

D-Flow FM & D-Water Quality 3D Grevelingen



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 op de Helpdesk Water:

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

Leeswijzer

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

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

Introductie

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

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

In deze factsheet wordt een beschrijving gegeven van het 3D hydrodynamische model online-gekoppeld aan D-WAQ (waterkwaliteit) van het Grevelingen meer binnen de D-HYDRO Suite. Deze modelschematisatie is onderdeel van de zesde generatie modellen.

Geografische ligging

Het Grevelingenmeer, ook wel de Grevelingen genoemd, is een voormalige zeearm van de Noordzee in de Zuidwestelijke Delta. Het meer ligt tussen de eilanden Goeree-Overflakkee en Schouwen-Duiveland, op de grens van Zuid-Holland en Zeeland. Aan de westkant is het meer afgesloten van de Noordzee door de Brouwersdam, aan de oostkant van de Oosterschelde en het Volkerak-Zoommeer door de Grevelingendam.

Het gebied wordt weergegeven in cartesische Rijksdriehoekscoördinaten en het verticale referentievlak is Normaal Amsterdams Peil (NAP).

Toepassingen

Deze 3D D-HYDRO modelschematisatie van het Grevelingenmeer is ontwikkeld voor onderstaande toepassingen:

- Verkenning mogelijkheid om meerpeil te corrigeren voor scheefstand (stormopzet)
- Systeemwerking t.b.v. peilbeheer en gezonde waterkwaliteit (het hydrodynamische model dient als basis voor het online-gekoppelde waterkwaliteitsmodel van het Grevelingenmeer). De beschrijving richt zich op de volgende systeemkenmerken:
 - Zoutdynamiek en -stratificatie ten behoeve van grootschalige waterkwaliteitspatronen en -processen (met name zuurstofuitputting onderlaag)
 - Seizoenale patronen van temperatuur, winter- en zomerniveaus en stratificatie
 - Zuurstofconcentratie waterkolom en zuurstofuitputting in relatie tot stratificatie
 - Seizoenale patronen van nutriënten (N, P, Si), winter- en zomerniveaus, doorvertaling naar algenproductie
 - Doorzicht (lichtextinctie) in relatie tot algengroei en de bijdrage van verschillende componenten aan lichtklimaat
 - Seizoenale patronen van chlorofyl (algen), zomerniveau en hoogte van eventuele kortdurende piekwaarden.

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
2. Scheepvaartbegeleiding-doeleinde
3. Inundatieberekeningen
4. Operationeel waterbeheer van sluizen en stuwen
5. Berekening van waterverdelingsstudies

RWS heeft daarom, rekening houdend met het bovenstaande, deze modelschematisaties (dflowfm3d-grevelingen-j19_6-w4 & dflowfm3d_dwaq-grevelingen-j19_6-w4) vrijgegeven voor gebruik binnen de volgende kerntaken bij Rijkswaterstaat:

1. Watermanagement, zijnde ondermeer de werkzaamheden vanuit WaterManagement Centrum Nederland ten aanzien van waterberichtgeving over waterstanden, overstromingsdreiging, watertekorten (niet vrijgegeven voor berekening van stoftransport, olieverspreiding, oppervlaktestroming).
2. Operationele toepassingen, zijnde ondermeer het gebruik binnen de operationele systemen van RWS.
3. Beleidsondersteuning en verkenning, waaronder het doorrekenen van klimaatscenario's, scenario's voor waterbeheer zoals aanpassingen waterbalans en/of nutriëntenbalans. Bij et toepassingen gericht op situaties buiten het bereik waarvoor het model is vergeleken met metingen, wordt geadviseerd om naar meerdere doelvariabelen te kijken, een voldoende lange inspeelperiode toe te passen, voldoende

gevoeligheidsonderzoek te doen en de resultaten met een bandbreedte/betrouwbaarheidsinterval te rapporteren.

4. Nieuwe aanleg projecten, zoals natuurontwikkelingsprojecten, inpoldering, aanleg strekdammen en havens, etc.
5. Beleidsondersteuning en -verkenning, waaronder het doorrekenen van klimaatscenario's, bepalen waterstanden voor toetsen en ontwerpen van dijken en aanpassing stuwprogramma's.

Geografische brongegevens

De onderliggende geografische gegevens voor de modelschematisaties van Rijkswaterstaat zijn verzameld in de bijbehorende Baseline-NL databases. Baseline is een speciale ArcGIS database voor hydrodynamische modelontwikkeling bij Rijkswaterstaat. Zie hiervoor de aparte factsheet van Baseline NL (RWS & 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 het wateroppervlak liggende gegevens (droge areaal) is het Digitaal Topografisch Bestand (DTB)-NAT van RWS-CIV. Voor de gegevens onder het wateroppervlak 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.

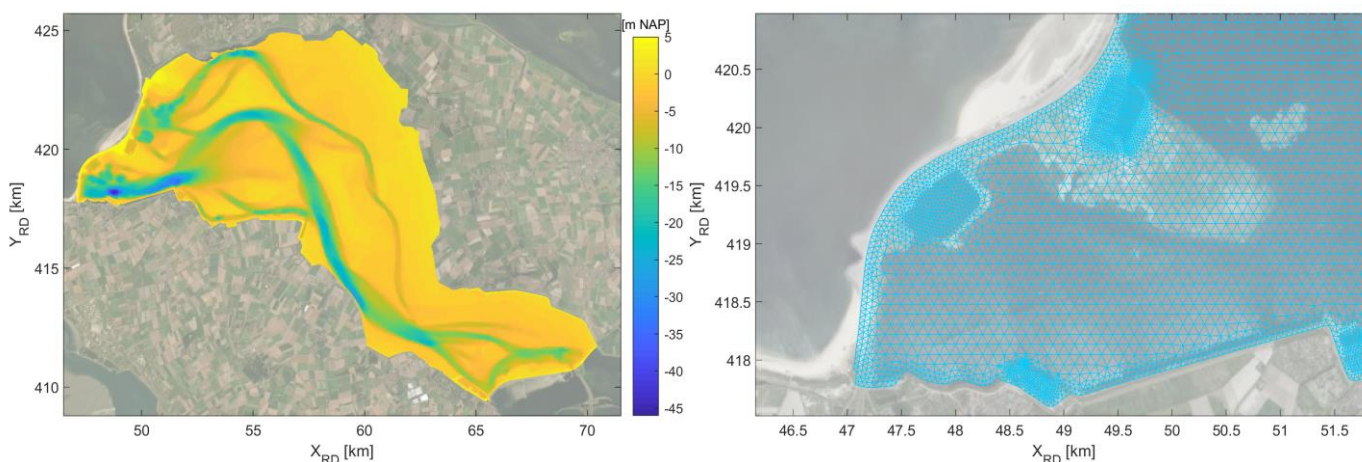
De geografische gegevens in Baseline worden via een automatische procedure geprojecteerd op het rekenrooster van de modelschematisatie. Dit betreft de bodemligging, locaties van uitvoerpunten, lateralen, kunstwerken en debietraaien, lijnelementen, ecotopenkartering en begrenzingen.

Rekenrooster

Het binnengebied van het rekenrooster is gevuld met volledig uniforme driehoekige rekencellen (zie Figuur 1) met een resolutie van 100 m. De rand van het modeldomein bestaat uit driehoekige cellen met een resolutie van 50 m waarbij de modelrand aansluit op de banddijk en op andere D-HYDRO netwerken (zeedeel Rijn-Maasmondingsmodel en de Oosterschelde). Op verzoek van RWS is de resolutie bij havens en inhammen fijner.

De modelschematisatie is een 3D weergave van het systeem en beschrijft de processen diepte-afhankelijk. In verticale richting wordt het rekenrooster beschreven door z-lagen. Er worden 36 lagen met een laagdikte van 1,25 m gebruikt.

Het rekenrooster bestaat uit 44.804 bodempunten en 23.109 waterstands-/rekenpunten.



Figuur 1: Links: Modelbathymetrie Grevelingenmeer (m NAP) en rechts: Rekenrooster (netwerk).

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 modelbodempligging is weergegeven in het linkerpaneel van Figuur 1. De hoofdgeul heeft een diepte van ca. 15 m, het diepste punt ligt op zo'n 45 m diep.

Droge punten, dunnen dammen en overlaten

In het model zijn vele overlaten aanwezig, die automatisch uit Baseline worden 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 bodemruwheid van het deel dat onderwater ligt wordt met de Manning-coëfficiënt berekend. Hiervoor is een kalibratie-polygoon gebruikt.

Kunstwerken

Het model bevat geen zogenoemde *general structures*, de kunstwerken worden als lozingen- en onttrekkingen gemodelleerd (zie ook kopje *Lozingen en onttrekkingen*).

Brugpijlers

Het model bevat geen brugpijlers.

Hoogwatervrije gebieden

Het model bevat geen hoogwatervrije gebieden.

Modelgrenzen

De gesloten modelranden worden gevormd door bandijken.

Modelkarakteristieken - hydrodynamica

Open randen

Het model bevat geen open randen.

Lozingen en onttrekkingen

- Brouwerssluis
- Flakkeese spuisluis (in jaarsom 2017)
- Gemalen: Kilhaven, Drie Grote Polders, Battenoord, Den Osse en Dreischor
- Regenval en verdamping
- Sluitterm

Randvoorwaarden

De uitwisseling met de Noordzee en Oosterschelde wordt gemodelleerd middels onttrekkingen- en lozingen op basis van tijdseries van debiet, saliniteit en temperatuur. Neerslag en verdamping wordt via een *lateral discharge* verspreid over het actieve modeldomein opgelegd. Ook de afstroming van polderwater en de sluitfout uit de waterbalans worden op deze manier meegenomen in de modellering.

De randvoorwaarden voor jaarsom 2000, jaarsom 2008, stormperiode 2002 en stormperiode 2013 waren reeds beschikbaar uit voorgaande modelstudies (Zijl et al., 2006 & Spiteri et al, 2010). De waterbalans voor jaarsom 2017 is aangeleverd door Rijkswaterstaat.

Meteo

Voor de meteo-aansturing worden uurswaarden voor de luchttemperatuur, de luchtvochtigheid en de bewolgingsgraad van meetstation Vlissingen gebruikt, afkomstig van het KNMI. Deze aansturing wordt uniform over het modeloppervlak toegepast. Voor overige parameters die van belang zijn voor de meteorologische aansturing, zijn de standaardinstellingen voor D-HYDRO-modellen gebruikt. Het gaat hierbij om: wind drag formulering (Smith & Banke) en bijbehorende coëfficiënten ($6,3E-4$ bij 0 m/s) en $7,23E-3$ bij 100 m/s), Stanton- en Dalton-coëfficiënt (beiden 0,0013), luchtdichtheid ($1,205 \text{ kg/m}^3$) en Secchi-diepte (2 m).

Zout en temperatuur

Zout en temperatuur worden in het model gesimuleerd. Alle lozingen en onttrekkingen worden beschreven met tijdseries van debiet, saliniteit en temperatuur. De ruimtelijk uniforme initiële condities zijn overgenomen uit voorgaande modelstudies.

Kunstwerken (sturing)

Niet van toepassing.

Overige fysica

Niet van toepassing.

Numerieke instellingen

De modelopzet van het zesde-generatie Rijkswaterstaatmodel van de Grevelingen is gebaseerd op de generieke technische en functionele specificaties zoals beschreven in Minns et al. (2019). Op de achtergrondwaarde van de verticale eddy diffusiviteit na (gebruikt om de verticale menging af te regelen), worden de standaardinstellingen voor D-HYDRO-modellen gebruikt.

Kalibratie hydrodynamica

Methodiek

Zoutverspreiding en zout- of temperatuurstratificatie

Het model is voor saliniteit en temperatuur afgeregeld op basis van jaarsom 2008. Hierbij is gebruik gemaakt van de door Rijkswaterstaat beschikbaar gestelde GTSO-metingen (=verticale-profielmeting van temperatuur, saliniteit en zuurstof op vaste meetlocaties in het Grevelingenmeer. Er is een gevoeligheidsonderzoek uitgevoerd waarin verschillende modelinstellingen gewijzigd zijn, waarbij het effect op de horizontale verspreiding en verticale menging is bekeken. Met de uiteindelijke instellingen wijkt alleen de achtergrondwaarde van de verticale eddy diffusiviteit af van de standaardinstellingen, deze heeft namelijk een waarde van $0 \text{ m}^2/\text{s}$ (i.p.v. standaardinstelling $5\text{E-}5 \text{ m}^2/\text{s}$).

Waterstandsrepresentatie en verhang

Voor dit model is tevens een gevoeligheidsonderzoek gedaan naar het effect van het gebruik van verschillende windstations, windforceringen en andere instellingen op de berekende stormopzet. Hierbij zijn twee stormperiodes in oktober 2002 en december 2013 (Sinterklaasstorm) gebruikt. Deze berekeningen zijn gedaan een diepte-gemiddelde versie van het model waarbij transport van saliniteit en temperatuur niet berekend wordt.

Resultaten

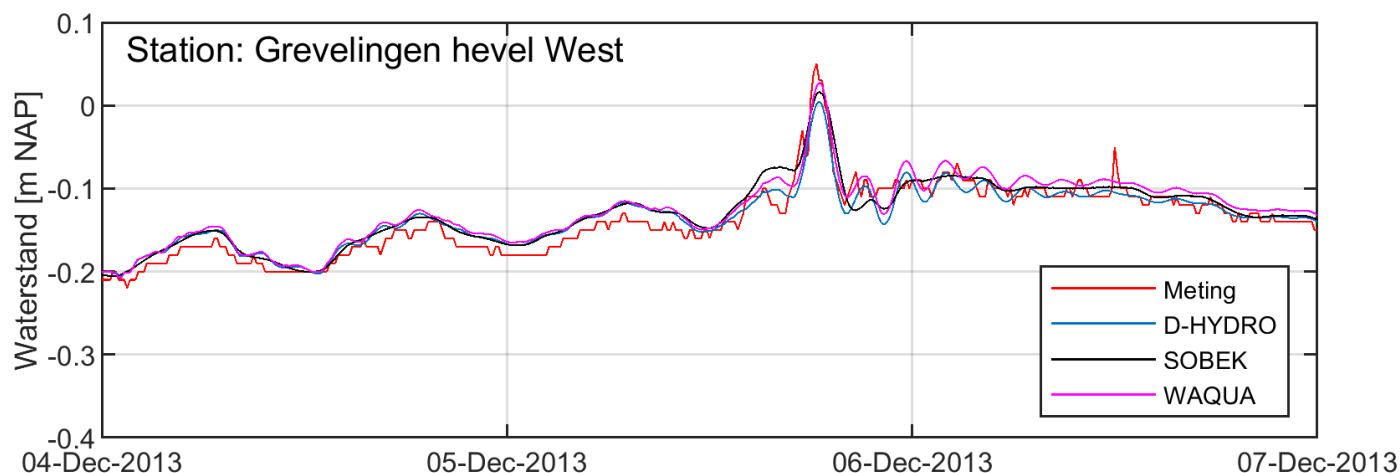
Zoutverspreiding en zout- of temperatuurstratificatie

De stationsgemiddelde statistiek (bias, standaarddeviatie en RMSE) van saliniteit en temperatuur voor jaarsom 2008 zijn hieronder te vinden in Tabel 1 en Tabel 2. Hierbij wordt de statistiek op 3 verschillende dieptes getoond (-1 m, -10 m en -15 m) voor zowel het voorgaande Delft3D 4-model als het D-HYDRO-model.

Waterstandsrepresentatie en verhang

De verificatie van de stormopzet (oktober 2002 en december 2013) heeft aangetoond dat meetgegevens van station Stavenisse tot de beste reproductie van de stormopzet leidt bij het doen van hindcasts. Het gevoeligheidsonderzoek heeft aangetoond dat de berekende stormopzet vooral beïnvloed wordt door de keuze van meetstation en de winddrag-coëfficiënten. Een eventuele verbetering van de piekwaterstanden zou bereikt kunnen worden door de Cd-coëfficiënten aan te passen (waarmee dan wordt afgeweken van de standaardinstellingen voor D-HYDRO-modellen). Doordat meetlocatie Vlissingen (waar wel de benodigde meteo-gegevens voor de temperatuurmodellering beschikbaar zijn) een vergelijkbare magnitude (maar iets andere timing) van windsnelheden heeft, kan dit station goed gebruikt worden voor het doen van jaarsommen aangezien het daarmee een vergelijkbaar effect op de verticale menging zal hebben en zo de gebruikte meteo-gegevens van hetzelfde meetstation afkomstig zijn.

Figuur 2 toont het waterstandverloop tijdens de storm van december 2013 (Sinterklaasstorm) ter plaatse van Grevelingen hevel West.



Figuur 2: Waterstandverloop tijdens de storm van december 2013 (Sinterklaasstorm) voor Grevelingen hevel West (rood: meting, blauw: 2Dh D-HYDRO, zwart: SOBEK en magenta: WAQUA).

Aangezien de kalibratie van de winddrag-coëfficiënten afhankelijk is van het toegepaste station en het resterende verschil in piekwaterstand enkele centimeters is, is besloten om deze waarden niet aan te passen en gebruik te maken van de standaardinstellingen voor D-HYDRO-modellen. Bij toepassing van het 2D-model binnen BOI zal mogelijk, wanneer bekend is welke windgegevens en windinstellingen gebruikt zullen worden, opnieuw naar deze winddrag-coëfficiënten gekeken moeten worden om de instellingen in het 2D- en 3D-model zoveel mogelijk gelijk te houden.

Validatie hydrodynamica

Methodiek

Voor de validatie op temperatuur en saliniteit van het model zijn jaarsom 2000 en jaarsom 2017 doorgerekend met de gekalibreerde modelinstellingen.

Resultaten

De stationsgemiddelde statistiek (bias, standaarddeviatie en RMSE) van saliniteit en temperatuur voor jaarsom 2008 zijn te vinden in Tabel 1 en Tabel 2. Hierbij wordt de statistiek op 3 verschillende dieptes getoond (-1 m, -10 m en -15 m) voor zowel het voorgaande Delft3D 4-model als het D-HYDRO-model.

Tabel 1: Gemiddelde RMSE saliniteit (PSU) van het D-HYDRO-model van het Grevelingenmeer o.b.v. de 20 GTSO-stations.

Gemiddelde statistiek	-1 m NAP			-5 m NAP			-15 m NAP		
	bias	std	RMSE	bias	std	RMSE	bias	std	RMSE
2000 (Delft3D 4)	0.74	0.55	0.93	0.69	0.47	0.84	0.49	0.47	0.71
2000 (D-HYDRO)	0.68	0.52	0.86	0.60	0.42	0.74	0.49	0.43	0.68
2008 (Delft3D 4)	-0.04	0.41	0.42	-0.01	0.43	0.43	-0.13	0.46	0.54
2008 (D-HYDRO)	-0.13	0.40	0.43	-0.13	0.41	0.44	-0.18	0.38	0.46
2017 (D-HYDRO)	0.16	0.45	0.49	0.18	0.37	0.42	0.07	0.36	0.38

Tabel 2: Gemiddelde RMSE temperatuur (°C) van het D-HYDRO-model van het Grevelingenmeer o.b.v. de 20 GTSO-stations.

Gemiddelde statistiek	-1 m NAP			-5 m NAP			-15 m NAP		
	bias	std	RMSE	bias	std	RMSE	bias	std	RMSE
2000 (Delft3D 4)	-0.59	0.54	0.82	-0.56	0.63	0.86	-0.17	0.65	0.68
2000 (D-HYDRO)	-0.25	0.57	0.63	-0.29	0.63	0.71	-0.04	0.57	0.59
2008 (Delft3D 4)	-0.09	0.49	0.51	-0.17	0.51	0.54	0.11	0.67	0.69
2008 (D-HYDRO)	0.27	0.62	0.69	0.12	0.57	0.59	0.14	0.62	0.64
2017 (D-HYDRO)	-0.77	0.53	0.94	-0.81	0.46	0.94	-0.2	0.44	0.54

Nauwkeurigheid, toepasbaarheid en modelonzekerheid

Op basis van de statistiek in Tabel 1 en Tabel 2 kan afgelezen worden dat de saliniteit (gemiddeld genomen) door het model geproduceerd kan worden met een RMSE van enkele tienden PSU. Wat betreft het berekenen van temperatuur wordt een RMSE van grofweg 0,5 tot 1 °C gevonden. De temperatuur aan de oppervlaktelaag wordt met een kleine afwijking t.o.v. de gemeten waarden gemodelleerd, iets wat verder onderzoek vergt wanneer hier gedetailleerd naar gekeken wordt.

Het model is geschikt om toe te passen voor de modellering van zoutgehalten in het Grevelingenmeer. Het is geschikt voor de beschrijving van de seizoensvariatie, de mate van stratificatie en de verdeling in het modeldomein. Ook wat betreft temperatuur is het model toepasbaar voor de beschrijving van de seizoensvariatie, stratificatie (mate en periode) en verdeling in het modeldomein.

In relatie tot de modelonzekerheid dient opgemerkt te worden dat het model momenteel alleen voor de huidige systeem situatie is doorgerekend, waardoor de onzekerheid van resultaten van het model toeneemt op het moment dat scenario's doorgerekend gaan worden waarbij extra uitwisseling tussen deelgebieden aan het model wordt toegevoegd.

Modelkarakteristieken - waterkwaliteit

Instellingen

- Voor de opzet van het waterkwaliteitsmodel is gebruik gemaakt van de invoer van het originele hydrodynamische en waterkwaliteitsmodel op basis van Delft3D 4 (Spiteri & Nolte, 2010).
- De waterkwaliteitsparameters worden berekend door middel van een koppeling van het hydrodynamische model (in D-Flow FM) met D-Water Quality. Er is gekozen voor een *online* koppeling tussen D-Flow FM en D-Water Quality, zodat communicatie tussen beide modellen op tijdstapniveau plaatsvindt en de hydrodynamica en waterkwaliteit parallel worden berekend.
- Met behulp van de algenmodule *BLOOM* worden de processen met betrekking tot algen berekend. Denk hierbij aan fotosynthese, respiratie, en sterfte/sedimentatie van algen.
- Waterkwaliteitsparameters die worden berekend door dit model zijn: zuurstof, ammonium, nitraat, nitriet, fosfaat, silicium, organisch opgeloste stoffen verdeeld voor koolstof, stikstof, fosfaat en silicium, stofdeeltjes van koolstof, stikstof, fosfaat en silicium, en verschillende algensoorten zoals kiezelwieren, dinoflagellaten, groenwieren, en Phaeocystis.

Lozingen

Concentratie van de waterkwaliteitsparameters zijn overgenomen uit het oorspronkelijke model (Spiteri & Nolte, 2010). Gegevens zijn afkomstig van RWS en de waterschappen.

Initiële condities en inspeelperiode

Voor organische stofdeeltjes in de bodemlaag, voor koolstof, stikstof, fosfaat en silicium, worden initiële condities opgegeven. Deze waarden op dag 1 van de modelopzet (1 oktober 2010) zijn afkomstig van het Delft3D 4-model.

Kalibratie waterkwaliteit

Methodiek

Omzetten en toepasbaar maken van Delft3D 4 modelinstellingen in de D-HYDRO schematisatie. Daarom geen kalibratie uitgevoerd.

Resultaten

Niet van toepassing.

Validatie waterkwaliteit

Methodiek

Voor de validatie van waterkwaliteitsparameters van het model zijn jaarsom 2000 en jaarsom 2008 doorgerekend. Waterkwaliteitsparameters uit het D-HYDRO-model zijn vergeleken met de waarden uit het

Delft3D 4-model voor jaarsommen 2000 en 2008. Daarnaast is een vergelijking gedaan met gemeten waarden.

Voor zuurstofconcentraties wordt gebruik gemaakt van vier GTSO stations (verticale-profielmetingen), namelijk GTSO-03, GTSO-09, GTSO 13 en GTSO-19. Voor de overige waterkwaliteitsparameters wordt gebruik gemaakt van station Dreischor.

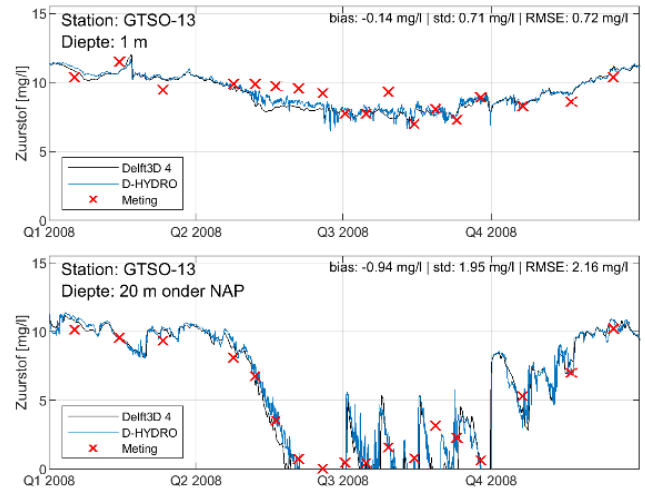
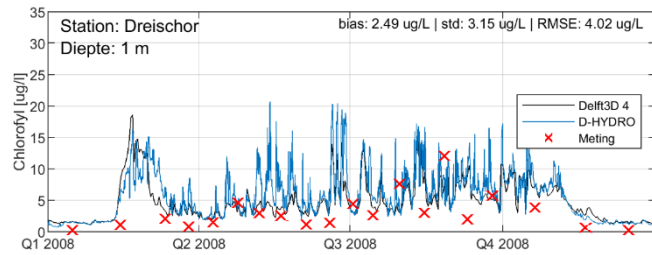
Resultaten

Zuurstof

Statische kentallen (bias, standaard deviatie en RMSE) voor berekende waarden van zuurstofconcentraties zijn weergegeven in Tabel 3. Ook zijn de concentraties, gemeten en berekend, voor jaar 2008, weergegeven in Figuur 3.

Chlorofyl en nutriënten

Voor chlorofylconcentraties (Figuur 4) en verschillende nutriënten zijn de statische kentallen berekend bij station Dreischor (Tabel 4).



Figuur 3 Vergelijking van berekende zuurstof concentraties (mg/l) (lijnen; Delft3D 4 en D-HYDRO som) en de correlatie met de metingen (rode kruizen) in het jaar 2008 voor GTSO-13 op 1 m onder het oppervlakte en net boven bodemlaag (20 m diepte).

Figuur 4 Vergelijking van berekende chlorofylconcentraties (µg/l) (lijnen; Delft3D 4 en D-HYDRO som) en de correlatie met de metingen (rode kruizen) in het Dreischor, Grevelingen, voor

Tabel 3 Statische kentallen (bias, std. en RMSE) voor berekende waarden van zuurstofconcentraties vergeleken met metingen voor verschillende dieptes bij de stations GTSO-03, GTSO-09, GTSO-13 en GTSO-19 in het jaar 2000 en jaar 2008.

Station	Diepte (in m)	Jaarsom 2000						Jaarsom 2008					
		Bias		STDEV		RMSE		Bias		STDEV		RMSE	
		Delft3D 4	D-HYDRO	Delft3D 4	D-HYDRO	Delft3D 4	D-HYDRO	Delft3D 4	D-HYDRO	Delft3D 4	D-HYDRO	Delft3D 4	D-HYDRO
GTSO-03	1	0,26	0,28	0,83	0,86	0,87	0,90	-0,50	-0,47	1,22	1,15	1,32	1,24
	15	0,80	0,94	1,41	1,42	1,62	1,70	-0,44	0,72	2,07	1,67	2,11	1,82
	29	0,29	0,99	1,67	1,71	1,69	1,98	-5,93	-2,81	6,05	4,16	8,47	5,02
GTSO-09	1	0,21	0,29	0,67	0,64	0,70	0,70	-0,29	-0,18	1,01	0,98	1,05	1,00
	10	0,50	0,63	0,58	0,87	0,77	1,07	-0,10	0,56	1,31	0,76	1,31	0,94
	17,5	1,17	1,03	1,05	1,16	1,58	1,55	0,55	0,68	1,28	1,04	1,39	1,24
GTSO-13	1	0,27	0,43	0,78	0,72	0,82	0,83	-0,29	-0,14	0,84	0,71	0,89	0,72
	10	0,68	0,62	1,21	0,98	1,39	1,16	1,11	1,10	1,39	1,51	1,78	1,87
	20	0,46	0,22	1,34	1,33	1,42	1,34	-1,47	-0,94	2,47	1,95	2,88	2,16
GTSO-19	1	0,24	0,41	0,76	0,63	0,80	0,75	-0,03	0,22	0,92	0,80	0,92	0,83
	5	0,25	0,53	0,80	0,58	0,84	0,79	0,42	0,77	1,73	1,56	1,78	1,74
	10	0,57	0,99	1,19	1,23	1,32	1,58	1,78	1,97	1,78	1,89	2,51	2,73

Tabel 4 Statistische kentallen (bias, std. en RMSE) voor berekende waarden van waterkwaliteitsparameters vergeleken met metingen voor het station Dreischor in het jaar 2000 en 2008. Waterkwaliteitsparameters hier weergegeven zijn chlorofyl-, ammonium-, nitraat-, zuurstof-, fosfaat- en silicium-, totale stikstof- en totale fosfor-concentraties.

Parameter	Station: Dreischor													
	Diepte (in m)	Jaarsom 2000				Jaarsom 2008								
		Bias		STDEV		RMSE		Bias		STDEV		RMSE		
	Delft3D 4	D-HYDRO	Delft3D 4	D-HYDRO	Delft3D 4	D-HYDRO	Delft3D 4	D-HYDRO	Delft3D 4	D-HYDRO	Delft3D 4	D-HYDRO	Delft3D 4	D-HYDRO
Chlorofyl	1	-1,27	-0,21	3,67	4,14	3,89	4,14	1,35	2,49	2,94	3,15	3,24	4,02	
	10	1,16	0,91	4,47	5,28	4,62	5,35	1,90	3,26	1,31	1,40	2,31	3,55	
	17,5	0,42	1,67	3,12	3,15	3,15	3,57	2,00	3,37	1,86	3,28	2,73	4,70	
Ammonium	1	-0,03	-0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	-0,01	-0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	
Nitraat	1	-0,03	0,02	0,06	0,09	0,07	0,09	-0,01	0,03	0,03	0,05	0,03	0,06	
	10	0,01	0,04	0,04	0,07	0,04	0,08	-0,01	0,03	0,05	0,02	0,05	0,04	
	17,5	0,02	0,04	0,04	0,05	0,04	0,07	0,07	0,10	0,05	0,06	0,08	0,11	
Zuurstof	1	0,21	0,31	0,80	0,79	0,82	0,85	-0,22	-0,07	0,76	0,70	0,79	0,70	
Fosfaat	1	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	
Silicaat	1	-0,06	0,01	0,12	0,16	0,13	0,16	0,01	0,06	0,11	0,12	0,11	0,13	
Totale stikstof	1	-0,06	0,01	0,08	0,12	0,10	0,12	0,01	0,06	0,10	0,13	0,10	0,14	
	10	0,03	0,07	0,08	0,12	0,08	0,14	0,14	0,19	0,11	0,12	0,18	0,23	
	17,5	-0,01	0,02	0,10	0,08	0,10	0,08	0,23	0,24	0,11	0,08	0,26	0,25	
Totale fosfor	1	-0,02	-0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	-0,01	-0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
	10	-0,03	-0,03	0,02	0,02	0,03	0,04	-0,01	-0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
	17,5	-0,05	-0,05	0,03	0,03	0,06	0,06	-0,02	-0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	

Nauwkeurigheid, toepasbaarheid en modelonzekerheid

Zuurstof

Zuurstofconcentraties berekend door de D-HYDRO jaarsom 2000 komen voor beide stations grotendeels overeen met de door Delft3D 4-berekende waarden (Figuur 3). Op de diepste waterlaag van GTSO-09 na is de bias op alle meetpunten lager dan 1 mg/L. Voor de D-HYDRO jaarsom 2008 komen zuurstofconcentraties in de oppervlaktelaag grotendeels overeen met de door Delft3D 4-berekende waarden (Figuur 3). Voor de diepere waterlagen van station GTSO-03 (15 m en 29 m) zijn verschillen groter met lagere zuurstofconcentraties berekend door Delft3D 4 in de zomer van 2008. Aan de westelijke zijde van het Grevelingenmeer (GTSO-03) onderschatten beide modelsommen de zuurstofconcentraties met een betere benadering door de D-HYDRO som dan door de Delft3D 4-som berekend (Tabel 3).

Nutriënten

De berekende nutriëntenconcentraties zijn gemiddeld genomen voor beide modelsommen nagenoeg gelijk, zowel voor het jaar 2000 als het jaar 2008. Berekende ammonium-, nitraat en totaal-stikstofconcentraties tonen vergelijkbare waarden en trends met de gemeten waarden, zowel voor jaarsom 2000 als 2008 (Tabel 4). De orthofosfaatconcentraties uit jaarsom 2000 tonen zowel een onderschatting (1^e kwartaal) als een overschatting (3^e kwartaal) t.o.v. de metingen. De berekende totale fosfaatconcentratie voor het jaar 2000 onderschat voornamelijk de gemeten waarden tijdens het eerste halve jaar. In jaarsom 2008 zijn de waarden voor de berekeningen en metingen nagenoeg gelijk, met uitzondering van orthofosfaatconcentraties in het laatste halfjaar waarbij berekende waarden een kleine overschatting tonen. Berekende siliciumconcentraties zijn in beide jaarsommen zeer vergelijkbaar met de gemeten waarden.

Chlorofyl

Voor berekende chlorofylconcentraties zijn, hoewel gemiddeld genomen vergelijkbaar voor beide jaren, op bepaalde momenten verschillen gevonden (Figuur 4). Voornaamste verschil is zichtbaar tijdens de voorjaarsbloei van 2008 die enkel door het D-HYDRO model berekend wordt. Het is ook tijdens deze vroege lentebloei in 2008 dat berekende chlorofylconcentraties het sterkst afwijken van de gemeten waarden, voor de overige periodes in 2000 en 2008 komen de waarden grotendeels overeen (Tabel 4).

Conclusie

Het Delft3D 4-waterkwaliteitsmodel van de Grevelingen is omgezet naar modelinvoer voor gebruik binnen de D-HYDRO Suite. Met behulp van een model-model-vergelijking is geverifieerd dat de door het D-HYDRO-model berekende zuurstof, chlorofyl- en nutriëntenconcentraties over het algemeen vergelijkbaar zijn met de Delft3D

4-modelresultaten. In de diepere lagen zijn verschillen tussen de berekeningsresultaten van beide modelsommen te zien, wat tot een relatief groot verschil in indicator langdurig zuurstofarm areaal leidt.

Naast de “huidige situatie” (jaarsom 2008), is ook een getij-scenario met het nieuwe D-HYDRO-model gesimuleerd. De kleine verschillen in de door het Delft3D 4- en D-HYDRO-model berekende zuurstofconcentraties in de diepere delen van het meer lijken in dit getij-scenario te worden vergroot. Aangezien de verschillen die tussen het Delft3D 4- en D-HYDRO-model bestaan vergelijkbaar zijn met de verschillen tussen een offline- en online-gekoppelde D-HYDRO-simulatie, kunnen de geïdentificeerde verschillen vermoedelijk voor een groot deel toegedicht worden aan de koppelingsmethodiek.

Bij het toepassen van het D-HYDRO-model in simulaties gericht op situaties buiten het bereik waarvoor het model is vergeleken met metingen, wordt geadviseerd om naar meerdere doelvariabelen te kijken, een voldoende lange inspeelperiode toe te passen, voldoende gevoeligheidsonderzoek te doen en de resultaten met een bandbreedte/betrouwbaarheidsinterval te rapporteren.

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 (Dienstspecificaties Invoer Baseline). Voor snelle tests naar mogelijke impact van een aanpassing kan dit ook rechtstreeks via de D-HYDRO GUI.

Rooster: Bij officieel gebruik van de modelschematisatie mogen er geen veranderingen aan het rooster worden gedaan. Dit is wel toegestaan in het kader van onderzoeksvragen.

Randvoorwaarden: deze kunnen (en moeten) worden aangepast naar de gewenste situatie (dit geldt o.a. voor open randen, lateralen en meteo-informatie). Hiervoor zijn een aantal standaard randvoorwaarden sets beschikbaar bij het model. *Randvoorwaarden afkomstig van derden (o.a. KNMI, ECMWF) kunnen niet zondermeer worden uitgeleverd.*

Uitvoerlocaties: er kunnen indien gewenst uitvoerlocaties (afvoerradien en/of uitvoerpunten) worden toegevoegd. Ten alle tijden dienen de reeds aanwezige uitvoerlocaties, die nodig zijn voor de correcte werking van het model, behouden te blijven (m.n. voor sturing kunstwerken en afvoerradien voor werking kalibratiefactoren).

Numerieke instellingen: bij officieel gebruik van de modelschematisatie mogen er geen veranderingen aan de numerieke instellingen worden gedaan. Dit is wel toegestaan in het kader van onderzoeksvragen.

Te verwachten rekentijden

De jaarsommen zijn uitgevoerd op het h6 Linux-cluster van Deltares, waarbij gebruik is gemaakt van 8 partities (2 nodes met 4 cores per node). Elke node bevat één Intel quad-core e3-1276 v3 processor, dat wil zeggen 4 cores per node met 3.6 GHz per core. De rekentijd voor de uitgevoerde 3D-jaarsommen op basis van deze configuratie is 3,4 minuten per simulatiedag (oftewel 0,85 dagen per simulatiejaar).

Voor de jaarsommen gecombineerd hydrodynamica en waterkwaliteit is gebruik gemaakt van de nieuwe h6-c7 Linux-cluster van Deltares. Elke node bevat één Intel quad-core e3-1276 v3 processor, dat wil zeggen 4 cores per node met 3.6 GHz per core. Bij de online-gekoppelde simulaties is gerekend op 16 partities (4 nodes met 4 cores per node). De rekentijd van dit model voor jaarsom 2008 bedraagt 5,7 minuten per simulatiedag (oftewel 1,4 dagen per simulatiejaar).

Koppelingen en relaties met andere modellen

Om een eventuele koppeling met naastgelegen deelgebieden te kunnen faciliteren, sluit het rekenrooster van D-HYDRO Grevelingen aan op het rooster van de D-HYDRO-modellen van de Rijn-Maasmonding, het Volkerak-Zoommeer en de Oosterschelde.

Praktisch gebruik van het model

Informatie over D-Flow FM software (hydrodynamische module van D-HYDRO) is te vinden via de online User Manual: https://content.oss.deltares.nl/delft3d/manuals/D-Flow_FM_User_Manual.pdf

In de huidige modelontwikkeling is gebruik gemaakt van de randvoorwaarden en initiële condities uit voorgaande modelstudies. Aangezien de saliniteit in de diepere delen en sommige waterkwaliteitsparameters meer tijd nodig hebben om tot een dynamisch evenwicht te komen, wordt aanbevolen om in vervolgstudies een langere inspeelperiode toe te passen.

De mappenstructuur van het D-HYDRO-model is uitgelijnd met de generieke mappenstructuur voor D-HYDRO-modelschematisaties (de Jong, 2020). Hierdoor is het mogelijk om het model eenvoudig aan te sluiten op de Sommengenerator Watermodellen (SGWM).

Voor de mappenstructuur van het online gekoppelde D-HYDRO waterkwaliteitsmodel is een nieuwe, maar zeer vergelijkbare mappenstructuur, opgezet.

Beschikbare versies

Modelschematisatie	Jaar	Software	
		Baseline	D-HYDRO Suite
dflowfm3d-grevelingen-j19_6-w4	2020	6.1.1 (2019)	2020.05 (v1.6.X)
dflowfm3d_dwaq-grevelingen-j19_6-w4	2020	6.1.1 (2019)	2020.05 (v1.6.X)

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

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

Randvoorwaardensets

De volgende randvoorwaardensets zijn beschikbaar voor de zesde-generatie 3D Grevelingen-modellen.

Naam	Type	Beschrijving	Kenmerken	Referentie
Jaarsom 2000 (validatie)	hist	28-oktober-1999 – 01-januari-2001	Lateralen (debiet, temperatuur, nutriënten) Neerslag (debiet en temperatuur) Verdamping (debiet)	Groenenboom et al. (2021) en Zijl & Nolte (2006)
Jaarsom 2008 (kalibratie)	hist	01-november-2007 – 01-januari-2009	Lateralen (debiet, temperatuur, nutriënten) Neerslag (debiet en temperatuur) Verdamping (debiet)	Groenenboom et al. (2021) en Spiteri & Nolte (2010)
Jaarsom 2017 (validatie)	hist	27-oktober 2016 – 01-januari-2018 Waterbalans is omgezet in tijdseries van debieten voor de twee grote kunstwerken (Brouwerssluis en Flakkeese Spuisluis), de poldergemalen, regenval en verdamping.	Lateralen (debiet, temperatuur, nutriënten) Neerslag (debiet en temperatuur) Verdamping (debiet)	Groenenboom et al. (2021)
Storm oktober 2002	hist	25 oktober 2002 tot 30 oktober 2002	Meteo: Windsnelheid Windrichting	Groenenboom et al. (2021)
Sinterklaasstorm 2013	hist	Storm van 4 tot 8 december 2013	Meteo: Windsnelheid Windrichting	Groenenboom et al. (2021)

Release notes

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

dflowfm3d-grevelingen-j19_6-w4

Deze modelschematisatie is het uitgangspunt voor toekomstige 3D-schematisaties voor dit gebied.

dflowfm3d_dwaq-grevelingen-j19_6-w4

Deze modelschematisatie is het uitgangspunt voor toekomstige 3D-schematisaties online gekoppeld aan waterkwaliteitsmodellering (DWAQ) voor dit gebied.

Referenties (alfabetisch)

Groenenboom, J., van der Heijden, L.H., Markus, A.A., Laan, S.C. (2021): *Ontwikkeling zesde-generatie modelschematisatie D-HYDRO Grevelingen; Modelbouw, kalibratie en validatie*. Deltares, rapport 11205259-006-ZKS-0007.

de Jong, J. (2020): *Toepassing van D-HYDRO: Mappenstructuur en sommengenerator water modellen (SGWM)*. Deltares, memo 11205259-002-ZKS-0004. <nog in de maak>

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.

RWS & Deltares (2021b). *Factsheet Baseline-NL, versie 2021-v1*.

Spiteri, C., Nolte, A.J. (2010). *Validatie van het 3D model van het Grevelingenmeer voor hydrodynamica, waterkwaliteit en primaire productie*. Deltares, rapport 1201650-000-ZKS-0015.

Zijl, F., Nolte, A. (2006). *Effect van ingebruikname Flakkeese spuisluis op de hydrodynamica en waterkwaliteit van het Grevelingenmeer*. Deltares, rapport Z4161.



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.