

D-Flow FM 2D deelmodellen Maas



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 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 details over de uitgangspunten en aannames bij de opzet en ontwikkeling van de modellen. Dit is vooral bedoeld voor personen die beschikken over een modelleerachtergrond. Per modelitem wordt dit op hoofdlijnen nader toegelicht. Voor details wordt verwezen naar de rapportages in de paragraaf "Referenties".

In deze factsheet wordt een beschrijving gegeven van de 2D hydrodynamische deelmodellen (Nederlandse deel van de Maas in 3 delen, 20m-rooster) van de Maas binnen de D-HYDRO Suite. Deze modelschematisaties zijn onderdeel van de zesde-generatie modellen. Deelmodellen zijn alleen beschikbaar voor beheer- en onderhoud en zijn afgeleid van het vigerende totaalmodel voor beheer en onderhoud. De tekst in deze factsheet geldt voor de meest recent ontwikkelde

modellen. Veranderingen ten opzichte van eerdere modellen (binnen de zesde generatie) zijn te vinden in de "Release notes". Voor de totaalmodellen (Nederlandse Maas, 40m-rooster) in de zesde generatie is een aparte factsheet beschikbaar (Rijkswaterstaat en Deltares, 2023).

Geografische ligging

De modelschematisatie van de Maas loopt vanaf de stuw Lixhe, net over de grens met België, tot meetstation Keizersveer. De Bandijken en hoge gronden vormen de grens van het model. Het gebied wordt weergegeven in het Rijks-Driehoeks coördinatenstelsel en het verticale referentievlak is ten opzichte van Normaal Amsterdams Peil (NAP). Voor de Maas zijn 3 deelmodellen opgesteld welke allemaal ongeveer 80-100 km lang zijn en elkaar met ca. 20 km overlappen.

De schematisaties van de 3 deelmodellen beslaan de volgende gebieden:

- dflowfm2d-maas-beno**_6_20m_km002_085-v2a (deelmodel A): beslaat de Bovenmaas, het Julianakanaal en de Grensmaas in hun geheel en de Plassenmaas tot aan rkm 84,6. Het model heeft 18 km overlap met deelmodel B.
- dflowfm2d-maas-beno**_6_20m_km067_165-v2a (deelmodel B): beslaat de Grensmaas vanaf rkm 67, het einde van het Julianakanaal, de Plassenmaas en Zandmaas in hun geheel en de Bedijkte Maas tot aan rkm 165. Het model heeft 18 km overlap met respectievelijk deelmodel A en C.
- dflowfm2d-maas-beno**_6_20m_km144_247-v2a (deelmodel C): beslaat de Bedijkte Maas en Getijdenmaas in hun geheel. Het model heeft 19 km overlap met deelmodel B.

Toepassingen

De 2D D-HYDRO modelschematisaties van de Maas zijn ontwikkeld voor onderstaande toepassingen:

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

Deze modelschematisaties zijn 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).

Deelmodellen zijn alleen beschikbaar voor beheer- en onderhoud en zijn afgeleid van het vigerende totaalmodel voor beheer en onderhoud. RWS heeft daarom, rekening houdend met het bovenstaande, deze modelschematisatie vrijgegeven voor gebruik binnen de volgende kerntaken bij Rijkswaterstaat:

1. Beheer en onderhoud van het beheergebied, zijnde o.a. op diepte houden, onderhoud krib/kribvakken/uiterwaarden.
2. Vergunningverlening, zijnde o.a. Waterwetvergunning 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 factsheet zesde-generatie modelschematisaties van Baseline NL (Rijkswaterstaat & Deltares, 2022). 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 water liggende gegevens is het Digitaal Topografisch Bestand (DTB)-NAT van RWS-CIV. Voor de onderwatergegevens 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

Ten opzichte van het rooster grid-maas_40m_v1_net.nc van het totaalmodel (zie factsheet D-Flow FM 2D Maas (Rijkswaterstaat en Deltares, 2024)) is de resolutie van het rekenrooster grid-maas_20m-v1_net.nc vier keer (2x2) zo fijn. Deze verfijning is in twee stappen uitgevoerd om tot een zo hoog mogelijke kwaliteit van de deelroosters te komen. Ten eerste is het rooster grid-maas_40m_v1_net.nc automatisch met een factor twee in twee richtingen (2x2) verfijnd met de methode CellsAndFaces in RGFGRID. Vervolgens zijn enkele locaties in het verfijnde 20m-rooster handmatig aangepast om de roosterkwaliteit (met name de orthogonaliteit) te verbeteren en cellen te wijzigen die de tijdstap significant limiteren.

Conversie van Baseline naar D-HYDRO met het definitieve 20 m rooster voor alle deelmodellen tegelijk was niet mogelijk, omdat Baseline dit qua hoeveelheid data niet aan kon. Daarom is het rekenrooster grid-maas_20m-v1_net.nc opgeknipt ter hoogte van de vastgestelde randen van de deelmodellen.

De deelmodelroosters heten:

1. grid-maas_20m_km002-085-v1_net.nc (deelmodel A)
2. grid-maas_20m_km067-165-v1_net.nc (deelmodel B)
3. grid-maas_20m_km144-247-v1_net.nc (deelmodel C)

Schematisatie-elementen

Schematisatie-elementen zijn elementen die op een vaste positie in het gebied liggen en waarvan de ligging tijdens de berekeningen niet wijzigt. 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 hoge lijnelementen zoals zomerkades. Deze worden automatisch uit de Baseline-schematisatie 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. Daar bovenop is in de Baselineschematisatie 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. Voor het zomerbed van de rivier wordt met de formulering van alluviale ruwheden gerekend. Het zomerbed is in twee trajecten ingedeeld. Op basis van bodemlodingen is voor de

Grensmaas gekozen voor een ruwheidsformulering voor grind (Manning) en voor de Zandmaas een alluviale formulering volgens Van Rijn.

- Het zomerbed is daarnaast opgedeeld in kalibratietrajecten. Hun begrenzing wordt bepaald door de LMW-meetstations. Tussen alle meetstations geldt een andere kalibratiefactor, met uitzondering van de stations direct bovenstrooms van de stuwen, resulterend in 25 kalibratietrajecten. Voor elk traject zijn d.m.v. kalibratie op waterstanden 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. Tussen alle trajecten is een geleidelijke overgang in kalibratiefactor over een afstand van 2 km gehanteerd. De kalibratiefactoren zijn bepaald met het totaalmodel en overgenomen in de deelmodellen.

Kunstwerken (kenmerken)

- Stuwen bij Borgharen, Linne, Roermond, Belfeld, Sambeek, Grave en Lith. Met real-time-control (RTC) wordt de kruinhoogte van iedere stuw gedurende een simulatie continue aangepast zodat de waterstanden bovenstrooms van de stuw in overeenstemming zijn met het stuwprogramma. In de deelmodellen is de sturing voor Sambeek aangepast ten opzichte van het totaalmodel. De sturing voor de afvoerbereiken “laag” en “midden” is verwijderd, omdat de locatie van het bijbehorende streefpeil buiten het deelmodel C valt. Dit is geen probleem, omdat de met de deelmodellen meegeleverde randvoorwaarden allemaal in het bereik “hoog” vallen waarin de stuwen worden gestreken.
- Keringen bij Mookerplas (keersluis Mook), Kraaijenbergse Plassen (keersluis Cuijk), Maas-Waalkanaal (keersluis Heumen), Heusdensch Kanaal (Kromme Nolkering) en vanaf het j19-model aangevuld met keringen bij het Julianakanaal (keersluis Limmel), en het Oude Maasje (keersluis Schipdiep). Met RTC worden deze keringen gesloten en geopend tijdens afvoergolven. De locatie van het meetpunt waarop de sturing van keersluis Mook bepaald is voor deelmodel B verplaatst ten opzichte van het totaalmodel, omdat deze buiten het deelmodel viel.
- Retentiegebieden zijn onderdeel van het winterbed. De inlaatdrempel is een (vaste) overlaat. Het leegstromen van retentiegebieden (evenals overige uiterwaarden) via duikers zit niet in het model verwerkt.
- In de beheer- en onderhoud modellen zijn 6 nieuwe kunstwerken toegevoegd in de in- en uitlaatkanalen van maatregelen Elerweerd, Heerenlaak en Contelmo. Deze kunstwerken zorgen ervoor dat de maatregelen niet te vroeg meestromen en dat ze niet te veel afvoer trekken. Deze kunstwerken worden niet aangestuurd met D-RTC, maar hebben een vaste instelling.

Brugpijlers

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

Hoogwatervrije gebieden

- In de Maasvallei liggen dijkringen binnen en langs de rivier. Deze dijkringen kunnen bij hoge rivierwaterstanden instromen en dragen daardoor bij aan de topvervlakking. In de Bedijkte Maas en langs de Belgische grens worden de primaire keringen (de bandijken) in het beno-model 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 vastgesteld in de Waterwet & de Beleidslijn Grote Rivieren.

Modelkarakteristieken

Open randen

- Alle deelmodellen hebben een open bovenstroomse rand. Op deze randen worden de stationaire afvoeren opgelegd, die zijn berekend als de max13-waarde of last25-waarde van de afvoer ter plekke van de

bovenrand van het deelmodel uit de respectievelijk dynamische of stationaire berekening met het totaalmodel.

- De bovenstroomse rand van deelmodel A is gelijk aan de open rand van het totaalmodel.
- De bovenstroomse rand van deelmodel B ligt bij de brug van de snelweg A2 bij Wessem. De stroming loopt bij hoge afvoeren door de Maas en het einde van het Julianakanaal, de uiterwaarden zijn afgesloten door de brughoofden. Bij afvoeren van 2.100 m³/s of kleiner stroomt het Julianakanaal nog niet mee en gaat de afvoer volledig door de Maas. Daarom wordt er op de bovenrand van deelmodel B onderscheid gemaakt tussen de afvoeren vanaf 2.500 m³/s en hoger en afvoeren vanaf 2.100 m³/s en lager. Voor de hogere afvoeren loopt de open rand over zowel de Maas als het Julianakanaal, voor de lagere afvoeren alleen over de Maas. Als er in de toekomst ook met afvoeren tussen 2.100 m³/s en 2.500 m³/s gerekend gaat worden, moet met behulp van het totaalmodel van de gehele Maas per afvoer worden onderzocht welke van de twee randen nodig is.
- De bovenstroomse rand van deelmodel C loopt door vrij brede uiterwaarden met parallelle stroombanen. De verdeling van de stroming over de modelrand wordt in D-HYDRO puur gebaseerd op de waterdiepte per cel en wijkt daarom op deze rand af van de daadwerkelijke verdeling.
- De deelmodellen hebben een open benedenstroomse rand met opgelegde waterstanden welke worden berekend als de max13-waarde of last25-waarde van de waterstand ter plekke van de benedenrand van het deelmodel uit de respectievelijk dynamische of stationaire berekening met het totaalmodel.
 - De benedenstroomse rand van deelmodel A loopt langs de spoorbrug bij Buggenum. De rand loopt zowel over de hoofdgeul van de Maas (rechts) als over het Lateraalkanaal (links).
 - De benedenstroomse rand van deelmodel B loopt langs Spoorbrug Mook en de fietsbrug daarnaast.
 - De benedenstroomse rand van deelmodel C is gelijk aan de openrand van het totaalmodel.

Laterale lozingen en onttrekkingen

- Op 89 locaties wordt, buiten de open randen, water onttrokken of toegevoegd aan het watersysteem. De zijriviertjes, beken en kanalen van de Maas zijn niet fysiek geschematiseerd, maar zijn met behulp van onttrekkingen of zijdelingse toestromingen in het model opgenomen. De randvoorwaarden van deze lateralen zijn voor het totaalmodel al afgeleid met de RGWM (Tanis, 2020) en een set regressierelaties, die zijn opgesteld op basis van historische metingen. Een beschrijving van de randvoorwaardensets van het totaalmodel is beschikbaar in Rijkswaterstaat en Deltares (2024) .
- In totaal zijn er 4, 19 en 21 kunstmatige laterale onttrekkingen toegevoegd in respectievelijk deelmodel A, B en C. Deze kunstmatige laterale onttrekkingen hebben als doel om de invloed van topvervlakking mee te nemen in de stationaire berekeningen die voor de hoogwaterreferenties (SD¹3200 en SD4100) zijn afgeleid van de dynamische berekeningen in het totaalmodel. De laterale onttrekkingen zijn in deelmodellen B en C (tussen rkm 70 en 245) gedefinieerd op 5 km onderlinge afstand. Ook in deelmodel A zijn de onttrekkingen op 5 km afstand gedefinieerd, maar ze worden in dit deelmodel pas vanaf rkm 65 toegepast, omdat pas vanaf die rivierkilometer topvervlakking een belangrijke rol speelt. De stationaire berekeningen (S1300, S1700, S2100, S2500, S6000) zijn niet gecorrigeerd voor topvervlakking (afvoer van 0), aangezien deze niet van een dynamische som zijn 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 (inzijging en indringing).

¹ stationair - dynamisch afgeleid (SD)

Numerieke instellingen

In de deelmodellen zijn de numerieke instellingen zoveel mogelijk gelijk gehouden aan die in het totaalmodel. De constante achtergrondwaarde voor de viscositeitsberekening (vicouv) is naar het voorbeeld van de Rijn verhoogd van 0,1 m²/s (totaalmodel) naar 0,4 m²/s (deelmodellen) om de berekende waterstanden te corrigeren

Kalibratie

Omdat de deelmodellen een directe afgeleide van het totaalmodel vormen zijn de deelmodellen niet apart gekalibreerd. Daarnaast zijn deelmodellen alleen opgesteld voor beheer- en onderhoud (beno). De beno-modelschematisatie bevat de toekomstige geometrie van het model waardoor geen metingen beschikbaar zijn voor kalibratie van het beno-totaalmodel.

Validatie

Methodiek

Om de resultaten van de deelmodellen te valideren is een verschilanalyse met het totaalmodel uitgevoerd voor de beno22-schematisaties (dflowfm2d-maas-beno22_6_20m_km002_085-v2a, dflowfm2d-maas-beno22_6_20m_km067_165-v2a en dflowfm2d-maas-beno22_6_20m_km144_247-v2a versus dflowfm2d-maas-beno22_6-v2a). De waterstanden op de as van de rivier (deelmodel stationair vs. totaalmodel dynamisch) zijn voor de afvoergolven van 3.200 m³/s en 4.100 m³/s vergeleken. Daarnaast zijn inundatiebeelden langs de onbedijkte Maas vergeleken.

Resultaten

Het waterstandsverschil in de simulaties met een afvoer van 3.200 m³/s tussen de deelmodellen B (rkm 67 – 165) en C (rkm 145 – 247) en het gehele Maasmodel bedraagt vrijwel overal minder dan 8 cm. Bij de spoor- en fietsbrug Mook (rkm 165) is een lokale uitschieter van 11 cm zichtbaar in deelmodel C. In deelmodel B valt het traject tussen rkm 100 en 125 (grofweg de gemeente Venlo) op. Hier liggen de waterstanden in het deelmodel structureel enkele cm lager dan in het gehele Maasmodel. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat op dit traject vrijwel geen zomerbed aanwezig is, waardoor (kleine) verschillen in de weergave van het zomerbed en de oevers van de Maas als gevolg van de hogere resolutie in het deelmodel toch kunnen leiden tot relatief grote waterstandsverschillen. In de simulatie met 4.100 m³/s zijn de verschillen tussen deelmodel en C en het gehele Maasmodel kleiner dan in de simulatie met 3.200 m³/s.

Deelmodel A kent een beduidend groter verschil ten opzichte van het totaalmodel, zowel bij 3.200 m³/s als bij 4.100 m³/s. Bovenstrooms van rkm 15 (Maastricht) en bij Roosteren (rkm 50-55) liggen de waterstanden in het deelmodel aanzienlijk lager (max. 35 cm). Eén van de verklaringen voor het verschil bij Maastricht is de weergave van het zomerbed, dat in het deelmodel gemiddeld genomen breder uitpakt dan in het totaalmodel. Bij Roosteren is de belangrijkste oorzaak dat de afvoer door de maatregelen Elerwaard, Heerenlaak en Contelmo (Oude Maasje) aanzienlijk hoger is dan in het totaalmodel en er dus minder afvoer door het zomerbed stroomt.

Nauwkeurigheid en modelonzekerheid

De deelmodellen zijn naar verwachting minstens zo nauwkeurig als het totaalmodel. De onzekerheden in het totaalmodel zijn beschreven in de factsheet zesde-generatie Modelschematisaties D-Flow FM 2D Maas (Rijkswaterstaat en Deltares, 2024).

Omdat de deelmodellen een hogere resolutie hebben dan het totaalmodel, kan een meer gedetailleerde weergave van de toekomstige geometrie en de ruwheid van de rivier worden bereikt.

De kwaliteit van het 20m-rooster is in termen van orthogonaliteit en gladheid iets achteruit gegaan ten opzichte van het 40m-rooster. Hierdoor wordt een iets grotere numerieke fout geïntroduceerd, maar ten opzichte van andere onzekerheden is de invloed hiervan klein.

Het beno-totaalmodel ligt dicht bij het gekalibreerde j-***totaalmodel. De effecten van de kleinere gridcellen in het deelmodel reduceren de nauwkeurigheid van de absolute waterstanden. (Zie ook het kopje “Resultaten”:

waar Deelmodel A - met nauwelijks topvervlakking - de grootste verschillen laat zien t.o.v. het totaalmodel). Deze tweede onnauwkeurigheid accepteren we omdat we bij vergunningverlening m.b.v. deelmodellen kijken naar relatieve effecten.

Modelgebruik

Wat mag er wel of niet worden gewijzigd in de modelschematisatie:

- **Gebiedsinformatie:** Aanpassing aan gebiedsinformatie in principe enkel en alleen 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:** 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 (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

Het model maakt gebruik van automatische rekentijdstapverkleining op basis van het CFL-criterium. Hierdoor heeft een model een langere rekentijd bij hoge afvoeren dan bij lage afvoeren.

Op het rekencluster van Deltares² heeft een parallelle berekening (totaalmodel, maatgevende afvoergolf) op 1 node (4 cores) een rekentijd van 0,7 tot 1,0 uur per gesimuleerde dag. Alle standaardberekeningen met zowel het totaalmodel dflowfm2d-maas-beno22_6-v2a, als de beno22-deelmodellen kunnen binnen één nacht worden gedraaid. De rekentijden liggen, afhankelijk van de situatie (afvoerniveau en stationair/dynamisch), tussen 5 en 17 uur voor het totaalmodel en tussen 9 en 20 uur voor de deelmodellen. Van de deelmodellen rekent deelmodel A aanzienlijk langer dan deelmodellen B en C, omdat de stroomsnelheden in dat gebied significant hoger zijn en dus aanzienlijk kleinere tijdstappen nodig zijn.

De rekentijd van de modellen voor de golf van 3.200 m³/s (D3200 totaalmodel, SD3200 in de deelmodellen) met een simulatieperiode van 5 dagen bedraagt op 1 node met 4 cores (dus 4 partities) op het Linux-rekencluster van Deltares:

- dflowfm2d-maas-beno22_6_20m_km002_085-v2a (deelmodel A): 16,4 uur
- dflowfm2d-maas-beno22_6_20m_km067_165-v2a (deelmodel B): 14,7 uur
- dflowfm2d-maas-beno22_6_20m_km144_247-v2a (deelmodel C): 8,8 uur

Koppelingen en relaties met andere modellen

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

² Cluster Hydrax6, queue normal-e3: Cores 920/1850 (HT), Intel Xeon CPU E3-1276 v3 @ 3.60 GHz

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 de deelmodellen worden voor elk randvoorwaardenset bijpassende initiële condities meegeleverd. Het betreft velden met initiële waterstanden en stroomsnelheden en de initiële stuwstanden. Er kan gewisseld worden tussen de condities door het aanpassen van de bestandsnamen in de ext-file in de map initial_conditions (waterstanden en stroomsnelheden) en de StructureFile in het mdu-bestand (initiële stand van de stuwen).
- Bij de deelmodellen worden vaste partitiegrenzen meegeleverd. Er wordt aanbevolen om met deze vaste grenzen te rekenen, vanwege een bug in de gebruikte versie van D-HYDRO (Versie 2022.01_patch01) waardoor een fout in de afvoerbalans ontstaat als partitiegrenzen gekruist worden door bruggen of kunstwerken.
- 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 (voor stationaire en stationair-dynamische berekeningen) is hierover wat informatie opgenomen.
- Voor verdere toelichting over het gebruik van D-HYDRO, zie de manual (Deltares, 2021).
- Voor verdere toelichting over het opzetten of gebruiken van een D-HYDRO modelschematisatie voor Rijn of Maas, zie de “handleiding opzet nieuwe D-HYDRO modelschematisatie voor Rijn of Maas” (Spruyt et al., 2023). Deze handleiding is bedoeld om gebruikers op weg te helpen die aan de slag gaan met schematisaties in Baseline 6 en D-HYDRO.

Beschikbare versies

Modelschematisaties

In de Release notes is een uitgebreidere toelichting opgenomen van de modelschematisatie van het bijbehorende totaalmodel.

Modelschematisatie	Totaalmodel	Type	Jaar	Software	
				Baseline	D-HYDRO Suite 2D3D (DIMR)
dflowfm2d-maas-beno22_6_20m_km002_085-v2a	dflowfm2d-maas-beno22_6-v2a	B	2023	6.3.1	2023.01
dflowfm2d-maas-beno22_6_20m_km067_165-v2a	dflowfm2d-maas-beno22_6-v2a	B	2023	6.3.1	2023.01
dflowfm2d-maas-beno22_6_20m_km144_247-v2a	dflowfm2d-maas-beno22_6-v2a	B	2023	6.3.1	2023.01
dflowfm2d-maas-beno22_6_20m_km002_085-v2b	dflowfm2d-maas-beno22_6-v2b	B	2024	6.3.1	2023.01
dflowfm2d-maas-beno22_6_20m_km067_165-v2b	dflowfm2d-maas-beno22_6-v2b	B	2024	6.3.1	2023.01
dflowfm2d-maas-beno22_6_20m_km144_247-v2b	dflowfm2d-maas-beno22_6-v2b	B	2024	6.3.1	2023.01
dflowfm2d-maas-beno22_6_20m_km002_085-v2c	dflowfm2d-maas-beno22_6-v2b	B	2024	7.0.1	2025.01
dflowfm2d-maas-beno22_6_20m_km067_165-v2c	dflowfm2d-maas-beno22_6-v2b	B	2024	7.0.1	2025.01
dflowfm2d-maas-beno22_6_20m_km144_247-v2c	dflowfm2d-maas-beno22_6-v2b	B	2024	7.0.1	2025.01

De schematisaties zijn weergegeven op volgorde van actualiteit van de gebiedsbeschrijving. De dik gedrukte schematisaties zijn de vigerende versies. In grijs zijn de schematisaties aangegeven die intussen zijn vervangen door een nieuwere versie voor ditzelfde schematisatiejaar.

- De kolom ‘**modelschematisatie**’ verwijst naar de naam van de modelschematisatie: Hieraan is te zien in welk jaar de geometrie van de schematisatie is opgebouwd.. Er wordt hierin naar de bijpassende actuele schematisatie verwezen (beno22 is afgeleid van j22) waarin de toekomstige inzichten van 2022 zijn verwerkt (zie ook Rijkswaterstaat, 2021a).
- De kolom ‘**Totaalmodel**’ verwijst naar de naam van de modelschematisatie van het totaalmodel waarvan de deelmodellen zijn afgeleid: Hieraan is te zien welke geometrie de schematisatie het beste representeert. Het jaar verwijst naar de start van het hoogwaterseizoen (dus j22 staat voor seizoen 2022-2023) (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 softwareversies waarmee de modelschematisatie is opgebouwd en getest.

Randvoorwaardensets

Voor de zesde-generatie Maas-modellen zijn standaard-randvoorwaardensets beschikbaar. Deze zijn ingedeeld in de typen: historisch opgetreden afvoergolven (hist), hydraulische randvoorwaarden (hr), beheer

en onderhoudsmodel voor vergunningsverleningen (beno) en testsommen voor bijvoorbeeld de actualisatie van het model (test).

De zes beno-standaard-randvoorwaarden zijn beschikbaar gemaakt voor de deelmodellen in het kader van vergunningverlening (RBK). Zie hiervoor de kolom beno in de onderstaande standaard-randvoorwaarden-tabel. Deze tabel is een selectie van de complete standaard-randvoorwaarden-tabel uit de factsheet van het totaalmodel (Rijkswaterstaat en Deltares, 2024). De volgende afvoeren uit deze set zijn met het totaalmodel doorgerekend om randvoorwaarden voor de deelmodellen af te leiden:

- 2 dynamische afvoergolven voor de hoogwaterreferenties, namelijk D3200 en D4100. Deze sommen zijn afkomstig uit de hr2023 afvoergolven welke zijn afgeleid ten behoeve van BOI2023 (De Jong, 2022). De stationaire randvoorwaarden van de deelmodellen voor deze hoogwaterreferenties worden afgeleid van de dynamische berekeningen van het totaalmodel en worden daarom aangeduid met de naam “SD3200” en “SD4100”.
- 5 aanvullende stationaire afvoeren voor het Rivierkundig Beoordelingskader (RBK), namelijk S_750, S1300, S1700, S2100 en S2500. Deze afvoeren worden gebruikt voor de beoordeling van de effecten op morfologie en scheepvaart (dwarsstroming).

Naam	Type	Beschrijving	Max. afvoer(en) Borgharen Dorp (m3/s) (S=stationair, D=dynamisch, SD = stationair - dynamisch afgeleid)	Referentie
t1_5zs	test	Set randvoorwaarden ten behoeve van controle van een model bij actualisatie ³	S__50, S_250, S1300, S1700, S2100, S2500, S2800, S3200, S4100, S4500, S5000, S6000 D1300, D1700, D2100, D2500, D2800, D3200, D3600, D4100, D4500, D5000, D6000	Van der Deijl (2023)
beno	beno	Randvoorwaarden ten behoeve van vergunningverlening.	S_750, S1300, S1700, S2100, S2500, SD3200, SD4100	Van der Deijl (2023)

De volgende QH-relatie wordt gebruikt binnen de randvoorwaardensets. Deze is afgeleid op basis van de getijgemiddelde afvoer en de getijmaximale waterstand.

Naam	Zeewaterstand	RMM-model	Referentie
Keizersveer_Qh_bnd_j19_zs	Gemiddeld getij, geen storm, met 5 cm zeespiegelstijging	j19_6-v2a	Van der Wijk (2022)

Een uitgebreidere beschrijving en overzichtstabel van de randvoorwaardensets van het totaalmodel is beschikbaar in Rijkswaterstaat en Deltares (2024).

³ Blauwgrijze randvoorwaarden zijn alleen beschikbaar, niet getest en geen standaard onderdeel van de testsommen

In onderstaande tabel zijn de resulterende waarden voor de afvoeren op de bovenranden, de waterstanden op de benedenranden en de afvoer per kunstmatige onttrekking voor de topvervlakking (tvvl) van de deelmodellen voor zowel de hoogwaterreferenties als de aanvullende randvoorwaarden zichtbaar:

	deelmodel A			deelmodel B			deelmodel C		
	afvoer bovenrand (m ³ /s)	waterstand benedenrand (m +NAP)	afvoer tvvl voor 4 locaties (m ³ /s)	afvoer bovenrand (m ³ /s)	waterstand benedenrand (m +NAP)	afvoer tvvl voor 19 locaties (m ³ /s)	afvoer bovenrand (m ³ /s)	waterstand benedenrand (m +NAP)	afvoer tvvl voor 21 locaties (m ³ /s)
S_750	767,24	15,35	0	784,85	7,91	0	843,97	1,00	0
S1300	1311,37	17,07	0	1346,06	8,28	0	1421,58	1,42	0
S1700	1709,25	18,18	0	1752,32	9,52	0	1828,01	1,74	0
S2100	2100,28	19,12	0	2149,58	10,37	0	2225,72	2,06	0
S2500	2496,46	19,86	0	2553,51	11,11	0	2642,26	2,38	0
SD3200	3192,77	20,65	-50,87	3251,20	11,66	-16,58	3111,96	2,63	-12,17
SD4100	4088,48	21,72	-50,18	4091,21	12,17	-22,11	3902,92	3,21	-10,32

Release notes

dflowfm2d-maas-beno22_6_20m_km002_085-v2a,

dflowfm2d-maas-beno22_6_20m_km067_165-v2a en

dflowfm2d-maas-beno22_6_20m_km144_247-v2a (Fujisaki, Agtersloot, Becker, 2023)

Deze deelmodellen zijn afgeleid van het totaalmodel dflowfm2d-maas-beno22_6-v2a dat de beleidsmatige staat van de rivier in de (nabije) toekomst beschrijft. Hiervoor is het j22-model uitgebreid met maatregelen van Vegetatielegger 2020 inclusief Stroomlijn fase 1 en 2, projecten watervergunningen, Maaswerken en overige (plan)maatregelen. Dit model is opgebouwd uit baseline-nl_land-beno22_6-v1 (Visser, 2022).

dflowfm2d-maas-beno22_6_20m_km002_085-v2b,

dflowfm2d-maas-beno22_6_20m_km067_165-v2b en

dflowfm2d-maas-beno22_6_20m_km144_247-v2b (Fujisaki, Agtersloot, Becker, 2024)

Deze deelmodellen zijn gelijk aan dflowfm2d-maas-beno22_6_20m_km002_085-v2a, dflowfm2d-maas-beno22_6_20m_km067_165-v2a en dflowfm2d-maas-beno22_6_20m_km144_247-v2a. Er zijn alleen extra randvoorwaarden inclusief ingespeelde waterstanden, stuwstanden en stroomsnelheidsvectoren opgesteld voor het extra stationair afvoerniveau van 750 m³/s. Daarnaast is in Maas_SD4100_bnd.bc in dflowfm2d-maas-beno22_6_20m_km144_247-v2a de tijdstap 2880 verwijderd en is de waarde die hierbij stond bij tijdstap nul gezet. Dit is gedaan omdat het anders lang duurt voordat de simulatie een stabiel resultaat geeft.

dflowfm2d-maas-beno22_6_20m_km002_085-v2c,

dflowfm2d-maas-beno22_6_20m_km067_165-v2c en

dflowfm2d-maas-beno22_6_20m_km144_247-v2c (Plieger, 2024)

Deze deelmodellen zijn gelijk aan dflowfm2d-maas-beno22_6_20m_km002_085-v2b, dflowfm2d-maas-beno22_6_20m_km067_165-v2b en dflowfm2d-maas-beno22_6_20m_km144_247-v2b. 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)

- Deijl, E.C. van der (2023). Update van de standaardsommen JAMM2022 naar JAMM 2023. Deltares-memo 11209233-002-ZWS-003 v1.0
- Deltares (2021). D-Flow Flexible Mesh. Computational Core and User Interface. User Manual. Version: 0.9.1. In te zien op:
https://content.oss.deltares.nl/delft3d/D-Flow_FM_User_Manual.pdf
- Domhof, B., J.S. de Jong (2021) Verschilanalyse overstap zesde-generatie modellering Maas. Effect nieuwe generatie, modelinstellingen en beno-actualisaties. Deltares rapport 11206813-002-ZWS-0023 v0.10 concept.
- Fujisaki, A., R. Agtersloot, A. Becker. (2023): B&O-modellen en deelmodellen Maas. Deltares-rapport 11208053-002-ZWS-0005, versie 1.0, 10 juli 2023.
- Fujisaki, A., R. Agtersloot, A. Becker. (2024): B&O-modellen en deelmodellen Maas. Deltares-rapport 11208053-002-ZWS-0005, versie 2.0, 2024.
- 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) Dienstspectificaties. Deze variant voor Baseline 6 is nog in voorbereiding
- Rijkswaterstaat & Deltares (2022). Factsheet zesde-generatie modelschematisaties. Baseline-NL v2022-v1. In te zien op:
<https://iplo.nl/thema/water/applicaties-modellen/modelschematisaties/nederland/>
- Rijkswaterstaat & Deltares (2024). Factsheet zesde-generatie modelschematisaties. D-Flow FM 2D Maas. Versie 2024-v2 In te zien op:
<https://iplo.nl/thema/water/applicaties-modellen/modelschematisaties/rivieren/>
- Spruyt, A., A. Kusters, E.C. van der Deijl, T. Visser (2023). Handleiding opzet nieuwe D-HYDRO modelschematisatie voor Rijn of Maas. Deltares rapport 11209233-003-ZWS-0001, 17-04-2023
- Visser T. (2022). Werkzaamheden Baseline-NL 2022, Actualisatie j22-v1 en beno22. Deltares rapport 11208053-011-ZWS-0005, 27 september 2022.
- Visser, T. (2023). Werkzaamheden Baseline-NL in 2023 - Opzet baseline-nl_land-j22_6-v2 en baseline-nl_land-j23_6-v1. Deltares rapport 11209233-014-ZWS-0002.
- Tanis, H. (2020). Randvoorwaarden Generator Water Modellen (RGWM) 2.3.0. Gebruikershandleiding RGWM.
- Wijk, R. van der (2022) Afleiden QH-relatie Rijn-Maasmonding voor Rijntakken en Maas. Deltares memo 11206813-006-ZWS-0008 v4.0 d.d. 1 maart 2022



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.