

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 het Informatiepunt Leefomgeving:
<https://iplo.nl/thema/water/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 Rijkswaterstaat, 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 opdat 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 Rijkswaterstaat ingezet 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 D-FLOW FM 3D hydrodynamische model online-gekoppeld aan D-Water Quality (waterkwaliteit) van het Grevelingenmeer binnen de D-HYDRO Suite.

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 ecologische waterkwaliteit en maatregelen op deze te behouden of verbeteren. De beschrijving richt zich op de volgende systeemkenmerken:
 - Zout- en temperatuurdynamiek en -stratificatie ten behoeve van grootschalige waterkwaliteitspatronen en -processen (met name zuurstofuitputting onderlaag)
 - Zuurstofconcentratie waterkolom en zuurstofuitputting in relatie tot stratificatie
 - Seizoenspatronen 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
 - Seizoenspatronen 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 (voor peilregulatie)
5. Berekening van waterverdelingsstudies

RWS heeft daarom, rekening houdend met het bovenstaande, deze modelschematisaties (alleen hydrodynamica: dflowfm3d-grevelingen-j19_6-v2a & hydrodynamica en waterkwaliteit: dflowfm3d_dwaq-grevelingen-j19_6-v2a) 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 zoals berekeningen van waterstanden op het meer (meerpeil).
3. Beleidsondersteuning en verkenning, waaronder het doorrekenen van klimaatscenario's, scenario's voor waterbeheer zoals aanpassingen waterbalans en/of nutriëntenbalans. Bij het toepassen 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) van RWS-CIV. Voor de gegevens onder het wateroppervlak wordt gebruik gemaakt van Iodingen van de Meetdienst van RWS-CIV. De aanwezige vegetatie in het gebied wordt met de ecotopenkaart van RWS-CIV beschreven.

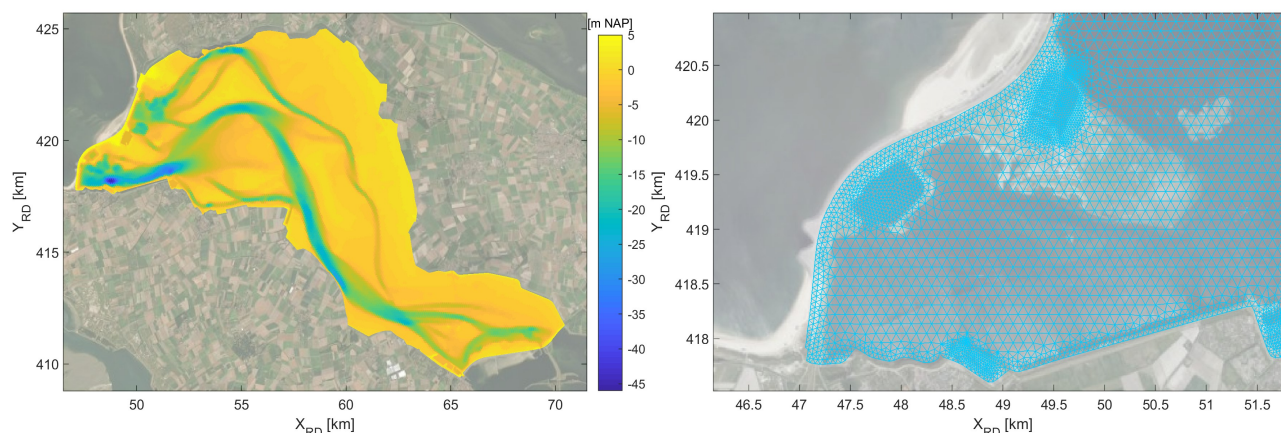
De geografische gegevens in Baseline worden via een automatische procedure geprojecteerd op het rekenrooster van de modelschematisatie. Dit betreft de bodemligging, locaties van uitvoerpunten, lateralen, kunstwerken en debietraaien, lijnelementen, ecotopenkartering en begrenzingen.

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 bandijk 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. De modelsom voor 3D hydrodynamica en waterkwaliteit 2017 gebruikt een laagdikte van 0,5 m en heeft daarmee 90 lagen¹.

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 modelbodemligging 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

¹ Eerdere modelsommen van 2000 en 2008 gebruikten 36 lagen met een laagdikte van 1,25 m.

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 gebruik in 2017 en vanaf november 2021)
- Gemalen: Kilhaven, Drie Grote Polders, Battenoord, Den Osse en Dreischor
- Regenval en verdamping
- Sluiterm

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 2017 waterbalans is aangeleverd door Rijkswaterstaat. De waterbalansen voor 2000 en 2008 zijn overgenomen uit voorgaande modelstudies (Zijl et al., 2006 & Spiteri et al, 2010).

Meteo

Voor de meteoaansturing 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 kg/m³) 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 van)

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. 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 $5\text{E-}5 \text{ m}^2/\text{s}$).

Modelkarakteristieken - waterkwaliteit

Instellingen

- Voor de opzet van het waterkwaliteitsmodel 2017 is gebruik gemaakt van parameters uit het originele hydrodynamische en waterkwaliteitsmodel op basis van Delft3D 4 (Spiteri & Nolte, 2010). De waterkwaliteitsparameters wordt 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 bepaald aan de hand van 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 2016) zijn afkomstig van het D-FLOW FM 3D gekoppelde D-Water Quality jaarsom 2008.

Modelschematisatie hydrodynamica en waterkwaliteit algemeen

De vigerende modelschematisatie is als volgt tot stand gekomen:

- In 2019-2020 is de nieuwe 6^e generatie hydrodynamica modelschematisatie voor het Grevelingenmeer opgezet en gekalibreerd en gevalideerd in D-FLOW FM 3D. Omdat het voorgaande Delft3D-FLOW voor de jaren 2000 en 2008 was opgezet, gekalibreerd en gevalideerd is ten bate van de model-modelvergelijking gekozen voor dezelfde jaren 2000 en 2008. Daarnaast is het jaar 2017 gekozen, omdat in dat jaar de Flakkeese spuisluis in gebruik is geweest (Groenenboom et al., 2021).
- In 2020-2021 is het 3D D-Water Quality model online gekoppeld aan het D-FLOW FM 3D model en gekalibreerd en gevalideerd voor de jaren 2000 en 2008. De model-modelvergelijking liet in algemene zin grote overeenkomst zien. Omdat uit de model-modelvergelijking een aanzienlijk verschil bleek voor de indicator 'langdurig zuurstofarm areaal', met name in een getijscenario, is uitvoerig onderzoek gedaan naar de oorzaak. De wind-dragcoëfficiënt en de fijnere horizontale roosterresolutie bleken de grootste invloede te hebben op de indicator, terwijl tevens werd aangetoond dat de betreffende indicator gevoelig is voor modelinstellingen. (Groenenboom et al., 2021; Nolte et al., 2021).
- In 2022 is een extra validatie van het waterkwaliteitsmodel uitgevoerd voor het jaar 2017. Uit deze extra validatie bleek dat de verticale laagverdeling verfijnd moest worden (van 1,25 m naar 0,5 m) om de temperatuurstratificatie en de daaraan gerelateerde zuurstofuitputting voldoende goed te reproduceren (Van der Heijden en Nolte, 2022a). Dit is de vigerende modelschematisatie, beschreven in deze factsheet.

Kalibratie hydrodynamica

Methodiek

Kalibratie van de hydrodynamica is uitgevoerd op eerdere jaarsom 2008. Ook is in eerdere studies een gevoeligheidsonderzoek gedaan naar het effect van het gebruik van verschillende windstations, windforceringen en andere instellingen op de berekende stormopzet. Voor beide studies betrof het een model met een grovere laagdikte, deze is in jaarsom 2017 verfijnd.

Resultaten

Voor resultaten wordt verwezen naar eerder gepubliceerde rapporten (Groenenboom et al., 2021; Spiteri & Nolte, 2010).

Validatie hydrodynamica

Methodiek

Zoutverspreiding en zout- en/of temperatuurstratificatie

Voor de kalibratie en validatie is gebruik gemaakt van de door Rijkswaterstaat beschikbaar gestelde GTSO-metingen (=verticale-profielmeting van temperatuur, saliniteit en zuurstof) op vaste meetlocaties in het Grevelingenmeer.

Waterstand

Omdat een waterbalans aan het model wordt opgelegd en daarmee dus ook de waterstand en waterstandsvariatie, wordt niet op waterstand gekalibreerd.

Resultaten

Zoutverspreiding en zout- of temperatuurstratificatie

De stationsgemiddelde statistiek (bias, standaarddeviatie en RMSE) van saliniteit en temperatuur voor jaarsom 2017 zijn te vinden in Tabel 1. Hierbij wordt de statistiek op 3 verschillende dieptes getoond (-1 m, -10 m en -15 m).

Tabel 1: Gemiddelde RMSE saliniteit (PSU) en 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
Temperatuur (°C) (0,5 m laagdikte)	-0,80	0,54	0,97	-0,85	0,49	0,98	-0,29	0,52	0,64
Saliniteit (PSU) (0,5 m laagdikte)	0,17	0,41	0,45	0,17	0,37	0,41	0,16	0,35	0,39

Nauwkeurigheid en modelonzekerheid

Op basis van de statistiek in Tabel 1 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 waardes gemodelleerd, iets wat verder onderzoek vergt wanneer hier gedetailleerd naar gekeken wordt.

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

Kalibratie waterkwaliteit

Methodiek

Geen kalibratie uitgevoerd.

Resultaten

Niet van toepassing.

Validatie waterkwaliteit

Methodiek

Voor de validatie van waterkwaliteitsparameters van het model is jaarsom 2017 doorgerekend. Eerder zijn ook validatie van waterkwaliteitsparameters voor jaarsom 2000 en jaarsom 2008 uitgevoerd en zijn deze vergeleken met de waarden uit het Delft3D 4-model. Daarnaast is een vergelijking gedaan met gemeten waarden. Naast de validatie voor het jaar 2017 is er ook een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd naar de gevolgen van laagdiktes op de model-meting vergelijking.

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

Gevoeligheidsanalyse

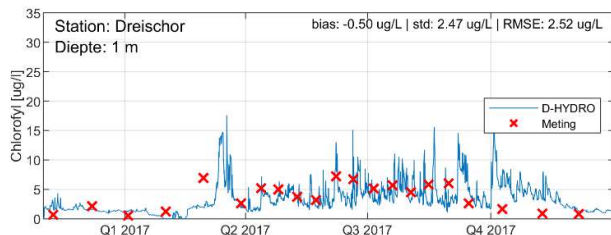
Uit de gevoeligheidsanalyse naar laagdiktes is geconcludeerd dat het model met 0,5 m laagdikte een betere vergelijking tussen metingen en modelresultaat oplevert dan de vergelijking tussen modelvariant met laagdikte 1,25 m en metingen. Voornamelijk in de diepere waterlagen geeft de 0,5 m laagdikte modelsom een betere benadering van metingen. Een laagdikte van 0,5 m komt overeen met de keuzes in het 3D model van het Veerse Meer.

Zuurstof

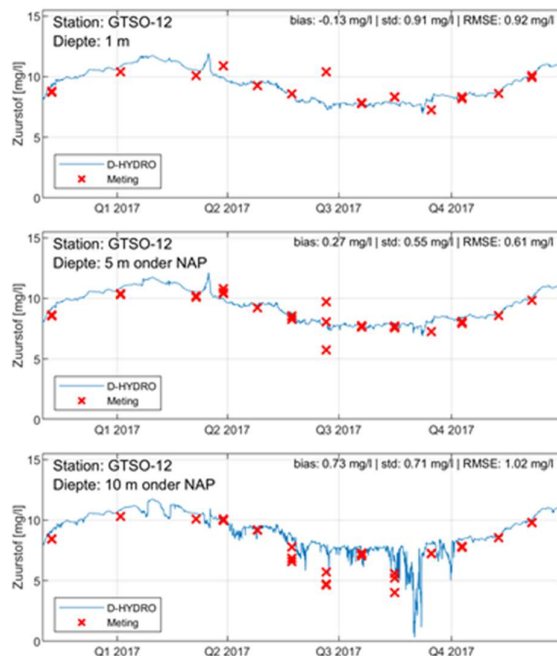
Statische kengetallen (bias, standaard deviatie en RMSE) voor berekende waarden van zuurstofconcentraties zijn weergegeven in Tabel 2 voor 2017. Ook zijn de concentraties, gemeten en berekend, voor jaar 2017, weergegeven in Figuur 2.

Chlorofyl en nutriënten

Voor chlorofylconcentraties (Figuur 3) en verschillende nutriënten zijn de statische kengetallen berekend bij station Dreischor (Tabel 3).



Figuur 3 Vergelijking van berekende chlorofylconcentraties ($\mu\text{g/l}$) (lijn; D-HYDRO som) en de metingen (rode kruizen) in het Dreischor, Grevelingen, voor jaarsom 2017.



Figuur 2 Vergelijking van berekende zuurstofconcentraties (mg/l) (lijn; D-HYDRO som) en de metingen (rode kruizen) in het jaar 2017 voor GTSO-13 op 1 m, 5 m en 10 m onder het oppervlak.

Tabel 2 Gemiddelde statische kengetallen (bias, std. en RMSE) voor berekende waarden van zuurstofconcentraties, temperatuur en saliniteit vergeleken met metingen voor verschillende dieptes. Gemiddelde is bepaald aan de hand van waarden bij GTSO-stations in het jaar 2017.

	-1 m NAP			-5 m NAP			-15 m NAP		
Parameter	bias	std	RMSE	bias	Std	RMSE	bias	std	RMSE
Zuurstofconcentraties	-0,10	0,89	0,93	0,16	0,84	0,92	0,43	1,43	1,52
Saliniteit	0,17	0,41	0,45	0,17	0,37	0,41	0,16	0,35	0,39
Temperatuur	-0,80	0,54	0,97	-0,85	0,49	0,98	-0,29	0,52	0,64

Tabel 3 Statische kengetallen (bias, std. en RMSE) voor berekende waarden van waterkwaliteitsparameters vergeleken met metingen voor het station Dreischor in het jaar 2017. Waterkwaliteitsparameters hier weergegeven zijn chlorofyl-, ammonium-, nitraat-, zuurstof-, fosfaat- en silicium-, totale stikstof- en totale fosfor-concentraties.

Station Dreischor		Jaarsom 2017		
Parameter	Unit	Bias	STDEV	RMSE
Chlorofyl	µg/L	-0,50	2,47	2,52
Ammonium	mg/L	0,00	0,04	0,04
Nitraat	mg/L	0,04	0,10	0,11
Zuurstof	mg/L	0,04	0,82	0,82
Fosfaat	mg/L	-0,01	0,02	0,02
Silicaat	mg/L	-0,13	0,22	0,25
Totale stikstof	mg/L	0,06	0,14	0,15
Totale fosfaat	mg/L	-0,03	0,02	0,04

Nauwkeurigheid, toepasbaarheid en modelonzekerheid

Zuurstof

Voor de D-HYDRO jaarsom 2017 komen de berekende zuurstofconcentraties grotendeels overeen met de geobserveerde waarden in verschillende waterlagen, ook in de diepere lagen (Tabel 2). Een modelbetrouwbaarheidsonderzoek toont ook dat constante zuurstofmetingen nabij de bodem in de directe omgeving van de Flakkeese spuisluis over het algemeen goed worden benaderd door het model (Nolte et al., 2022).

Nutriënten

Voor jaarsom 2017 zijn de ammonium-, nitraat- en totaal-stikstofconcentraties nagenoeg gelijk voor berekening en meting, met uitzondering van een berekende onderschatting in het eerste halve jaar. Berekende en gemeten orthofosfaatconcentraties voor jaarsom 2017 zijn nagenoeg gelijk, met een onderschatting in eerste kwartaal. Berekende siliciumconcentraties toont voor jaarsom 2017 wat hogere fluctuatie in gemeten t.o.v. berekende waarden.

Chlorofyl

Voor berekende chlorofylconcentraties zijn op bepaalde momenten verschillen gevonden (Figuur 3). Voornaamste verschil is zichtbaar tijdens de voorjaarsbloei van 2017 wanneer berekende chlorofylconcentraties het sterkst afwijken van de gemeten waarden, voor de overige periodes komen de waarden grotendeels overeen (Tabel 3).

Conclusie

Uit de data-model-vergelijking blijkt dat het D-HYDRO model voor jaarsom 2017 over het algemeen goed in staat is om de geobserveerde saliniteit, temperatuur en zuurstof-, chlorofyl- en nutriëntenconcentraties te reproduceren. Het online-gekoppelde D-HYDRO-model van jaarsom 2017 is gebruikt om getij-scenarios te berekenen (van der Heijden & Nolte, 2022b).

Toepassingen

Het model is geschikt om toe te passen voor de modellering van zoutgehaltes 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.

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.

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 het model voor jaarsom 2017, met hogere verticale resolutie, bedraagt ~21 minuten per simulatiedag (oftewel ~5,5 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.

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

Beschikbare versies

Modelschematisatie	Type	Jaar	Software	
			Baseline	D-HYDRO Suite
dflowfm3d_dwaq-grevelingen-j19_6-v2a	V (2000, 2008, 2017)	2022	6.1.1 (2019)	2020.05 (v1.6.X)
dflowfm3d-grevelingen-j19_6-v2b	V (2017)	2024	6.3.1 (2024)	2024.03
dflowfm3d_dwaq-grevelingen-j19_6-v2b	V (2017)	2024	6.3.1 (2024)	2024.03

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

- De kolom '**modelschematisatie**' verwijst naar de naam van de modelschematisatie: Hieraan is te zien welke geometrie de schematisatie het beste representeert. De schematisatie van het jaar 20XX wordt het best gerepresenteerd door het jXX model. (zie ook Rijkswaterstaat, 2021a).
- De kolom '**type**' model verwijst naar het gebruik van het model: K=kalibratie, V=validatie, A=actueel, B=beno, H=HR
- De kolom '**jaar**' verwijst naar het jaar waarin de modelschematisatie is opgeleverd.
- De kolom '**software**' verwijst naar de versies waarmee de modelschematisatie is opgebouwd en getest.

Randvoorwaardensets

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

Naam	Type	Beschrijving	Kenmerken	Referentie
Jaarsom 2017	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, zout, nutriënten) Neerslag (debiet en temperatuur) Verdamping (debiet)	Groenenboom et al. (2021) en van der Heijden & Nolte (2022a)

De randvoorwaardensets voor de jaarsommen 2000 en 2008 zijn gearchiveerd bij dflowfm3d_dwaq-grevelingen-j19_6-v2a .

Release notes

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

dflowfm3d_dwaq-grevelingen-j19_6-v2a

Deze modelschematisatie is in 2022 opgezet en was en was gebaseerd op Baseline-zwd-j19_6-w4 en het in 2021/2022 opgezette 3D hydrodynamisch model van de Grevelingen (Groenenboom et al., 2021). Het was het startpunt voor de ontwikkeling van zesde generatie 3D modelschematisaties voor de Grevelingen (Van der Heijden & Nolte, 2022a,b).

dflowfm3d-grevelingen-j19_6-v2b

Deze modelschematisatie is in 2024 opgezet en is gebaseerd op Baseline-nl-j19_6-v2, modelinvoer van dflowfm3d_dwaq-grevelingen-j19_6-v2a en D-HYDRO Suite 2024.03 (Kerkhoven, 2024). Deze modelschematisatie is het uitgangspunt voor toekomstige hydrodynamische 3D-schematisaties voor dit gebied. Voor de overgang van D-HYDRO Suite 2020.05 (v2a) naar D-HYDRO Suite 2024.03 was het nodig om een aantal keywords aan te passen.

dflowfm3d_dwaq-grevelingen-j19_6-v2b

Deze modelschematisatie is in 2024 opgezet en is gebaseerd op Baseline-nl-j19_6-v2, modelinvoer van dflowfm3d_dwaq-grevelingen-j19_6-v2a en D-HYDRO Suite 2024.03 (Kerkhoven, 2024). Deze modelschematisatie is het uitgangspunt voor toekomstige 3D-schematisaties voor dit gebied met hydrodynamica gekoppeld met waterkwaliteit. Voor de overgang van D-HYDRO Suite 2020.05 (v2a) naar D-HYDRO Suite 2024.03 was het nodig om een aantal keywords aan te passen.

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.

van der Heijden, L.H. Nolte, A.J. (2022a): *Extra validatie zesde-generatie modelschematisatie D-HYDRO Grevelingen. Ingebruikname Flakkeese spuisluis in 2017*. Deltares, rapport 11208051-002-ZKS-0003.

van der Heijden, L.H. Nolte, A.J. (2022b): *Effect en effectiviteit van negen scenario's op de zuurstofdoelindicatoren van het Grevelingenmeer. Onderdeel van Getij Grevelingen*. Deltares, rapport 11206580-006-ZKS-0006.

Kerkhoven, D. (2024): *Release Notes Grevelingen: j19_6-v2a naar j19_6-v2b* Deltares, memo 11210334-002-ZKS-0008.

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.

Nolte, Arno, Jos van Gils en Julien Groenenboom (2021): *Samenvatting aanvullend onderzoek D-HYDRO-model Grevelingen*, Memo 11206811-002-ZKS-0005, september 2021.

Nolte, A.J., van der Heijden, L.H., Wijsmijn, J. (2022). *Modelbetrouwbaarheid doelindicatoren Getij Grevelingen*. Deltares rapport 11206580-007-ZKS-0002.

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.