

D-Flow FM 2D deelmodellen Rijn



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/



Introductie

Rijkswaterstaat maakt ten behoeve van haar kerntaken gebruik van verschillende modelschematisaties van de Rijkswateren en het Hoofdwatersysteem. Deze modelschematisaties worden o.a. ingezet voor de operationele verwachtingen, vergunningverlening, planstudies en het Beoordelings- en Ontwerpinstrumentarium. Modelschematisaties omvatten toepassingen voor waterbeweging, golven, morfologie, waterkwaliteit en ecologie.

Deze factsheet geeft een kort en bondig overzicht van een bestaande modelschematisatie(s) (model-invoer) en de bijbehorende gebiedsschematisatie(s) voor het betreffende watersysteem. Elke factsheet start met een algemene inleiding voor een breder publiek met informatie over het gemodelleerde gebied, over de mogelijke toepassingen en over de geografische brongegevens. Daarna volgen meer details over de uitgangspunten en aannames bij de opzet en ontwikkeling van de modellen en is vooral bedoeld voor personen die beschikken over een modelleerachtergrond. Per modelitem wordt dit op hoofdlijnen nader toegelicht. Voor nadere details wordt verwezen naar de modelrapportages onder de paragraaf "Referenties".

In deze factsheet wordt een beschrijving gegeven van de 2D hydrodynamische deelmodellen van de Rijntakken binnen de D-HYDRO Suite. Deze modelschematisaties zijn onderdeel van de zesde-generatie modellen. Voor de

totaalmodellen in de zesde generatie is een aparte factsheet beschikbaar (Kosters, 2022a).

Geografische ligging

De modelschematisaties beginnen allemaal bij Dornick, net over de grens met Duitsland, en beslaan de volgende gebieden:

- Het **splitsingspuntenmodel** beslaat de Boven-Rijn en het Pannerdens Kanaal in hun geheel, de Waal tot rkm 910, de Neder-Rijn tot rkm 908 en de IJssel tot rkm 915.
- Het **takmodel Waal** beslaat de Boven-Rijn en de Waal (tot Hardinxveld) in hun geheel, en het Pannerdens Kanaal tot rkm 872.
- Het **takmodel Neder-Rijn – Lek** beslaat de Boven-Rijn, het Pannerdens Kanaal en de Neder-Rijn – Lek (tot Krimpen aan de Lek) in hun geheel, het Betuwepand tot aan de Prins Bernhardsluizen, de Waal tot rkm 876 en de IJssel tot rkm 884.
- Het **takmodel IJssel** beslaat de Boven-Rijn, het Pannerdens Kanaal en de IJssel (inclusief het Reevediep, het Vossemeer, het Ketelmeer en een deel van het Drontermeer) in hun geheel, de Waal tot rkm 876 en de Neder-Rijn tot rkm 882.

De bandijk en hoge gronden vormen de grens van het model. In de IJsseldelta ligt de grens op de kade tussen IJsselmuiden en de Ramspolkering. Het gebied wordt weergegeven in het Rijks-Driehoeks coördinatenstelsel en het verticale referentievlak is ten opzichte van Normaal Amsterdams Peil (NAP).

Toepassingen

Deze modelschematisatie is ontwikkeld voor onderstaande toepassingen:

1. Waterloopkundige aanpassingen in het beheergebied
2. Simulatie van dieptegemiddelde waterbeweging en dieptegemiddelde stroming onder verschillende hydrologische omstandigheden

Deze modelschematisatie is niet ontwikkeld voor onderstaande toepassingen en er wordt zodoende een voorbehoud gemaakt ten aanzien van de inzet van de modelschematisatie voor het volgende:

1. morfologische studies (waarin o.a. de bodemligging dynamisch varieert),
2. scheepvaartbegeleiding (waarin o.a. diepte variërende stroming en dwarsstroming een rol speelt),
3. stofverspreiding-, zoutindringing- en temperatuurstudies (waarin o.a. gelaagdheid en horizontale en verticale uitwisseling een rol speelt).

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

De beleidsmodelschematisatie (benoxx) en de hiervan afgeleide deelmodelschematisaties:

1. Beheer en onderhoud van het beheergebied, zijnde o.a. op diepte houden, onderhoud krib/kribvakken/uiteerwaarden.
2. Vergunningverlening, zijnde o.a. Omgevingswetvergunning voor ingrepen in de rivier en toetsing aan het Rivierkundig Beoordelingskader
3. Effectbepaling van maatregelen, zijnde o.a. waterloopkundige aanpassingen in het gebied zoals bijvoorbeeld verruiming/verdieping van de rivieren, dijkverlegging, aanpassing strekdammen, natuurontwikkeling, etc.
4. Nieuwe aanleg projecten, zijnde o.a. natuurontwikkelingsprojecten, inpoldering, aanleg strekdammen en havens, etc.
5. Beleidsondersteuning en verkenning, zijnde o.a. 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 (Rijkswaterstaat & Deltares, 2021). Er zijn diverse databronnen gebruikt om deze database te vullen en er is gewerkt conform de Dienstspecificaties Invoer Baseline. Een belangrijke bron voor de gegevens boven water is het Digitaal Topografisch Bestand (DTB) van RWS-CIV. Andere bronnen zijn o.a. het AHN en laseraltimetrie. Voor de

onderwatergegevens wordt voornamelijk gebruik gemaakt van lodingen van de Meetdienst van RWS-CIV. De aanwezige vegetatie in het gebied wordt beschreven met de vegetatielegger. Waar geen gegevens beschikbaar zijn wordt de ecotopenkaart van RWS-CIV gebruikt. Specifiek voor het beno-model zijn nog vergunningen, projectplannen Waterwet en planmaatregelen opgenomen.

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

Ten opzichte van het totaalmodel (zie factsheet D-Flow FM 2D Rijntakken) is het rekenrooster met een factor 2 verfijnd. Deze verfijning is in twee stappen uitgevoerd. Ten eerste is het rooster `rijn_40m_v2022_1.0` automatisch verfijnd met de methode `CellsAndFaces` in `RGFGRID`. Vervolgens zijn enkele locaties in het verfijnde rooster handmatig aangepast om de roosterkwaliteit (met name de orthogonaliteit) te verbeteren en cellen te wijzigen die de tijdstap significant limiteren.

Schematisatie-elementen

Schematisatie-elementen zijn elementen die op een vaste positie in het gebied liggen en waarvan de ligging tijdens de berekeningen niet wijzigen. In de D-HYDRO-schematisatie zijn de volgende schematisatie-elementen meegenomen:

Bodemhoogte

- De bodemhoogte is geprikt uit het bodemhoogtemodel van Baseline op de hoekpunten van de roostercellen. De hoogte op de flow links (gebruikt voor doorstroomoppervlak) is het gemiddelde van de aangrenzende hoekpunten. De hoogte op de waterstandspunten (gebruikt voor de volume berekening) is het minimum van de aangrenzende flow links.

Overlaten

- In het model zijn vele tienduizenden overlaten aanwezig voor de schematisatie van steile gradiënten in de bodem en voor de schematisatie van smalle lijnvormige elementen zoals kades en kribben. Deze worden automatisch uit de Baseline-schematisatie afgeleid.

Landgebruik en bodemruwheid

- De aanwezige vegetatie in het gebied wordt met de ecotopenkartering 2017 van RWS-CIV beschreven. Daar bovenop is in de Baselineschematisatie `baseline-rijn-beno19_6-v2` een tussenversie van de vegetatielegger 2020 opgenomen. Waar aanwezig overschrijft deze de ecotopenkartering. Daarnaast zijn nog specifieke vergunningen en planmaatregelen met vegetatie opgenomen. Deze overschrijven op hun beurt de vegetatielegger.
- De ruwheid van het zomerbed wordt met een vereenvoudiging van de formulering voor alluviale ruwheden van Van Rijn berekend. Het zomerbed is in trajecten met constante basisruwheid ingedeeld, waarbij de trajectgrenzen gevormd worden door overgangen in de samenstelling van het bodemmateriaal. Vaste lagen en de bodemkribben bij Erlecom hebben een vaste Nikuradse ruwheidswaarde (k_s), de binnenbocht op deze locaties heeft wel een alluviale ruwheid.
- Het zomerbed is daarnaast opgedeeld in kalibratietrajecten. Hun begrenzing wordt bepaald door de LMW-meetlocaties en daarom zijn ze verschillend van de trajecten voor de basisruwheid. Voor elk kalibratietraject wordt d.m.v. kalibratie op waterstanden een vermenigvuldigingsfactor (kalibratiefactor) voor de basisruwheid afgeleid. Voor elk traject zijn vijf kalibratiefactoren bepaald, die elk gelden bij een andere afvoer (van lage tot zeer hoge afvoer). Bij tussenliggende afvoeren wordt de kalibratiefactor lineair geïnterpoleerd. Bij afvoeren die buiten het gekalibreerde bereik liggen wordt de factor van het laagste, dan wel het hoogste afvoerniveau aangehouden. De kalibratiefactoren zijn bepaald met het totaalmodel en overgenomen in de deelmodellen.

Kunstwerken

- De drie **stuwen op de Neder-Rijn en Lek (Driel, Amerongen en Hagestein)** zijn gemodelleerd als *general structures*. De stuwen hebben per standaardberekening een vaste instelling die is bepaald op basis van het stuwprogramma 2016.
- Bij het stuwcomplex Amerongen is naast de stuw ook een waterkrachtcentrale aanwezig (**WKC Amerongen**). De WKC is in de geometrie van het model opgenomen, maar in de sturing wordt hier (nog) geen gebruik van gemaakt; de WKC staat in het model dicht. De afvoer die in werkelijkheid door de WKC gaat, stroomt in het model door de stuw zelf.
- Het Betuwepand van het Amsterdam-Rijnkanaal verbindt bij lage afvoeren de Waal met de Lek. Het kanaal kan aan weerszijden worden afgesloten door twee kunstwerkcomplexen: de **Prinses Marijkesluis** bij de verbinding met de Lek en de **Prins Bernhardsluis** bij de verbinding met de Waal. De Bernhardsluis ontbreekt in de deelmodellen omdat deze locatie de grens vormt tussen het deelmodel van de Waal en dat van de Neder-Rijn – Lek. Het complex van de Prinses Marijkesluizen bestaat uit de sluiscolken zelf en de **keerschuijf Ravenswaaij**. Bij stijgende afvoer sluit eerst de Prins Bernhardsluis, bij nog hogere afvoer gaat ook de Prinses Marijkesluis dicht. Op dat moment treedt ook een **gemaal bij de Marijkesluis** in werking, dat de waterstand op het Betuwepand op peil houdt. Dit gemaal is geschematiseerd als pomp op de locatie van de oostelijke sluisdeur van de Prinses Marijkesluizen.
- De **regelwerken Pannerden en Hondsbroeksche Pleij** worden gebruikt om bij een afvoer van $Q_{\text{Lobith}} = 16.000 \text{ m}^3/\text{s}$ de gewenste afvoerverdeling ter plaatse van respectievelijk de Pannerdensche Kop en de IJsselkop te handhaven. De regelwerken hebben allebei een aantal openingen waarin schotten kunnen worden geplaatst om het regelwerk anders in te stellen. Eens per jaar, voorafgaand aan het hoogwaterseizoen, worden de regelwerken opnieuw ingesteld door schotten weg te halen of bij te plaatsen. Gedurende het hoogwaterseizoen wordt de instelling niet meer gewijzigd.

In het model zijn de schotten in tweetallen geschematiseerd (in overeenstemming met het totaalmodel, waarin elke rooster cel twee schotten beslaat). Voor elke nieuwe actuele en beno-schematisatie wordt voor beide regelwerken een instelling bepaald, waarmee de gewenste afvoerverdeling bij $Q_{\text{Lobith}} = 16.000 \text{ m}^3/\text{s}$ zonder lateralen zo goed mogelijk wordt gehandhaafd. Dit is, net als in werkelijkheid, een vaste instelling, die niet varieert gedurende of tussen berekeningen met dezelfde schematisatie. Een uitzondering hierop geldt voor de standaardberekening met een afvoer van $Q_{\text{Lobith}} = 17.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Voor deze berekening zijn aparte regelwerkinstellingen afgeleid, waarmee de gewenste afvoerverdeling bij een afvoer van $Q_{\text{Lobith}} = 17.000 \text{ m}^3/\text{s}$ wordt gerealiseerd. In alle andere berekeningen worden de instellingen voor $Q_{\text{Lobith}} = 16.000 \text{ m}^3/\text{s}$ gebruikt. De afvoerverdeling bij $Q_{\text{Lobith}} = 16.000$ en $17.000 \text{ m}^3/\text{s}$ is opgenomen in Kusters (2024).

In het model is de instelling van alle schotten hetzelfde. Deze instelling wordt in de praktijk vertaald naar instellingen die per schot kunnen variëren, maar samen dezelfde afvoerverdeling opleveren.

- Het **inlaatwerk hoogwatergeul Veessen-Wapenveld** reguleert de instroom van de hoogwatergeul Veessen-Wapenveld, die bedoeld is om waterstanden op de IJssel te verlagen bij hoge afvoeren. Onder normale omstandigheden staat het inlaatwerk dicht. Bij hoge waterstanden wordt het inlaatwerk in 4 stappen volledig geopend. Ook het sluiten van het inlaatwerk is in het model opgenomen.
- Het **inlaatwerk van de nevengeul bij Lent** is in het model geschematiseerd als *fixed weir* (schematisatie van de drempel), in combinatie met een pomp waarmee de stroming door de openingen in de drempel wordt gemodelleerd.

In operationele modellen zijn alle kunstwerken (behalve de regelwerken Pannerden en Hondsbroeksche Pleij) tijdens een simulatie beweegbaar via RTC. In de deelmodellen is ervoor gekozen om per stationaire standaardberekening een vaste instelling te bepalen (op basis van testberekeningen waarin de kunstwerken wél beweegbaar zijn). Hierdoor wordt het effect van maatregelen op de waterstanden niet gecompenseerd door een aanpassing van bijvoorbeeld de stuwen op de Neder-Rijn – Lek. Alleen de sturing voor de vistrap bij Hagestein (opgenomen in de sturingsregels van de stuw zelf) en het inlaatwerk van de nevengeul bij Lent zijn actief in de deelmodellen, omdat de afvoer door deze kunstwerken in werkelijkheid niet vastgehouden kan worden.

Brugpijlers

- Brugpijlers worden in de modelschematisatie weergegeven door een lokaal verhoogde weerstand.

Hoogwatervrije gebieden

- Hoogwatervrije lijnen en vlakken kunnen worden gebruikt om gebouwen in uiterwaarden te schematiseren, en voor watervrije ophogingen.
- In de beno-modellen worden de primaire keringen als oneindig hoog verondersteld.

Modelgrenzen

- De gesloten modelranden worden gevormd door bandijken. Daar waar bandijken ontbreken wordt de modelgrens gevormd door hoge gronden. Deze begrenzing is bepaald door RWS-ON.

Modelkarakteristieken

Open randen

- Alle deelmodellen hebben een bovenrand op de Niederrhein bij Dornick (t.h.v. rkm 848). Hier worden stationaire afvoeren opgelegd, die zijn afgeleid van de standaardafvoeren bij Lobith.
- Het takmodel Waal heeft een benedenrand bij Hardinxveld (t.h.v. rkm 961), het takmodel Neder-Rijn – Lek bij Krimpen aan de Lek (t.h.v. rkm 989) en het takmodel IJssel op het Ketelmeer bij de Ketelbrug. Bij Hardinxveld en Krimpen aan de Lek worden (net als in het totaalmodel) Qh-relaties opgelegd die zijn afgeleid met behulp van het D-HYDRO-model van de Rijn-Maasmonding (Van der Wijk, 2022). De Qh-relatie bij de Ketelbrug is afkomstig uit Hartman et al. (2005).
- Op de afgeknipte takken van elk takmodel worden afvoeronttrekkingen opgelegd. Deze zijn per standaardberekening afgeleid uit het splitsingspuntenmodel. De verdeling van de afvoer over de breedte van de rivier wordt door het model bepaald.
- Op de benedenranden van het splitsingspuntenmodel worden Qh-relaties opgelegd, die zijn afgeleid met het totaalmodel.
- Bij de Ramspolbrug is op dit moment geen randvoorwaarde opgelegd, omdat de hiervoor benodigde gegevens niet beschikbaar zijn. Het weglaten van deze randvoorwaarde heeft naar verwachting geen grote invloed op de modelresultaten voor de Rijntakken.

Laterale lozingen en onttrekkingen

- Buiten de open randen wordt op 89 locaties water onttrokken of toegevoegd aan het systeem. De zijriviertjes, beken, kanalen en gemalen van de Rijntakken zijn niet fysiek geschematiseerd, maar zijn met behulp van onttrekkingen of zijdelingse toestromingen in het model opgenomen. Voor de historische periodes zijn van een beperkt aantal locaties metingen beschikbaar, waaronder van de Oude IJssel en Twentekanaal. De andere lateralen zijn afgeleid met behulp van de Randvoorwaarden Generator Watermodellen (Tanis, 2020 en Van der Veen, 2018) en worden gebaseerd op een combinatie van (historische) metingen van grote beken en toepassing van regressierelaties.
- Voor de dynamische standaardberekeningen is voor de belangrijke lateralen (Oude IJssel, Twentekanaal en Schipbeek) een standaardgolvorm afgeleid en een relatie tussen de piekafvoer en de afvoer bij Lobith. Andere lateralen worden hiervan afgeleid. Uit de dynamische berekeningen zijn stationaire lateralen afgeleid op basis van de bijdrage tijdens de passage van de hoogwatertop. Deze werkwijze geldt voor $Q_{\text{Lobith}} \geq 6000 \text{ m}^3/\text{s}$. Voor lagere afvoeren zijn geen dynamische berekeningen beschikbaar. Hiervoor worden de stationaire lateralen direct uit RGWM afgeleid.

Meteo

- In het model wordt geen gebruik gemaakt van meteorandvoorwaarden (wind, luchtdruk, neerslag, verdamping).

Zout en temperatuur

- In het model wordt geen gebruik gemaakt van zout en temperatuur.

Overige fysica

- Er is geen rekening gehouden met de interactie met het grondwater (inzinging en nalevering).

Numerieke instellingen

In de deelmodellen zijn de numerieke instellingen zoveel mogelijk gelijk gehouden aan die in het totaalmodel. Op twee punten zijn de instellingen gewijzigd:

- De horizontale eddy viscositeit is verhoogd van 0.1 naar 0.4 m^2/s .

- Daarnaast is in het deelmodel van de IJssel een numerieke instelling (*zerozbninflowadvection* = 1) toegepast waarmee de instroom op de Qh-randen wordt geremd, omdat anders een onrealistisch stromingspatroon kan optreden op de benedenstroomse rand ter hoogte van de Ketelbrug.

Kalibratie

Omdat de deelmodellen een directe afgeleide van het totaalmodel vormen zijn deze modellen niet opnieuw gekalibreerd.

Validatie

Methodiek

Om de resultaten van de deelmodellen te valideren is een verschilanalyse met het totaalmodel dflowfm2d-rijn-beno19_6-v1b uitgevoerd. Hiertoe is zowel met het totaalmodel als met de deelmodellen dezelfde reeks van 8 stationaire standaardberekeningen uitgevoerd. De resulterende waterstanden en afvoeren uit de verschillende modellen zijn vervolgens met elkaar vergeleken.

Resultaten

Het waterstandsverschil tussen de deelmodellen en het totaalmodel bedraagt in de meeste gevallen enkele centimeters. Langs de Neder-Rijn – Lek tussen Amerongen en Schoonhoven en de IJssel tussen Westervoort en Olst zijn grotere verschillen zichtbaar, tot maximaal 12 cm bovenstrooms van Zutphen bij S_2000.

Nauwkeurigheid en modelonzekerheid

De deelmodellen zijn naar verwachting minstens zo nauwkeurig als het totaalmodel (dflowfm2d-rijn-beno19_6-v1b). De onzekerheden in het totaalmodel zijn beschreven in de betreffende factsheet (Kosters, 2022a). Omdat de deelmodellen een fijnere resolutie hebben kan een meer gedetailleerde weergave van de geometrie en de ruwheid van de rivier worden bereikt. De kwaliteit van het fijne rooster in termen van orthogonaliteit en gladheid is iets achteruit gegaan ten opzichte van het grove rooster. Hierdoor wordt een iets grotere numerieke fout geïntroduceerd, maar ten opzichte van andere onzekerheden is de invloed hiervan klein.

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 (Rijkswaterstaat, 2021b). Voor snelle tests naar mogelijke impact van een aanpassing kan dit ook rechtstreeks via de D-HYDRO GUI (versie voor 2D3D).
- **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:** voor de beoogde toepassing van het model wordt een set standaardrandvoorwaarden meegeleverd. Bij officieel gebruik van de modelschematisatie mogen deze niet worden aangepast. Binnen sommige officiële toepassingen zijn andere randvoorwaarden nodig (bijv. voor D-FAST). In deze gevallen mag de standaardinvoer worden aangepast, in overleg met RWS. Ook in het kader van onderzoeksvragen mogen randvoorwaarden worden aangepast.
- **Uitvoerlocaties:** er kunnen indien gewenst uitvoerlocaties (afvoerraaian 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 afvoerraaian 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 deelmodellen maken gebruik van automatische rekentijdstepverkleining op basis van het CFL-criterium. Hierdoor heeft een model meestal een langere rekentijd bij hoge afvoeren dan bij lage afvoeren.

De rekentijd van de modellen voor een stationaire afvoer van 16.000 m³/s bij Lobith (5 dagen voor splp, waal en nrlek, 7 dagen voor ijssel) op 2 nodes met 4 cores (dus 8 partities) op het Linux-rekencluster van Deltares¹ bedraagt:

- splp 11 uur
- waal 10 uur
- nrlek 12 uur
- ijssel 24 uur

Koppelingen en relaties met andere modellen

- Baseline NL (via clipcontouren worden de deelschematisaties van de Rijntakken hieruit aangemaakt).
- De deelmodellen zijn afgeleid van het totaalmodel dflowfm2d-rijn-beno19_6-v1b.
- Instellingen en andere modelkeuzes zijn zoveel mogelijk gelijk gehouden tussen de deelmodellen voor de Rijn, de Maas en de Rijn-Maasmonding.

Praktisch gebruik van het model

- Het model kan gerund worden via de opgeleverde DIMR-versie (Windows of Linux). Het runnen via de (2D3D) GUI van D-HYDRO is (praktisch) niet mogelijk. Het is wel mogelijk om het model in de 2D3D GUI te openen, maar daar worden nog niet alle functionaliteiten ondersteund.
- Bij het model worden meerdere initiële condities meegeleverd. Er kan gewisseld worden tussen de condities door het aanpassen van de IniFieldFile, de StructureFile en de ExtForceFile (oud format) in het mdu-bestand.
- Voor post-processing van map-bestanden kan gebruik worden gemaakt van Fourier-analyse via de keywords FouFile en FouUpdateStep in het mdu-bestand. In het meegeleverde invoerbestand fourier_last_s.fou is hierover wat informatie opgenomen.
- Voor verdere toelichting over het gebruik van D-HYDRO, zie de manual (Deltares, 2022).
- Wanneer met de deelmodellen een ingreep in de Waal wordt getoetst die bij lage afvoeren de afvoer of de waterstand op het stuwpand Hagestein beïnvloedt (via het Betuwepand) moet de ingreep eerst met het deelmodel van de Waal worden doorgerekend. Vervolgens moet worden ingeschat wat het waterstandseffect op het stuwpand Hagestein is (dit is ongeveer gelijk aan het effect bij Tiel-Waal). Wanneer dit effect groot is of zeer nauwkeurige resultaten nodig zijn moet ook een berekening worden uitgevoerd met het deelmodel van de Neder-Rijn – Lek. Voor details over de te volgen aanpak wordt verwezen naar de rapportage van Kusters (2024).

Beschikbare versies

Modelschematisaties

In de Release notes is een uitgebreidere toelichting opgenomen van iedere modelschematisatie.

Modelschematisatie	Totaalmodel	Type	Jaar	Software	
				Baseline	D-HYDRO Suite
dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_splp-v2a	dflowfm2d-rijn-beno19_6-v1b	B	2022	6.3.1	2022.01_patch01
dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_waal-v2a	dflowfm2d-rijn-beno19_6-v1b	B	2022	6.3.1	2022.01_patch01
dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_ijssel-v2a	dflowfm2d-rijn-beno19_6-v1b	B	2022	6.3.1	2022.01_patch01
dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_nrlek-v2a	dflowfm2d-rijn-beno19_6-v1b	B	2022	6.3.1	2022.01_patch01
dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_splp-v2b	dflowfm2d-rijn-beno19_6-v1b	B	2023	6.3.1	2023.01
dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_waal-v2b	dflowfm2d-rijn-beno19_6-v1b	B	2023	6.3.1	2023.01
dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_ijssel-v2b	dflowfm2d-rijn-beno19_6-v1b	B	2023	6.3.1	2023.01
dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_nrlek-v2b	dflowfm2d-rijn-beno19_6-v1b	B	2023	6.3.1	2023.01
dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_splp-v2c	dflowfm2d-rijn-beno19_6-v1b	B	2024	6.3.1	2023.01
dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_waal-v2c	dflowfm2d-rijn-beno19_6-v1b	B	2024	6.3.1	2023.01
dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_ijssel-v2c	dflowfm2d-rijn-beno19_6-v1b	B	2024	6.3.1	2023.01
dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_nrlek-v2c	dflowfm2d-rijn-beno19_6-v1b	B	2024	6.3.1	2023.01
dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_splp-v2d	dflowfm2d-rijn-beno19_6-v1b	B	2024	7.0.1	2025.01
dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_waal-v2d	dflowfm2d-rijn-beno19_6-v1b	B	2024	7.0.1	2025.01
dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_ijssel-v2d	dflowfm2d-rijn-beno19_6-v1b	B	2024	7.0.1	2025.01
dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_nrlek-v2d	dflowfm2d-rijn-beno19_6-v1b	B	2024	7.0.1	2025.01

De schematisaties zijn weergegeven op volgorde van actualiteit van de gebiedsbeschrijving. In grijs zijn de schematisaties aangegeven die intussen zijn vervangen door een nieuwere versie.

¹ Cluster Hydrax6, queue normal-e3: Cores 920/1850 (HT), Intel Xeon CPU E3-1276 v3 @ 3.60 GHz

- 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 doorgaans 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

Voor de toepassing van de deelmodellen zijn de volgende randvoorwaardensets beschikbaar:

Naam	Type	Beschrijving	Afvoer(en) Lobith (m³/s) (S=stationair)	Referentie
JAMR	test	set randvoorwaarden ten behoeve van controle van een model bij actualisatie.	S_1020, S_2000, S_4000, S_6000, S_8000, S10000, S13000, S16000	Kosters (2022b)
-	test	extra randvoorwaarden t.b.v. morfologische effectbepaling.	S_1300*, S_3000, S_5000, S_7000	Kosters (2024)
-	test	extra randvoorwaarde t.b.v. effectbepaling op afvoerverdeling bij $Q_{Lobith} = 17.000 \text{ m}^3/\text{s}$, voor de lange termijn.	S17000	Kosters (2024)

*Voor S_1300 nrlek zijn geen randvoorwaarden beschikbaar, omdat de betreffende berekening niet op evenwicht komt. Deze berekening is niet relevant voor morfologische effectbepaling.

De volgende QH-relaties worden gebruikt binnen deze randvoorwaardensets. De relaties bij Krimpen aan de Lek en Hardinxveld zijn afgeleid op basis van de getijgemiddelde afvoer en de getijmaximale waterstand.

Naam	Opmerkingen	Afgeleid uit	Referentie
qh_krimpen_ad_lek_j19_6_zs	Uitgangspunten: gemiddeld getij 2011, geen storm, 5 cm zeespiegelstijging t.o.v. 2011 (zichtjaar 2035)	dflowfm2d-rmm-j19_6-v2a	Van der Wijk (2022)
qh_hardinxveld_j19_6_zs	Uitgangspunten: gemiddeld getij 2011, geen storm, 5 cm zeespiegelstijging t.o.v. 2011 (zichtjaar 2035)	dflowfm2d-rmm-j19_6-v2a	Van der Wijk (2022)
qh_ketelbrug.T_1250_18000	-	-	Hartman et al. (2005)
qh_splp_waal_beno19_6-v1	-	dflowfm2d-rijn-beno19_6-v1b	Kosters (2024)
qh_splp_nrlek_beno19_6-v1	-	dflowfm2d-rijn-beno19_6-v1b	Kosters (2024)
qh_splp_ijssel_beno19_6-v1	-	dflowfm2d-rijn-beno19_6-v1b	Kosters (2024)

RGWM-regressierelaties

Voor het afleiden van laterale afvoeren met behulp van de Randvoorwaarden Generator Watermodellen (RGWM; Tanis, 2020) zijn de volgende relaties beschikbaar. De laatste drie zijn toegepast bij het afleiden van de standaardrandvoorwaarden. De eerste wordt in operationele setting gebruikt.

Naam	Beschrijving	Referentie
rgwm-rijn-j19_operationeel-v1.yml	Voor het afleiden van operationele randvoorwaarden	De Jong, Van der Deijl, Spruyt (2021)
rgwm-rijn-stationair_hoog-v1.yml	Voor stationaire hoge afvoeren (groter dan of gelijk aan $6000 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Lobith)	De Jong, Van der Deijl, Spruyt (2021)
rgwm-rijn-stationair_laag-v1.yml	Voor stationaire lage afvoeren (kleiner dan $6000 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Lobith)	De Jong, Van der Deijl, Spruyt (2021)
rgwm-rijn-synthetisch-v1.yml	Voor (hoge) afvoergolven	De Jong, Van der Deijl, Spruyt (2021)

Release notes

dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_splp-v2a, dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_waal-v2a, dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_ijssel-v2a en dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_nrlek-v2a (Kosters, 2022b)

Deze deelmodellen zijn afgeleid van het totaalmodel dflowfm2d-rijn-beno19_6-v1b dat de beleidsmatige staat van de rivier in de (nabije) toekomst beschrijft. Hiervoor is het j19-model uitgebreid met maatregelen van Vegetatielegger 2020 inclusief Stroomlijn fase 1 en 2, projecten watervergunningen en overige (plan)maatregelen. Dit model is opgebouwd uit baseline-rijn-beno19_6-v2.

dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_splp-v2b, dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_waal-v2b, dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_ijssel-v2b en dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_nrlek-v2b (Kosters, 2022b)

Deze deelmodellen zijn gelijk aan dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_splp-v2a, dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_waal-v2a, dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_ijssel-v2a en dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_nrlek-v2a. Er zijn alleen extra randvoorwaarden (inclusief ingespeelde waterstanden, stuwstanden en stroomsnelheidsvectoren) opgesteld voor het extra stationair afvoerniveau van 3000 m³/s bij Lobith.

dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_splp-v2c, dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_waal-v2c, dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_ijssel-v2c en dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_nrlek-v2c (Kosters, 2022b)

Deze deelmodellen zijn gelijk aan dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_splp-v2b, dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_waal-v2b, dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_ijssel-v2b en dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_nrlek-v2b. Er zijn alleen extra randvoorwaarden (inclusief ingespeelde waterstanden, stuwstanden en stroomsnelheidsvectoren) opgesteld voor het extra stationair afvoerniveaus van 1300, 5000, 7000 en 17000 m³/s bij Lobith.

dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_splp-v2d, dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_waal-v2d, dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_ijssel-v2d en dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_nrlek-v2d (Plieger, 2024)

Deze deelmodellen zijn gelijk aan dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_splp-v2c, dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_waal-v2c, dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_ijssel-v2c en dflowfm2d-rijn-beno19_6_20m_nrlek-v2c. De conversie naar D-HYDRO invoer is nu alleen gedaan met Baseline 7.0.1 in plaats van Baseline 6.3.1. Daarnaast is de overstap gemaakt naar D-HYDRO 2025.01 en er is daarbij voor gezorgd dat de uitvoerfiles in single-precision en gecomprimeerd weg worden geschreven, zodat de grootte van de uitvoerbestanden kleiner wordt. Dit betekent dat in de MDU-file de volgende keywords zijn aangepast/toegevoegd:

NcMapDataPrecision	= single
NcHisDataPrecision	= single
NcFormat	= 4 (deze was 3)
NcCompression	= 1

Referenties (alfabetisch)

- Deltares (2022). *D-Flow Flexible Mesh. Computational Core and User Interface. User Manual*. In te zien op:
https://content.oss.deltares.nl/delft3d/manuals/D-Flow_FM_User_Manual.pdf
- Hartman, J., Berger, H.E.J. en Westphal, R. (2005). *Onderbouwing hydraulische randvoorwaarden 2001 voor de IJsseldelta*. RIZA rapport 2002.018.
- de Jong, J.S., Van der Deijl, E. en Spruyt, A.S. (2021). *Synthetische randvoorwaarden zesde generatie*. Deltares memo 11205258-002-ZWS-0009 d.d. 15-11-2021.
- Kosters, A. (2022a). *Factsheet zesde-generatie modelschematisaties. D-Flow FM 2D Rijntakken. Versie 2022-v2*.
- Kosters, A. (2022b). *Zesde generatie beno deelmodellen Rijn. Baseline en D-HYDRO beno19_6*. Deltares rapport 11208053-003-ZWS-0011 versie 1.0.
- Kosters, A. (2024). *Zesde generatie beno deelmodellen Rijn. Baseline en D-HYDRO beno19_6*. Deltares rapport 11208053-003-ZWS-0011 versie 1.1.
- Minns, T., A. Spruyt & D. Kerkhoven (2022). *Specificaties zesde-generatie modellen met D-HYDRO - Generieke technische en functionele specificaties*. Deltares rapport 11208053-012-ZWS-0002
- Plieger, R (2024). *Overstap vergunningverleningsmodellen RWS naar Baseline 7 en D-HYDRO 2025.01*. Deltares memo 11210333-015-ZWS-0001.
- Rijkswaterstaat (2021a) *Naamgeving conventies modellen Rijkswaterstaat Versie 2.0*. In voorbereiding
- Rijkswaterstaat (2021b) *Draaiboek Baselinemaatregelen. Deze variant voor Baseline 6 is nog in voorbereiding*.
- Rijkswaterstaat & Deltares (2022). *Factsheet Baseline-NL v2022-v1*.
- Tanis, H. (2020). *Randvoorwaarden Generator Water Modellen (RGWM) 2.2.1. Gebruikershandleiding RGWM*.
- Van der Wijk, R. (2022). *Afleiden QH-relatie Rijn-Maasmonding voor Rijntakken en Maas*. Deltares memo 11206813-006-ZWS-0008.
- Van der Veen, R. (2018). *Actualisatie beschrijving laterale toestroming Rijntakken*. Acima en Rura-Arnhem, rapport P180510R.



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.