

# D-Flow FM 3D & D-Water Quality Volkerak-Zoommeer



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

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

De modelschematisaties van deze watersystemen sluiten naadloos op elkaar aan. Daarmee wordt het mogelijk om op termijn één model voor het gehele hoofdwatersysteem te ontwikkelen.

De modelschematisaties zijn gebaseerd op de D-HYDRO Suite software, waarmee Rijkswaterstaat haar modellen op de laatste stand van de techniek baseert.

## Contactgegevens:

Voor vragen n.a.v. deze publicatie kunt u terecht bij het Informatiepunt Leefomgeving: [iplo.nl/thema/water/applicaties-modellen/modelschematisaties/](http://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 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 voor toepassing bij het opstellen van operationele verwachtingen, vergunningverlening en aanleg, planstudies, 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 van het Volkerak-Zoommeer dat optioneel online-gekoppeld kan worden aan de waterkwaliteitsmodule (D-Water Quality). Deze twee modelschematisatie zijn onderdeel van de zesde-generatie Rijkswaterstaatmodellen.

### Geografische ligging

De modelschematisatie van het Volkerak-Zoommeer beslaat het Krammer-Volkerak, de Eendracht en het Zoommeer. Het Schelde-Rijnkanaal loopt door de Eendracht en Zoommeer naar het Volkerakmeer. Dit kanaal is een belangrijke hoofdvaarweg als onderdeel van de hoofdtransportas Amsterdam-Rotterdam-Antwerpen.

Het Volkerak-Zoommeer is een afgesloten, peilgestuurd watersysteem dat door dammen en kunstwerken is gescheiden van de omliggende wateren. Het meer staat via kunstwerken in verbinding met het Hollandsch Diep (Volkeraksluizen), de Oosterschelde (Krammersluizen en Bergse Diepsluis), de Westerschelde (Bathse Spuisluis) en met het Antwerps Kanaalpand (Kreekraksluizen). Het enige aangrenzende waterlichaam waar geen directe verbinding mee bestaat, is het Grevelingenmeer. Het gebied wordt weergegeven in het Rijksdriehoekscoördinatenstelsel en het verticale referentievlak is ten opzichte van Normaal Amsterdams Peil (NAP).

### Toepassingen

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

1. Verkenningen en planstudies: Zowel het hydrodynamische als het gekoppelde waterkwaliteitsmodel kan worden ingezet voor het inventariseren van effecten en implicaties van aanpassingen aan het watersysteem.
2. Vastlegging van systeemwerking en -kennis in aanvulling op en in combinatie met (kennis uit) monitoringsgegevens: Het hydrodynamische en het waterkwaliteitsmodel geven een beschrijving van de werking van het systeem, met betrekking tot waterstanden, temperatuur en zout (hydrodynamisch model) en nutriënten, zuurstof, fytoplankton en Quagga-mosselen (waterkwaliteitsmodel). De beschrijving richt zich op de volgende systeemkenmerken:
  - Zoutdynamiek en -stratificatie ten behoeve van grootschalige waterkwaliteitspatronen en -processen
  - Seizoenspatronen van temperatuur, winter- en zomerniveaus en stratificatie
  - 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. Bijzondere aandacht voor het voorkomen van blauwalgen.
  - Mosselbiomassa, ordegrootte biomassa en ruimtelijke verdeling

Deze 3D 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. Eigenlijke operationeel waterbeheer van sluizen en stuwen
5. Berekening van waterverdelingsstudies

Het 3D hydrodynamische model was beoogd om beschikbaar te zijn voor operationele sturen, voor offline gebruik in het BOS Volkerak-Zoommeer waarbinnen ook de sturing op zoutgehalte wordt meegenomen. Echter, in de modelkalibratie en -validatie is gebleken dat de D-FLOW schematisatie nog niet toepasbaar is voor ondersteuning bij operationele sturing, omdat enkele zoutbronnen ontbreken.

RWS heeft, rekening houdend met het bovenstaande, de modelschematisaties (dflowfm3d\_dwaq-vzm-j19\_6-w4) vrijgegeven voor gebruik binnen de volgende kerntaken bij Rijkswaterstaat:

1. Beleidsondersteuning en verkenning, waaronder het doorrekenen van klimaatscenario's, scenario's voor waterbeheer zoals aanpassingen waterbalans en/of nutriëntenbalans.
2. Nieuwe aanleg projecten, zoals 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 (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

Voor de meer-achtige watersystemen (Volkerak, Krammer, en Zoommeer) is overeenkomstig met de gehanteerde aanpak voor D-HYDRO Grevelingen, gekozen voor het toepassen van driehoekige rekencellen. In het middengebied van het Volkerakmeer en de Krammer is gebruik gemaakt van een regelmatig driehoekig rooster met een resolutie van 100 m. De rand van het modeldomein bestaat in deze gebieden uit driehoekige cellen met een resolutie van 50 m: de modelrand sluit aan op de dijk (uit Baseline-afkomstig) en op aanpalende D-HYDRO-rekenroosters (netwerken) van de Oosterschelde en het Grevelingenmeer.

Voor het Zoommeer is, vanwege de beperkte omvang en de grootte, alleen gebruik gemaakt van driehoekige cellen met een resolutie van 50 m. Nabij kunstwerken (Krammersluizen, Volkeraksluizen, Kreekraksluizen) is getracht het driehoekige rooster uit te lijnen met de kades. Op verzoek van RWS is in en rond de geometrie van havens het rooster beperkt verfijnd. Hierdoor kunnen daar waterstanden berekend worden voor operationele informatievoorziening aan gemeenten, watersporters en havenautoriteiten

Ter plaatse van het Bathse Spuikanaal, de Eendracht en de overige kanaal-achtige delen van de Schelde-Rijnverbinding is gekozen om voor de natte onderdelen in het watersysteem gebruik te maken van een kromlijnig rooster. Dit sluit aan bij de gekozen roostervorm voor andere rivieren en kanalen binnen de zesde generatie D-HYDRO modellen ( de Rijn, Maas, delen van de Rijn-Maasmonding en het Noordzeekanaal). De rekencellen hier hebben grotendeels een lengte van ongeveer 50 m, omdat ook voor deze gebieden het wenselijk is dat het rooster aansluit op de roosters van omliggende wateren (zoals die van D-HYDRO Oosterschelde bij de Oesterdam). De breedte van de kromlijnige rekencellen varieert (tussen ongeveer 20 – 50 m) om verbredingen en versmallingen van het kanaal mee te kunnen nemen in het D-HYDRO model. Voor de (onder normale omstandigheden) droogliggende delen wordt gebruik gemaakt van driehoekige rekencellen.

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 23 lagen met een laagdikte van 1 m gebruikt.

Het horizontale rekenrooster bestaat uit 51.200 bodempunten en 30.128 waterstands-/rekenpunten.

### 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 overgenomen uit Baseline. Het Krammer-Volkerak bevat voormalige getijdegeulen die tot 23 m diep zijn (Krammerput). De Eendracht en de Schelde-Rijnverbinding vormen een kanaal met een diepte van ongeveer 6 m.

### Overlaten

In het model zijn vele overlaten (*fixed weirs*) 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 onder het wateroppervlakte van het Volkerak-Zoommeer 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

De brugpijlers zijn overgenomen uit Baseline-database. De volgende bruggen worden daarin meegenomen: Eendrachtweg (N286), Krammersluizen, Zeelandweg West (N257), Oude Kreekrakbrug, Vossemeerbrug, Bathseweg, Kreekrakspoorbrug en Kreekrakbrug.

### 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

- De waterbalans voor de periode 2011 tot en met 2016 is aangeleverd door RWS. Deze is gebruikt om in combinatie met het gemeten meerpeil een sluitfout af te leiden. De combinatie van de aangeleverde waterbalans en de afgeleide sluitfout is opgelegd op het model.
- De uitwisseling met de omliggende wateren wordt gemodelleerd middels onttrekkingen- en lozingen o.b.v. tijdseries van debiet, saliniteit en temperatuur bij Volkeraksluizen, Krammersluizen, Kreekraksluizen & -gemaal en Bathse Spuisluis.
- De afstroming van polderwater via de Brabantse rivieren Dintel en Sas wordt als tijdseries meegenomen in de modellering.
- Neerslag en verdamping wordt via een dagelijks gemiddelde *lateral discharge* verspreid over het actieve modeldomein opgelegd.
- De sluitfout in de waterbalans is opgelegd middels een lozing en een onttrekking: Wanneer sprake is van een tekort is deze als extra lozing opgelegd ter plaatse van het grootste inkomende debiet (Volkeraksluizen). Een overschot is opgelegd als extra onttrekking nabij het grootste uitgaande debiet (Bathse Spuisluis).
- Een zoutlekterm nabij de Krammersluizen in combinatie met een correctie-onttrekkingsterm.

### Meteo

- Voor de meteoaansturing worden uurswaarden voor de neerslag, verdamping, luchttemperatuur, de luchtvochtigheid en de bewolgingsgraad van meetstation Vlissingen gebruikt, afkomstig van het KNMI.
- De windforcering (richting en snelheid) zijn afkomstig van meetstation Tholen (uurwaardes 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.

Zout en temperatuur

Zout en temperatuur worden in dit 3D 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 (Kramer et al., 2016; Weeber et al., 2018).

Kunstwerken (sturing)

Niet van toepassing.

Overige fysica

Niet van toepassing.

Numerieke instellingen

De modelopzet van het zesde-generatie Rijkswaterstaatmodel van de Volkerak-Zoommeer is gebaseerd op de generieke technische en functionele specificaties zoals beschreven in Minns et al. (2019). Op de achtergrondwaarde van de verticale eddy diffusiviteit ( $0 \text{ m}^2/\text{s}$ ), bodemruwheid (Manning  $0,027 \text{ s/m}^{1/3}$ ) en Secchi diepte ( $1,5 \text{ m}$ ) na, worden de standaardinstellingen voor D-HYDRO-modellen gebruikt.

**Kalibratie hydrodynamica**Methodiek*Waterstandsrepresentatie en verhang*

Voor de toetsing van de reproductie van waterstanden en verhang in het D-Flow FM 3D-model is gebruik gemaakt van de Sinterklaasstorm (3 tot en met 6 december 2013). Er is beknopt gekeken naar de toepassing van windforcering van meetstation Vlissingen in plaats van meetstation Tholen. De beschrijving hiervan is opgenomen in van der Lugt et al. (2021)

*Zoutverspreiding en zout- of temperatuurstratificatie*

Op basis van de jaren 2011, 2012 en 2013 is het zoutlek van de Krammersluizen afgeregeld. Daarnaast is gekeken of de verticale representatie van de temperatuur en zoutgehalten kan worden verbeterd door de huidige modelinstellingen, zoals de achtergrondwaarden van de horizontale/verticale eddy diffusiviteit en viscositeit, verticale laagdikte en bodemruwheid aan te passen. Deze analyse is gedaan op basis van vaste meetstations (Volkerak Galathee (VK), Nieuw Vossemeer (VOSM), Bathse Spuikanaal Inloop (SPUI) en Bathse brug Deltanuts (BBDT)) en maandelijkse VTSO-metingen (verticale profielmeting van temperatuur, saliniteit en zuurstof op vaste meetlocaties). Het zoutlek door de Krammersluizen is afgeregeld door de bias van saliniteit op het VOSM meetstation te minimaliseren. Voor de mate van stratificatie en de ruimtelijke beoordeling van de zoutverspreiding is primair kwalitatief een visuele vergelijking gemaakt tussen gemodelleerde en gemeten waarden, aangevuld met statistische kengetallen (bias, standaarddeviatie, RMSE). Voor de jaarsommen geldt dat er gebruik is gemaakt van een inspeelperiode van drie maanden (oktober tot en met december).

Resultaten*Waterstandsrepresentatie en verhang*

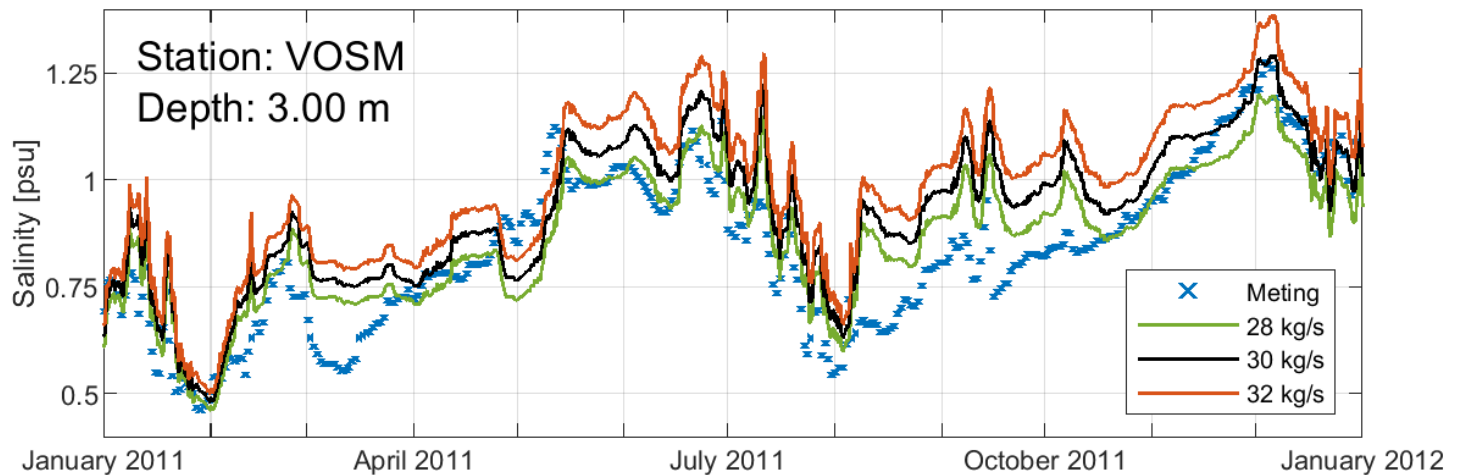
De resultaten met betrekking tot waterstand en het lokale verhang worden beschreven in de 2D factsheet van de Volkerak-Zoommeer schematisatie.

*Zoutverspreiding en zout- of temperatuurstratificatie*

Gevoeligheidsonderzoek naar modelinstellingen om de temperatuurbeschrijving te verbeteren gaven geen indicatie om af te wijken van de standaard instellingen. De instellingen gehanteerd binnen dit model zijn:

Tabel 1 Instellingen voor D-HYDRO Volkerak-Zoommeer na gevoeligheidsonderzoek waterstanden, temperatuur en saliniteit.

Instellingen D-HYDRO Volkerak-Zoommeer	
Windforcering [-]	Meetstations Tholen
Bruto zoutlek Krammersluizen [kg/s]	30
Secchi diepte [m]	1.5
Stanton [-]	$1.3 \times 10^{-3}$
Dalton [-]	$1.3 \times 10^{-3}$
Verticale laagdikte [m]	1
Verticale eddy diffusiviteit [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]	0
Verticale eddy viscositeit [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]	$5 \times 10^{-5}$
Bodemruwheid (Manning) [ $\text{s/m}^{1/3}$ ]	0.027



Figuur 1 Tijdsree van berekende en gemodelleerde saliniteit voor verschillende zoutlekmassa's bij de Krammersluis voor meetlocatie Nw. Vossemeer (VOSM, -3m).

Een zoutlek van 30 kg/s (uitgevoerd als een debiet van 1 m<sup>3</sup>/s met een saliniteit van 30 PSU) resulteert in de kleinste bias tussen meting en het berekende zoutgehalte voor station VOSM (liggende in het midden van het watersysteem) Dit geldt zowel voor de bovenste als onderste sensor, over de periode 2011 tot en met 2013.

## Validatie hydrodynamica

### Methodiek

Het D-Flow FM 3D model is gevalideerd voor saliniteit en temperatuur aan de hand van de simulatie over de periode 2014 tot en met 2016 en de vergelijking met metingen. Voor deze modelsimulatie zijn de gekalibreerde modelinstellingen gebruikt. Daarnaast zijn deze uitkomsten vergeleken met het bestaande Delft3D 4-model (Kramer et al., 2015, Weeber et al., 2018) .

### Resultaten

De stationsgemiddelde statistiek (bias, standaarddeviatie en RMSE) van de saliniteit en temperatuur voor de drie jaren zijn weergegeven in Tabel 2, waarin ook de resultaten van het Delft3D 4-model zijn weergegeven.

Tabel 2 Statistische kengetallen per jaar van saliniteit en temperatuur op basis van de TSO metingen voor 2014 – 2016

Gemiddelde	2014			2015			2016		
	Bias	Std	RMSE	Bias	Std	RMSE	Bias	Std	RMSE
Saliniteit (PSU)									
Delft3D 4	-0.33	0.23	0.44	-0.27	0.19	0.36	-0.12	0.25	0.32
D-HYDRO	-0.31	0.08	0.32	-0.25	0.09	0.27	-0.10	0.14	0.19
Temperatuur (°C)									
Delft3D 4	-0.17	0.54	0.60	-0.34	0.47	0.61	0.00	0.60	0.60
D-HYDRO	-0.64	0.35	0.74	-0.99	0.33	1.04	-1.44	0.66	1.59

## Nauwkeurigheid, toepasbaarheid en modelonzekerheid

De kwaliteit van de modellering van saliniteit is vergelijkbaar of beter dan die van het bestaande Delft3D 4-model (Tabel 2). Echter het zoutgehalte in de put nabij de Krammersluizen (Krammerput) wordt aanzienlijk onderschat (gemeten pieken: 3 tot 3.5 psu, gemodelleerd tot 2 psu), daarnaast wordt door het ontbreken van een zoutlek door de Bathse Spuisluis en Bergse Diepsluis de zoutdynamiek in het zuidelijk deel van het meer slecht gereproduceerd. Deze beperkingen met betrekking tot de opgelegde zoutlasten werken door op de gemodelleerde zoutgehalten in het gehele modeldomein. Voor toepassing voor (ondersteuning van) operationele sturing is verbetering nodig. Voor grootschalige waterkwaliteit is verbetering wenselijk, maar is de afwijking niet belemmerend.

Het D-HYDRO-model laat gemiddeld genomen een onderschatting zien van de temperatuur. Vooral de temperatuur in de wintermaanden wordt onderschat. Het Delft3D 4-model liet een vergelijkbare (maar minder sterke) onderschatting zien (Bias - Delft3D: 0 tot -0,34 °C, Bias - D-HYDRO -0,64 tot -1,44 °C). De variabiliteit

wordt door beide modellen wel redelijk vergelijkbaar beschreven (Std - Delft3D: 0,44 tot 0,60 °C, Std - D-HYDRO 0,33 tot 0,66 °C). Gevoeligheidsonderzoek naar de oorzaak (en vervolgens eventuele kalibratie) van deze onderschatting heeft niet tot verbeteringen van het D-HYDRO-model geleid. Verbetering van de temperatuurmodellering is wenselijk. Voor scenariostudies waarin naar relatieve veranderingen wordt gekeken, is het model toepasbaar.

Het 3D model voor het Volkerak-Zoommeer is gekalibreerd en gevalideerd op saliniteit en temperatuur. Er is niet gekalibreerd op stroomsnelheden. In relatie tot de modelonzekerheid dient opgemerkt te worden dat het model momenteel alleen voor de huidige systeem situatie is doorgerekend. De onzekerheid van resultaten van het model zal toenemen op het moment dat scenario's doorgerekend gaan worden waarbij extra uitwisseling tussen deelgebieden aan het model wordt toegevoegd. Daarnaast is het zoutlek via de Bathse Spuisluis (recent gerenoveerd) en de Bergse Diepsluis niet meegenomen tijdens kalibratie en validatie, en zal het zoutlek via de Krammersluizen veranderen na ingebruikname van het IZZS (Innovatieve Zoet-Zout Scheidingssysteem).

## 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 (Kramer et al., 2016).
- 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, waarbij 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: fotosynthese, respiratie, sterfte en competitie van algen.
- Waterkwaliteitparameters in het model zijn: zuurstof, ammonium, nitraat, fosfaat, silicium, organisch opgeloste stoffen voor koolstof, stikstof, fosfaat en silicium, particuliere stoffen van koolstof, stikstof, fosfaat en silicium, en algensoorten kiezelwieren, dinoflagellaten, groenwieren, blauwalgen (*Microcystis*) en cyanobacteriën (*Oscillatoria* en *Anabaena*).
- Ecologische parameter in het model is Quagga-mosselen als gebruiker (filteren van algen en particulier organisch materiaal) en producent van mosselbiomassa.

### Open randen en lozingen

De concentraties van de waterkwaliteitsparameters zijn overgenomen uit het oorspronkelijke model (Kramer et al., 2016; Weeber et al., 2018). 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 aan het begin van de modelsimulatie (1 oktober 2010) zijn afkomstig van het Delft3D-4 model. Hetzelfde is gedaan voor de mosselbiomassa.

De inspeelperiode die gebruikt is bij de huidige opzet is 3 maanden (oktober tot en met december).

## Kalibratie waterkwaliteit

### Verticale laagdiktes

Voor de waterkwaliteitsparameters is een vergelijking gemaakt tussen een D-HYDRO model met een verticale laagdikte van 0,5 m en een D-HYDRO model met een laagdikte van 1,0 m. Beide modelsommen worden vergeleken met de resultaten van het Delft3D 4-model. Omdat er voor de grootschalige waterkwaliteit weinig tot geen verschil was, toonde dit gevoeligheidsonderzoek aan dat een 1,0 m laagdikte geschikt is om de grootschalige waterkwaliteit te berekenen.

### Offline vs. online D-Water Quality

De online berekening van D-Water Quality is relatief nieuw. Voor het Volkerak-Zoommeer is onderzocht of de online berekeningen dezelfde resultaten geven als de offline berekeningen. Uit dit gevoeligheidsonderzoek kwam dat een online berekening zeer vergelijkbare resultaten geeft en daardoor geschikt is voor gebruik van waterkwaliteitsmodellering.

### Kalibratie

Het D-HYDRO model is gekalibreerd voor de periode 2011-2013 en daarna voor de drie opvolgende jaren gevalideerd. Voor de gegevens, figuren en statistiek van de kalibratie wordt verwezen naar de rapportage, de validatie wordt hieronder weergegeven.

### Validatie waterkwaliteit

#### Methodiek

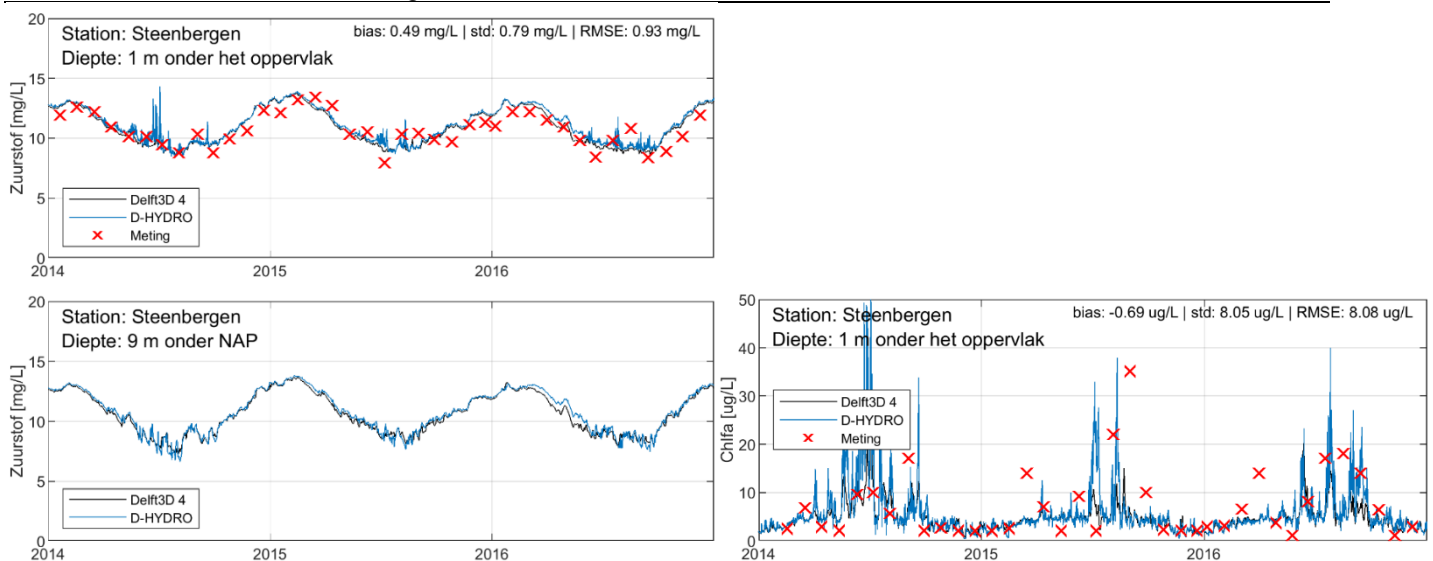
Het model is gevalideerd voor waterkwaliteitsparameters aan de hand van de simulatie en vergelijking met metingen en het bestaande Delft3D 4-model over de periode 2014 tot en met 2016. Voor deze modelsimulatie zijn de gekalibreerde modelinstellingen gebruikt.

#### Resultaten

De benadering van berekende waterkwaliteitsparameters zijn weergegeven voor de validatieperiode (2014-2016) in Tabel 3. Voor station Oesterdam en Steenberggen wordt de vergelijking voor de zuurstofconcentratie en de chlorofylconcentratie tussen de Delft3D-4 en D-HYDRO weergegeven in Figuur 2.

Tabel 3 Statistische kengetallen (bias, std. en RMSE) voor berekende waarden van waterkwaliteitsparameters vergeleken met metingen voor de stations Oesterdam en Steenberggen gemiddeld genomen over de jaren 2014-2016. Waterkwaliteitsparameters hier weergegeven zijn zuurstof-, chlorofyl-, ammonium-, nitraat-, totaal stikstof-, fosfaat-, totaal fosfor- en silicium-concentraties.

Parameter	Station	Bias		Std		RMSE	
		Delft3D	D-HYDRO	Delft3D	D-HYDRO	Delft3D	D-HYDRO
<b>Zuurstof</b>	Oesterdam	0,09	0,26	0,75	0,77	0,76	0,81
	Steenbergen	0,18	0,41	0,54	0,46	0,57	0,62
<b>Chlorofyl</b>	Oesterdam	2,77	3,78	10,14	9,55	10,52	10,27
	Steenbergen	0,71	2,58	3,28	5,29	3,35	5,89
<b>Ammonium</b>	Oesterdam	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06	0,07
	Steenbergen	0,00	0,01	0,03	0,04	0,03	0,04
<b>Nitraat</b>	Oesterdam	0,53	0,54	0,78	0,90	0,95	1,04
	Steenbergen	0,24	0,24	0,27	0,37	0,36	0,44
<b>Totaal stikstof</b>	Oesterdam	0,63	0,61	0,65	0,82	0,91	1,02
	Steenbergen	0,32	0,24	0,41	0,51	0,52	0,56
<b>Fosfaat</b>	Oesterdam	0,04	0,02	0,03	0,03	0,05	0,04
	Steenbergen	0,04	0,02	0,03	0,02	0,05	0,03
<b>Totaal fosfor</b>	Oesterdam	0,05	0,04	0,05	0,05	0,07	0,06
	Steenbergen	0,04	0,03	0,04	0,05	0,06	0,05
<b>Silicium</b>	Oesterdam	1,39	1,40	0,99	1,09	1,70	1,78
	Steenbergen	1,42	1,46	0,59	0,67	1,54	1,61



Figuur 2 Vergelijking van berekende zuurstofconcentraties (links; mg/L) en chlorofylconcentraties (rechts; µg/L) (lijnen; Delft3D 4-som, D-HYDRO som) met metingen (rode kruizen) voor station Steenberggen in de jaren 2014-2016. Voor zuurstof zijn berekende waarden weergegeven voor verschillende dieptes: net onder het oppervlakte (grafiek linksboven) en net boven de bodemlaag (grafiek linksonder).



### Nauwkeurigheid, toepasbaarheid en modelonzekerheid

Berekende zuurstofconcentraties komen over het algemeen goed overeen met gemeten waardes. Voor diepere gedeeltes rondom Krammerput en het Bergsche Diep kan door een onderschatting van zoutinstroom de berekende zuurstofconcentraties afwijken van de metingen.

Berekende ammonium-, nitraat- en totale stikstofconcentraties zijn zeer vergelijkbaar voor beide modelsommen en benaderen de metingen goed. Berekende fosfaatconcentraties laten kleine verschillen zien tussen beide modelsommen en voor beide modelsommen wijken deze af van de gemeten waardes. Verbetering van de modellering van de nalevering van fosfaat uit de bodem is wenselijk. Berekening van siliciumconcentraties zijn voor beide sommen zeer vergelijkbaar. Deze berekende waardes wijken van gemeten waardes over het gehele jaar. Verbetering is wenselijk door een betere inschatting van belasting uit de regionale wateren, waarvoor door ontbrekende informatie een schatting van gemaakt is (Kramer et al., 2016).

Berekende chlorofylconcentraties laten voor beide modelsommen een zeer vergelijkbaar patroon zien tijdens de validatieperiode. De berekende en gemeten waardes komen overeen qua seizoenal patroon en ook de berekende winter- en zomerniveaus en kortdurende piekwaarden komen goed overeen met de metingen.

Berekende mosselbiomassa is ietwat hoger wanneer berekend door D-HYDRO. Wel is het patroon over de tijd voor beide modelsommen aanwezig. Ruimtelijke verspreiding is zeer vergelijkbaar tussen modelsommen, maar de maximale drooggewichten zijn hoger in D-HYDRO.

### Vergelijking Delft3D-4 en D-HYDRO

De berekende waardes voor de validatieperiode (2014-2016) zijn vergeleken voor beide modelsommen en naast de gemeten waardes gelegd. Het D-Flow FM & D-Water Quality model verschilt weinig van de Delft3D 4-berekeningen voor zowel de kalibratieperiode als de validatieperiode. De modelonzekerheid en nauwkeurigheid wordt daarmee als vergelijkbaar beschouwd ten opzichte van de vorige generatie modelschematisaties.

Het model is toepasbaar voor onderbouwing van systeemkennis en onderzoek naar systeemgedrag. Het model wijst in dat kader op enkele processen waarvoor aanvullend inzicht wenselijk is (fosfaatnalevering, silicaatbelasting). Het model is toepasbaar voor scenariostudies waarbij het effect van externe ontwikkelingen (bijvoorbeeld klimaatverandering) en/of ingrepen onderling of met de huidige referentiesituatie vergeleken wordt.

---

### 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 (zie 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 voor open randen, lateralen en meteo-informatie). Standaard 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 hydrodynamica 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 2,75 minuten per simulatiedag (oftewel 0,7 dagen per simulatiejaar). De gemiddelde rekentijdstep in het model is ongeveer 28 seconden.

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. In deze studie zijn 20 partities gedraaid op 5 nodes. De rekentijd op basis van deze configuratie is 13,2 minuten per simulatie dag (oftewel 3,3 dagen per simulatiejaar). De gemiddelde rekentijdstep in het model is ongeveer 19 seconden.

### Koppelingen en relaties met andere modellen

Om een eventuele koppeling met naastgelegen deelgebieden te kunnen faciliteren, sluit het rekenrooster van de 3D D-HYDRO modelschematisatie van het Volkerak-Zoommeer aan op het rooster van de D-HYDRO-schematisaties van de Rijn-Maasmonding, de Oosterschelde en het Grevelingenmeer. Het is de intentie dat het nog te ontwikkelen D-HYDRO-model van het Schelde Estuarium ook aan zal sluiten op het rooster van de D-HYDRO Volkerak-Zoommeer schematisatie.

### 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](https://content.oss.deltares.nl/delft3d/manuals/D-Flow_FM_User_Manual.pdf)

De mappenstructuur van het D-Flow FM 3D & D-Water Quality-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).

## Beschikbare versies

### Modelschematisaties

Modelschematisatie	Jaar	Software	
		Baseline	D-HYDRO Suite
dflowfm3d_dwaq-vzm-j19_6-w4	2021	6.2.1	2020.05 (v1.6.4)

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

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

### Randvoorwaardensets

De volgende randvoorwaardensets zijn beschikbaar voor de zesde-generatie VZM-modellen.

Naam	Type	Beschrijving	Kenmerken	Referentie
Waterbalans 2011 - 2016	hist	Waterbalans voor periode 2011 - 2016	Lateralen (debiet, temperatuur, nutriënten) Neerslag (debiet en temperatuur) Verdamping (debiet)	van der Lugt et al. (2021)

## Release notes

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

### **dflowfm3d\_dwaq-vzm-j19\_6-w4**

De j19\_6 is het uitgangspunt voor de toekomstige 3D-schematisaties met een online gekoppelde waterkwaliteitsmodule (DWAQ) voor dit gebied.

## Referenties (alfabetisch)

- de Jong, J. (2020): *Toepassing van D-HYDRO: Mappenstructuur en sommengenerator water modellen (SGWM)*. Deltares, memo 11205259-002-ZKS-0004.
- Kramer, L., H. Los, T. Troost, M. Genseberger, M. Tiessen en P. Boderie (2016). *3D model van het Volkerak-Zoommeer voor waterkwaliteit en primaire productie: modelbeschrijving, kalibratie- en validatiedocument*. Deltares rapport 1220070-000-ZKS-0034. Delft: Deltares.
- Kuiper, C., Th. van der Kaaij, en D. Kerkhoven (2014): *Volkerak-Zoommeer WAQUA model 5e generatie; Modelopzet en validatie stormopzet en afwaaiing*. Delft: Deltares.
- van der Lugt, M., van der Heijden, L., Markus, A.A., Tiessen, M. (2020): *Ontwikkeling zesde-generatie modelschematisatie D-HYDRO Volkerak-Zoommeer; Modelbouw, kalibratie en validatie*. Deltares, rapport 11205259-007-ZKS-0005, concept.
- 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*.
- Tiessen, M. (2015): *5e generatie SOBEK3 model voor het Volkerak-Zoommeer Modelopzet en verificatie voor op- en afwaaiing*. Deltares rapport 1220073-006-ZKS-0004. Delft: Deltares.
- Weeber, M.P., L. Kramer, M. Genseberger, M.C.H. Tiessen, T.A. Troost, C.I. Eijsberg - Bak en A.J. Nolte, (2018): *Data-analyse en modelvalidatie van het Volkerak-Zoommeer ecosysteem - Met focus op blauwalgen en Quaggamosselen*. Deltares rapport 11201168-000-ZKS-0012. Delft: Deltares.



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.