn opgenomen, waardoor waterstanden op een aantal stations (bijv. HOLWD en SCHIERMNOG) niet goed gereproduceerd worden door het model. Dit heeft tot gevolg dat lokaal de stromingscondities niet goed gereproduceerd worden, waardoor het model niet geschikt is voor lokale toepassingen.

Station	RMSE getij [cm]	RMSE opzet [cm]	RMSE totaal [cm]
DENHDR	4,3	4,3	6,1
TEXNZE	6,2	5,2	8,1
OUUSD	4,3	4,2	6,0
DENOVBTN	4,2	6,6	7,9
KORNWDZBTN	4,5	5,5	7,1
HARLGN	9,4	9,2	13,1
VLIELHVN	6,5	5,0	8,2
WESTTSLG	5,3	4,7	7,0
TERSLNZE	4,8	5,3	6,6
NES	8,7	6,3	10,7
HOLWD	28,6	13,7	31,8
WIERMNGDN	5,1	5,5	6,9
SCHIERMNOG	23,9	12,4	26,9
HUIBGT	6,3	6,7	7,5
BORKUM_Sudstrand	5,3	5,6	7,4
NORDERNEX_RIFFG	4,9	6,0	7,8
BorkumFischerbalje	7,0	6,8	9,6
EMSHORN	6,4	5,8	8,6
EEMSHVN	5,0	5,8	7,6
DUKEGAT	6,3	6,2	8,9
KNOCK	9,0	7,1	11,5

#### Saliniteit

Onderstaande tabel toont de nauwkeurigheid van de reproductie van saliniteitsmetingen op MWTL meetstations in de Waddenzee en in de Noordzee. 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.

MWTL Station	Gemiddelde fout [PSU]	Standaarddeviatie [PSU]	RMSE [PSU]
DANTZGT	-2,0	2,0	2,8
DOOVBWT	-1,9	1,4	2,4
MARSDND	-1,3	1,4	1,9
ROTTMPT3	-0,9	1,0	1,3
TERSLG10	-0,1	0,6	0,6
VLIESM	-0,1	1,0	1,0
Gemiddeld	-1,0	1,2	1,7

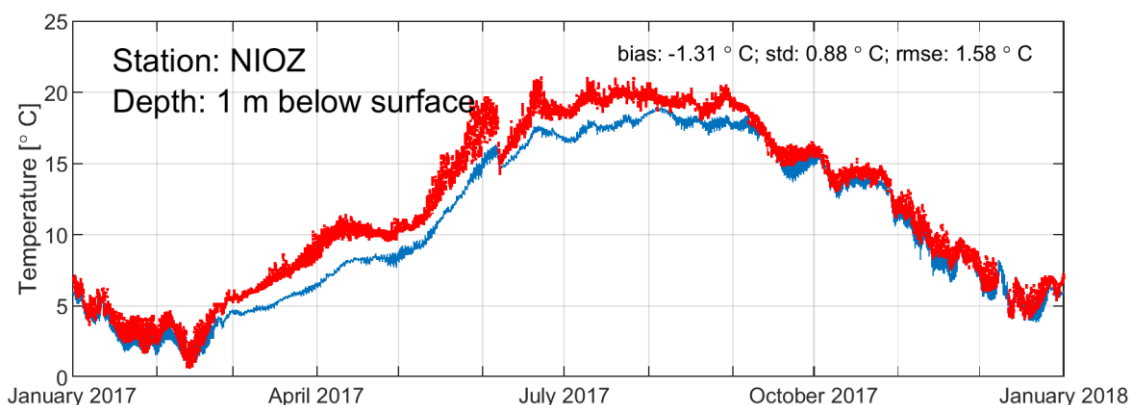


Figuur 2 Gemeten (rood) en berekende (blauw) saliniteit bij de NIOZ steiger op Texel in 2017.

### Temperatuur

Onderstaande tabel toont de nauwkeurigheid van de reproductie van temperatuurmetingen op MWTL meetstations in de Waddenzee en in de Noordzee. Gemiddeld wordt de temperatuur door het model met 1,5°C onderschat. In Figuur 3 is te zien dat seizoensvariaties in de watertemperatuur goed gereproduceerd wordt, maar dat de berekende temperatuur in het voorjaar en in de zomer lager is dan de gemeten temperatuur. Dit is waarschijnlijk het gevolg van de gekozen instellingen voor lichtinstraling in het warmtefluxmodel; de instellingen kunnen nog geoptimaliseerd worden om de reproductie van metingen te verbeteren.

MWTL Station	Gemiddelde fout [°C]	Standaarddeviatie [°C]	RMSE [°C]
DANTZGT	-2,3	1,3	2,7
DOOVBWT	-1,9	0,9	2,1
MARSDND	-1,4	0,7	1,5
ROTTMPT3	-1,2	1,0	1,6
TERSLG10	-1,0	0,5	1,1
VLIESM	-1,4	0,5	1,5
Gemiddeld	-1,5	0,8	1,7



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-Slib 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 sinusoïde 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 ( $\tau_{wave}$ ) bepaald. Een lineaire optelling van  $\tau_{wave}$  met de bodemschuifspanning door stroming ( $\tau_{flow}$ ) 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 4 jaar doorgerekend om de verdeling van slib in de waterkolom en de bodemlagen in te spelen. De slibverdeling aan het einde van die inspeelperiode kan gebruikt worden als initiële conditie voor nieuwe berekeningen.

## Kalibratie slibdynamiek

### Methodiek

Bij de kalibratie van het slibmodel zijn de eigenschappen van slib aangepast tot er voldaan is aan een aantal kalibratiecriteria (Vroom et al., 2020). 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).

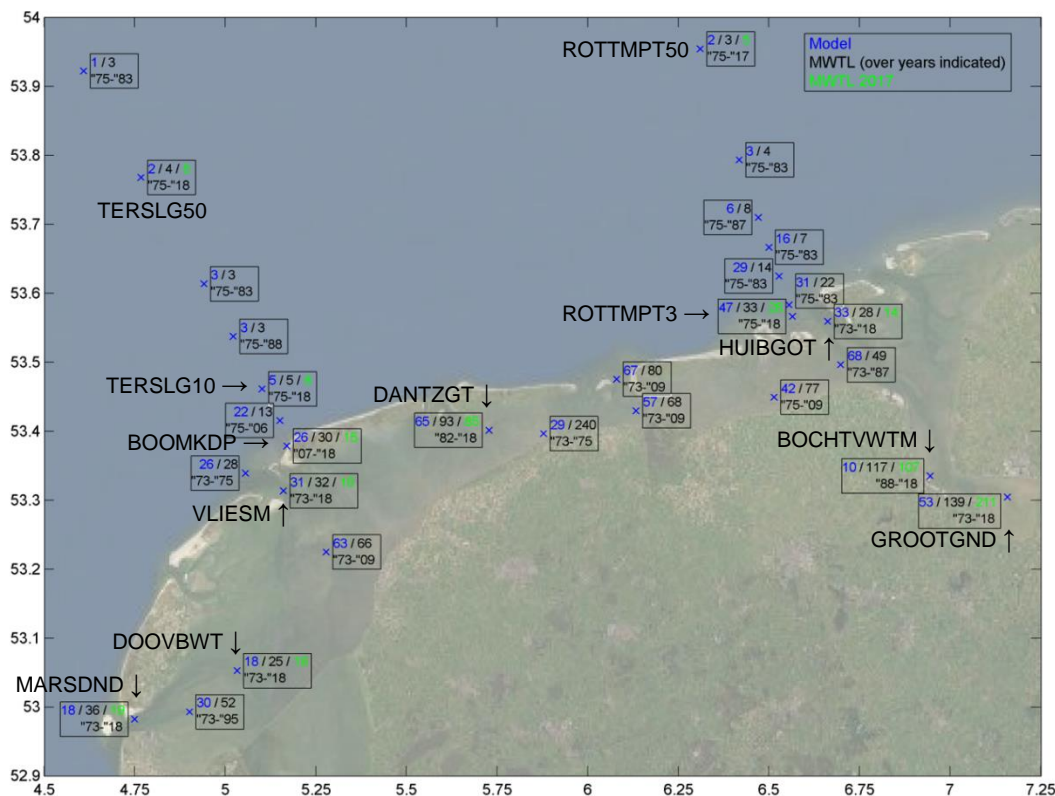
Slibeigenschap	Fractie 1 (IM1)	Fractie 2 (IM2)
Valsnelheid [mm/s]	1,5	0,4
Depositie-efficiëntie [-]		0,25
Fractie van depositieflux naar bodemlaag S2 [-]		0,05
Kritische bodemschuifspanning voor erosie uit bodemlaag S1 [Pa]		-0,9
0 <sup>e</sup> orde erosiesnelheid van bodemlaag S1 [kg/m <sup>2</sup> /s]		-0,1
1 <sup>e</sup> orde erosiesnelheid van bodemlaag S1 [s <sup>-1</sup> ]		-0,2
Kritische bodemschuifspanning voor erosie uit bodemlaag S2 [Pa]		0,8
Erosiesnelheid van bodemlaag S2 [kg/m <sup>2</sup> /s]		1,5*10 <sup>-4</sup>
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) fungeert 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). 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 <sup>1</sup> tot 2017			SPM in modelresultaten	
	N	μ [mg/l]	N	μ [mg/l]	σ [mg/l]	μ [mg/l]	σ [mg/l]
<b>WADDENZEE</b>							
DANTZGT	18	85	671	98	60	65	41
DOOVBWT	19	17	517	23	20	18	15
MARSDND	19	19	524	27	26	18	13
VLIESM	12	16	338	27	22	31	19
<b>NOORDZEE</b>							
BOOMKDP	18	15	188	29	34	26	15
ROTTMPT3	12	28	225	25	22	47	39
ROTTMPT50	6	4,8	172	3,5	2,9	2,2	2,3
TERSLG10	18	8,0	434	5,1	5,7	4,6	3,5
TERSLG50	18	6,1	331	5,0	4,2	1,6	1,6
<b>EEMS-DOLLARD</b>							
BOCHTVWTM	18	107	471	117	69	9,9	14
GROOTGND	19	211	526	147	115	53	38
HUIBGOT	19	14	526	16	13	33	25

<sup>1</sup> 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.



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 (groen) 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 aantal standaard sets 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

Zonder de koppeling met D-Water Quality (en dus ook zonder het modelleren van de bodemschuifspanning door golven) is de rekentijd ca. 1,3 dagen/simulatiejaar

Voor het gecombineerd berekenen van de hydrodynamica en slibdynamiek bedraagt de rekentijd van het model op 5 nodes met 4 cores (dus 20 partities) op een Deltares' Linux rekencluster ca. 4,2 dagen/simulatiejaar (oftewel 16,7 min/simulatiedag).

#### Koppelingen en relaties met andere modellen

Het hydrodynamische model is afgeleid van de zesde generatie Noordzee modellen (Zijl et al., 2019, 2020a & 2020b), zowel wat betreft de gebiedsschematisatie als wat betreft de randvoorwaarden. Deze Noordzee modellen zijn later nog doorontwikkeld, en vervolgens officieel opgeleverd aan Rijkswaterstaat. De laatste aanpassingen zijn nog niet doorgevoerd in de huidige versie van DWSM-Slib.

#### Praktisch gebruik van het model

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

### Beschikbare versies

#### Modelschematisaties

Modelschematisatie	Jaar	Software	
		Baseline	D-HYDRO Suite
<b>dflowfm3d-waddenzee_200m-j17_6-v1</b>	2021	6.2	2021.05 (DIMR: 2.16.12.71638)
<b>dflowfm3d_dwaq_slib-waddenzee_200m-j17_6-v1</b>	2021	6.2	2021.05 (DIMR: 2.16.12.71638)

*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.*

De waterbeweging wordt gesimuleerd met de D-Flow FM software. Voor het simuleren van slibdynamiek wordt gebruikt gemaakt van een online koppeling met de processenbibliotheek van D-Water Quality. Dit betekent dat de waterbeweging en de slibdynamiek parallel worden uitgerekend en dat de informatie, die nodig is om de slibdynamiek te berekenen, elke tijdstap door D-Flow FM wordt doorgegeven aan D-Water Quality.

## Randvoorwaardensets

Naam	Type	Beschrijving	Karakteristiek	Referentie
jaarsom2017	hist	Volledige jaar 2017 als simulatieperiode met daaraan voorafgaand 10 dagen (hydrodynamische) inspeeltijd in 2016	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.	Vroom et al., 2020

## Release notes

### dflowfm3d-waddenzee\_200m-j17\_6-v1

Modelschematisatie dflowfm3d-waddenzee\_200m-j17\_6-v1 is het uitgangspunt voor de toekomstige 3D D-Flow FM schematisaties 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 wat betreft de hydrodynamica identiek aan dflowfm3d-waddenzee\_200m-j17\_6-v1 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 rapport 11202177-000-ZKS-0011.*
- Minns, T., A. Spruyt & D. Kerkhoven (2020): *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 simple algorithm for the buffering of fines in a sandy seabed. Continental Shelf Research, 31, S124-S134.*
- Van Weerdenburg, R., & Zijl, F. (2019). *Development of a Delft3D-FM model of the Dutch Wadden Sea – Model Setup and Validation of DWSM. Deltares concept rapport.*
- Vroom, J., Van Weerdenburg, R., Smits, B., Herman, P. (2020). *Modellering slibdynamiek voor de Waddenzee Kalibratie voor KRW slib. Deltares rapport 1205229-001-ZKS-0001.*
- Zijl, F., Groenenboom, J. (2019): *Development of a sixth generation model for the NW European Shelf (DCSM-FM 0.5nm), Deltares rapport 11203715-004-ZKS-0003.*
- Zijl, F., Groenenboom, J. (2020a): *Development of a sixth-generation model for the NW European Shelf (DCSM-FM 100m). Deltares rapport 11205259-004-ZKS-0001.*
- Zijl, F., Laan, S., & Groenenboom, J. (2020b): *Development of a 3D model for the NW European Shelf (DCSM-FM). Deltares rapport 11205259-015-ZKS-0003.*



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.