

D-Flow FM 2D Rijntakken



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 het 2D hydrodynamisch model van de Rijntakken binnen de D-HYDRO Suite. Deze modelschematisatie is onderdeel van de zesde-generatie modellen.

Geografische ligging

De modelschematisatie van de Rijntakken loopt van Dornick, net over de grens met Duitsland, tot Hardinxveld op de Boven-Merwede, Krimpen aan de Lek op de Lek en tot aan de Ketelbrug (grens tussen het Ketelmeer en IJsselmeer). De bandijk en hoge gronden vormen de grens van het model. Tussen de Waal en de Lek is het Betuwepand van het Amsterdam-Rijnkanaal opgenomen. In de IJsseldelta ligt de grens op de kade tussen IJsselmuiden en de Ramspolkering. Met de Veluwerandmeren ligt de grens bij de Reevedam-Reevesluis. Het gebied wordt weergegeven in het Rijks-Driehoeks coördinatenstelsel en het verticale referentievlak is ten opzichte van Normaal Amsterdams Peil (NAP).

Toepassingen

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

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

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 spelen),
3. stofverspreiding-, zoutindringing- en temperatuurstudies (waarin o.a. gelaagdheid en horizontale en verticale uitwisseling een rol spelen).

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

De actuele (*jxx*) modelschematisatie:

1. Watermanagement, zijnde o.a. het ondersteunen bij het afleiden van actuele rivierkundige informatie zoals betrekkinglijnen, afvoer-waterstandsrelaties, stroombeelden, etc.
2. Operationele toepassingen, zijnde o.a. de werkzaamheden vanuit WaterManagement Centrum Nederland ten aanzien van waterberichtgeving over waterstanden, overstromingsdreiging, watertekorten (niet vrijgegeven voor berekening van stoftransport, olieverspreiding, oppervlaktestroming).

De beleidsmodelschematisatie (*benoxx/hrxxxx*) en de hiervan afgeleide deelmodelschematisaties:

1. Beheer en onderhoud van het beheergebied, zijnde o.a. op diepte houden, onderhoud krib/kribvakken/uiterwaarden.
2. Vergunningverlening, zijnde o.a. Omgevingswet 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. Verkenningen en planstudies voor 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 met de ecotopenkaart van RWS-CIV beschreven. Specifiek voor het

beno-model zijn nog de vegetatielegger, vergunningen, projectplannen Omgevingswet 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

Het ongestructureerde rekenrooster is zoveel mogelijk uitgelijnd met stroombanen en geometrie zoals kunstwerken, waar vierhoekige roostercellen de voorkeur hebben boven driehoeken. Het rekenrooster sluit naadloos aan op de rekenroosters van naburige modelschematisaties. De volgende resolutie van het rekenrooster is toegepast:

- In het zomerbed zijn er 6-10 cellen van minimaal 10 meter breedte. Deze hebben een aspectratio van maximaal 1:4 en zijn in de lengterichting maximaal circa 40 meter.
- In het winterbed wordt gericht op cellen met een aspect ratio van 1:1. Deze hebben dezelfde resolutie als de lengterichting van het zomerbed: maximaal circa 40 meter.

De overgang naar het gebruik van driehoeken ligt in het Ketelmeer. Het rekenrooster bestaat in totaal uit 639.827 cellen en 1.275.273 net links. De vigerende versie van het rooster is rij_n_40m_v2025_1.1.

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 (in wintertoestand) wordt beschreven met trachytopen. Deze zijn opgenomen in de Baseline-schematisatie.
- 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.

Kunstwerken

- De drie **stuwen op de Neder-Rijn en Lek (Driel, Amerongen en Hagestein)** zijn gemodelleerd als regelbare *general structures*. Met Real Time Control (RTC) wordt de onderkant van de vizienschuiven in de kalibratie- en validatiemodellen gestuurd op de bovenstrooms gemeten waterstanden of de gemeten afvoer. In de actuele en beno-modellen wordt gestuurd op het operationele stuwprogramma.
- Bij het stuwcomplex Amerongen is naast de stuw ook een waterkrachtcentrale aanwezig (**WKC Amerongen**). De WKC is in de geometrie van het model opgenomen en wordt sinds j24_6 ook in de sturing meegenomen¹.
- 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. Het complex van de Prinses Marijkesluizen bestaat uit de sluisgolven 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 maatgevend hoogwater 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 verder dicht te zetten. 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; elke rooster cel beslaat twee openingen. 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. In het hr-model is voor zichtjaren 2075 en 2125 voor beide regelwerken een instelling bepaald, waarmee de gewenste afvoerverdeling bij $Q_{\text{Lobith}} = 17.000 \text{ m}^3/\text{s}$ zonder lateralen zo goed mogelijk wordt gehandhaafd.

- Het **inlaatwerk hoogwatergeul Veessen-Wapenveld** reguleert de instroom van de hoogwatergeul Veessen-Wapenveld, die bedoeld is om waterstanden op de IJssel te verlagen bij zeer 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.
- Overige duikers en inlaatsluizen: In de kalibratie- en validatiemodellen zijn een aantal extra duikers en inlaatsluizen als kunstwerken opgenomen in het model om het onderlopen van bepaalde gebieden beter te kunnen meenemen. Deze hebben een vaste instelling en worden niet gestuurd. Deze duikers en inlaatsluizen zijn vooralsnog niet opgenomen in de actuele modelschematisatie en de beleidsmodelschematisatie.

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.

¹ In het model sobek-rijn-j24_6-v1a1-rwsos bleek dat door de implementatie van de WKC Amerongen en de aangepaste D-RTC-sturing er bij lage afvoeren plotselinge extreme afnames van de waterstand op de Nederrijn-Lek door het model berekend werden welke in werkelijkheid niet zijn voorgekomen. Om deze reden is de WKC-sturing niet opgenomen in dit model.

- In de beno-modellen worden de primaire keringen als oneindig hoog verondersteld; dit geldt ook voor de primaire keringen en de kunstwerken ter plaatse van de Prins Bernhardsluizen en de Prinses Marijkesluizen / Keerschuij Ravenswaaij.

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

- Bovenrand op de Duitse Rhein bij Dornick (t.h.v. rkm 848). Hier wordt een afvoertijdreeks toegepast, die is afgeleid van de Qf-relatie voor Lobith of van synthetische afvoergolven bij Lobith.
- Benedenranden op de Waal bij Hardinxveld (t.h.v. rkm 961), op de Lek bij Krimpen aan de Lek (t.h.v. rkm 989) en op het Ketelmeer bij de Ketelbrug. Hier worden tijdseries van waterstanden opgelegd. De tijdseries zijn afgeleid van gemeten waterstanden bij de LMW-stations Werkendam (met een WAQUA-model vertaald naar locatie Hardinxveld), Krimpen a/d Lek en Kamperhoek of Ramspolbrug.
- Voor berekeningen met een stationaire afvoer of een standaard afvoergolf wordt op de benedenranden een Qh-relatie opgelegd. De Qh-relaties bij Hardinxveld en Krimpen aan de Lek zijn afgeleid met behulp van een D-HYDRO-model van de Rijn-Maasmonding (Van der Wijk, 2016, 2022 & Van der Deijl et al., 2026). De Qh-relatie bij de Ketelbrug is afkomstig uit Hartman et al. (2005).
- 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 ontrekkingen

- Buiten de open randen wordt op 89 locaties water onttrokken of toegevoegd aan het systeem. De zijriviertjes, beken en kanalen van de Rijntakken zijn niet fysiek geschematiseerd, maar zijn met behulp van ontrekkingen of zijdelingse toestromingen in het model opgenomen. Voor de Oude IJssel en het Twentekanaal zijn voor de historische periodes metingen beschikbaar, 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 beken (Oude IJssel, Twentekanaal en Schipbeek) een standaardgolfvorm 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.

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 indringing).

Numerieke instellingen

- Gebruik is gemaakt van de instellingen zoals vastgesteld in generieke specificaties (Minns et al., 2020).
- Uitzondering hierop is de waarde van de parameter *maximum recursion level for combined trachytopo definitions (TrtMxR)*. Met deze parameter wordt bepaald uit hoeveel definities een samengestelde ruwheidscode maximaal mag bestaan. In de generieke specificaties wordt voor deze parameter een waarde van 8 aangehouden. Dit is niet genoeg voor dflowfm2d-rijn-beno19_6-v1a. Om crashes te voorkomen is deze waarde veiligheidshalve op 100 gezet voor alle dflowfm2d-schematisaties van de Rijn.

Kalibratie

Methodiek

De ruwheid in het zomerbed bestaat uit een basisruwheid, vermenigvuldigd met een kalibratiefactor. Tijdens een kalibratie op waterstanden bij LMW-meetstations (en Emmerich) is deze kalibratiefactor aangepast tot de bias tussen meting en model is gereduceerd tot maximaal enkele millimeters. De kalibratietrajecten (polygonen met constante kalibratiefactor) zijn in Baseline opgeslagen onder 'calibration_section_polygons'. Tussen de trajecten is een geleidelijke overgang in kalibratiefactor over een afstand van 2 km gehanteerd. Daarnaast is de kalibratiefactor afhankelijk gemaakt van de rivierafvoer. Voor ieder kalibratietraject is een representatieve afvoerraai gedefinieerd. De afvoerafhankelijkheid is opgedeeld in 5 afvoerniveaus, waartussen de kalibratiefactor lineair geïnterpoleerd wordt. De kalibratiefactoren zijn met behulp van OpenDA-software automatisch gekalibreerd voor afvoerniveaus/perioden zoals gegeven in Tabel 1.

Tabel 1 Gebruikte kalibratie- en validatieperioden. De afvoeren verwijzen naar de afvoer bij Lobith.

	Afvoer	Kalibratie
Laag (L)	1.000	jan 2017/ okt 2016 - jan 2017
Midden 1 (M1)	2.000	feb – mrt 2017
Midden 2 (M2)	4.000	jan 2016 / mrt 2017
Hoog 1 (H1)	8.000	jan 2011
Hoog 2 (H2)	11.800	jan - feb 1995

Eerst zijn de riviertakken Waal, Neder-Rijn-Lek en IJssel apart gekalibreerd. Daarbij is de gewenste afvoerverdeling opgelegd als bovenrand van de takmodellen (zie hiervoor Kusters, Spruyt en Niesten (2022)). Vervolgens zijn de takken samengevoegd met Boven-Rijn en Pannerdens Kanaal, zodat één totaalmodel ontstaat. Met dit totaalmodel zijn de nog ongekalibreerde trajecten op de Boven-Rijn en het Pannerdens Kanaal gekalibreerd op waterstanden. Tegelijkertijd is de afvoerverdeling over de verschillende takken gekalibreerd.

Resultaten

In Tabel 2 is voor de kalibratieperioden de gemiddelde bias van de gemodelleerde waterstanden t.o.v. de gemeten waterstanden gegeven. De bias is voor alle stations kleiner dan 1 cm, en blijft in de regel beperkt tot afgerond nul of enkele millimeters.

Tabel 3 geeft eenzelfde overzicht voor de afvoerverdeling. De bias in afvoerverdeling blijft veelal beperkt tot minder dan 1 of enkele m³/s. De afwijking in afvoer naar de Waal in de H1-kalibratieperiode vormt hierop met 15 m³/s een uitzondering.

Tabel 2 Verschil in waterstanden tussen model en meting (in meter) na kalibratie voor de kalibratievensters.

Iedere waarde is het (root-mean-square) gemiddelde over de bias van alle meetstations die gebruikt zijn voor kalibratie.

Kalibratie Waterstanden					
	L1	M1	M2	H1	H2
Bias (m)	0,001	0,004	0,000	0,001	0,000

Tabel 3 Verschil in afvoer tussen model en meting (in m³/s) na kalibratie voor de kalibratievensters.

Kalibratie Afvoer					
Bias (m ³ /s)	L1	M1	M2	H1	H2
Boven-Rijn	0,04	0,02	2,16	1,76	1,16
Waal	0,47	0,19	-1,91	-15,1	1,80
Pan. Kanaal	-0,06	-0,03	-0,10	-0,05	-0,13
Neder-Rijn	-0,26	-0,53	-2,15	2,26	-0,09
IJssel	-0,69	0,00	-0,07	-0,04	-0,12

Validatie

Validatie j93, j95, j11, j15 en j16

Methodiek

Het gekalibreerde totaalmodel is getoetst door verschillende historische perioden met een duur van 2 tot 6 maanden door te rekenen (zie Tabel 4) en de resultaten te vergelijken met metingen. Binnen deze perioden

zijn een aantal vensters geselecteerd om elk afvoerniveau apart te valideren. Deze vensters zijn gegeven in Tabel 5.

Tabel 4 Validatieperioden.

Periode	Duur [mnd]
Dec 1993 - jan 1994	2
Dec 1994 - feb 1995	3
Nov 2010 - jan 2011	3
Okt 2015 - jan 2016	4
Okt 2016 - mrt 2017	6

Tabel 5 Kalibratie- en validatievensters per afvoerniveau.

Niveau	L1	M1	M2	H1	H2
Q_{Lobitn} [m ³ /s]	1000	2000	4000	8000	11800
Kalibratieperiode	jan 2017/okt 2016 – jan 2017	feb – mrt 2017	jan 2016/mrt 2017	jan 2011	jan – feb 1995
Validatie					
Venster 1	okt – nov 2015	dec 1994	dec 1994 – jan 1995	jan 1994	dec 1993
Venster 2	okt – nov 2016	nov – dec 2010	feb 1995		
Venster 3	dec 2016 – jan 2017	nov 2015	nov 2010		
Venster 4	jan – feb 2017	nov 2016	mrt 2017		

Resultaten

In Tabel 6 zijn de resultaten voor de validatievensters opgenomen, Tabel 7 geeft de resultaten voor de volledige validatieperioden. De verschillen tussen model en meting zijn voor de validatievensters en -perioden veel groter dan voor de kalibratieperioden. Voor de validatievensters loopt de gemiddelde bias uiteen van enkele centimeters tot bijna 2 decimeter. De grote gemiddelde bias van 22 cm voor de validatieperiode november 2010 tot januari 2011 wordt met name door één uitschieter veroorzaakt (Groene Rivier boven). De gemiddelde standaarddeviatie heeft waarden van 2 tot 17 cm. Over het algemeen worden de verschillen tussen model en meting groter naarmate de validatieperiode verder in het verleden ligt. Dit duidt erop dat de gebruikte schematisaties, die de gebiedsinrichting van een bepaalde periode weergeven, teveel van elkaar verschillen om een eenduidig validatieresultaat te geven. Omdat de meeste van deze schematisaties ook voor de kalibratie zijn gebruikt, zegt dit ook iets over de geldigheid van de kalibratiefactoren die hiermee zijn afgeleid.

Tabel 6 Verschil in waterstanden tussen model en meting na kalibratie voor de validatievensters.

Iedere waarde is het kwadratisch gemiddelde over de statistieken van alle meetstations.

Niveau	Venster 1		Venster 2		Venster 3		Venster 4	
	Bias [m]	Std [m]	Bias [m]	Std [m]	Bias [m]	Std [m]	Bias [m]	Std [m]
L1	0,048	0,032	0,045	0,030	0,036	0,031	0,047	0,028
M1	0,180	0,031	0,107	0,028	0,053	0,031	0,039	0,034
M2	0,128	0,060	0,158	0,038	0,071	0,024	0,039	0,017
H1	0,145	0,033						
H2	0,093	0,162						

Tabel 7 Verschil in waterstanden tussen model en meting na kalibratie voor de volledige validatieperioden.

Iedere waarde is het (root-mean-square) gemiddelde over de statistieken van alle meetstations.

Periode	Bias [m]	Std [m]
dec 1993 – jan 1994	0,115	0,155
dec 1994 – feb 1995	0,122	0,166
nov 2010 – jan 2011	0,224	0,151
okt 2015 – jan 2016	0,053	0,046
okt 2016 – mrt 2017	0,038	0,038

Overige gegevens

Het model is ook gevalideerd op verschillende extra meetgegevens. De beschikbaarheid verschilt per periode. In totaal over alle periodes samen gaat het om ongeveer 180 waterschapslocaties (inclusief peilschalen), 280 kilometerborden, 45 diverlocaties, 10 topstanden en 9 varende verhanglijnmetingen in de as van de rivier. De

vergelijking met afvoermetingen heeft plaatsgevonden met zowel varende afvoermetingen (Ott en ADCP) als ADM-metingen. Op basis van deze vergelijkingen zijn geen statistieken als in Tabel 6 en Tabel 7 bepaald.

Validatie j19

Methodiek

Met het j19-model (dflowfm2d-rijn-j19_6-v2b) is een validatie op het hoogwater van 2018 uitgevoerd. Dit hoogwater biedt de kans om de prestatie van de Rijntakkenmodellen in het hoge-afvoerbereik te beoordelen op basis van een recente situatie (na de uitvoering van Ruimte voor de Rivier). Ten behoeve van de validatie is een periode van 4 maanden doorgerekend, van 1 december 2017 tot en met 31 maart 2018.

Resultaten

Resulterende statistieken zijn gegeven in Tabel 8. Voor de hele validatieperiode, als ook voor het venster rondom de piek is de modelprestatie over het algemeen goed. De waterstanden worden, gemiddeld genomen, in beide gevallen onderschat met 2 cm, en de totale standaarddeviatie is in beide gevallen 8 cm. De prestatie is vergelijkbaar met die voor de historische validaties, gegeven in Tabel 7.

Tabel 8 Bias en standaarddeviatie van gemodelleerde min gemeten waterstanden op LMW-stations, per tak en voor het hele model.

Statistieken zijn gegeven voor de hele validatieperiode en voor een venster van 2 dagen rond de gemeten waterstandspiek op elk station. De biaswaarden zijn het rekenkundig gemiddelde van de biaswaarden van de betreffende stations. Voor de totale bias is tussen haakjes ook het kwadratisch gemiddelde gegeven, ter vergelijking met Tabel 6 en Tabel 7. De standaarddeviaties zijn het kwadratisch gemiddelde van de waarden van de betreffende stations.

tak	bias [m]	std [m]	bias rond piek [m]	std rond piek [m]
BR	0,02	0,04	-0,06	0,01
W	-0,02	0,06	-0,07	0,05
PK	-0,12	0,07	-0,16	0,01
NR	0,01	0,06	0,03	0,07
IJ	-0,03	0,11	0,00	0,10
totaal	(0,08) -0,02	0,08	(0,10) -0,02	0,08

Nauwkeurigheid en modelonzekerheid

- Met name bij lage afvoeren kunnen de waterstanden in een aantal gebieden niet goed gekalibreerd worden, omdat het verhang hier dusdanig klein is dat een aanpassing van de ruwheid nauwelijks invloed heeft op de waterstanden. Dit geldt voor de stuwpannen van de Neder-Rijn – Lek (niveau L1), de IJssel benedenstrooms van Kampen (niveaus L1 en M1) en het Ketelmeer (alle afvoerniveaus).
- Op de benedenloop van de IJssel en het Ketelmeer kan wind een significant effect op de waterstanden hebben. Deze invloed is in het model niet meegenomen.
- Met de keuze van kalibratieperioden is impliciet aangenomen dat kalibratiefactoren afgeleid met een historische modelschematisatie (bijvoorbeeld de schematisatie voor 1995) ook geldig zijn voor de huidige inrichting van de rivier, hoewel hier in de tussentijd grote veranderingen in hebben plaatsgevonden. Dit wordt ook wel de aanname van stationariteit tussen de modelschematisaties genoemd. De validatieresultaten laten zien dat voor hetzelfde afvoerniveau, de modelnauwkeurigheid per periode (en dus per schematisatie) verschilt. Dit resultaat suggereert dat de aanname van stationariteit slechts beperkt geldig is. Met dit effect moet rekening worden gehouden bij de toepassing van het model voor extreme afvoeren (groter dan 12.000 m³/s), omdat juist voor de kalibratie van hoge afvoeren (niveau H1 en H2) gebruik is gemaakt van minder recente jaren (2011 en 1995).
- De afvoerverdeling tussen zomer- en winterbed is geen onderdeel geweest van de kalibratie en validatie omdat hier onvoldoende informatie over bekend is. Alle mogelijke fouten in geometrie, discretisatie, numerieke benadering zijn verdisconteerd in de kalibratiefactor van het zomerbed. De afvoerverdeling tussen zomer- en winterbed kan hiermee zijn beïnvloed.

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:** 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 zonder meer 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.
- **RTC-sturing:** Bij uitvoering van standaardberekeningen moet de meegeleverde operationele kunstwerksturing worden gebruikt. Deze mag niet worden aangepast. Bij berekeningen voor historische perioden moet de kunstwerksturing worden aangepast naar de gewenste situatie. Voor de stuwen op de Neder-Rijn – Lek wordt in dat geval doorgaans gestuurd op tijdreeksen van gemeten waterstanden bovenstrooms van de stuw, of, bij zeer laagwater, op afvoerreeksen.

De regelwerken Pannerden en Hondsbroeksche Pleij hebben een vaste instelling en worden dus niet gestuurd. Deze vaste instelling wordt voor elke modelschematisatie opnieuw bepaald, op basis van een berekening waarin de regelwerken wél gestuurd worden. Voor het bepalen van de instelling van de regelwerken is daarom een aparte set sturingsbestanden beschikbaar.

Te verwachten rekentijden

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

De rekentijd van het model voor een standaardafvoergolf van 16.000 m³/s bij Lobith (18 dagen) op 1 node met 4 tasks (dus 4 partities) op het Linux-rekencluster van Deltares² bedraagt ca. 20 uur.

Koppelingen en relaties met andere modellen

- Ten behoeve van vergunningverlening is de beleidsmodelschematisatie van de Rijntakken opgesplitst in 4 deelmodellen met een twee keer zo hoge roosterresolutie. De opzet en het gebruik van de deelmodellen wordt toegelicht in een aparte factsheet (Kosters, 2022c).
- Het SOBEK3-model van de Rijntakken wordt via FM2PROF afgeleid en deze SOBEK3-modelschematisatie wordt gekalibreerd op basis van het D-HYDRO model. Het SOBEK3-model wordt toegelicht in een aparte factsheet.
- Baseline-NL (via clipcontouren wordt de deelschematisatie van de Rijntakken hieruit aangemaakt). Voor Baseline-NL is een aparte factsheet beschikbaar.
- Het rooster van de Rijn sluit aan op het rooster van de Maas, de Overijsselse Vechtdelta, het IJsselmeer en de Veluwerandmeren en heeft overlap met het rooster van het RMM-model.

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 en de StructureFile in het mdu-bestand.

² Cluster Hydrax7, 4vcpu: Cores 2160, 2x Intel Xeon Gold 6342 @ 3.50 GHz

- Voor de postprocessing van de bestanden kan gebruikt gemaakt worden van de tool *dfmoutput* (onderdeel van D-HYDRO) voor bijvoorbeeld het samenvoegen van partities en berekenen van HIS-statistieken (zoals max13 en last25).
- Voor verdere toelichting over het gebruik van D-HYDRO, zie de manual (Deltares, 2026).

Beschikbare versies

Modelschematisaties

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

Modelschematisatie	Type	Jaar	Software	
			Baseline	D-HYDRO Suite
dflowfm2d-rijn-j93_6-v1a	K/V	2022	6.1.1	2021.03
dflowfm2d-rijn-j95_6-v1a	K/V	2022	6.1.1	2021.03
dflowfm2d-rijn-j11_6-v1a	K/V	2022	6.1.1	2021.03
dflowfm2d-rijn-j15_6-v1a	K/V	2022	6.1.1	2021.03
dflowfm2d-rijn-j16_6-v1a	K/V	2022	6.1.1	2021.03
dflowfm2d-rijn-j19_6-v2a	A	2022	6.2.1	2021.04
dflowfm2d-rijn-j19_6-v2b	A	2022	6.2.1	2022.01 patch 1
dflowfm2d-rijn-beno19_6-v1a	B	2022	6.2.1	2022.01 patch 1
dflowfm2d-rijn-beno19_6-v1b	B	2022	6.2.1	2022.01 patch 1
dflowfm2d-rijn-hr2023_6-v1a	H	2022	6.2.1	2022.01 patch 1
dflowfm2d-rijn-hr2023_6-v1b	H	2026	6.2.1	2022.01 patch 1
dflowfm2d-rijn-j22_6-v1a	A	2022	6.3.0	2022.01 patch 1
dflowfm2d-rijn-j24_6-v1a	A	2024	6.3.2	2024.03 ³

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.

- 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

De volgende randvoorwaardensets zijn beschikbaar voor de zesde-generatie Rijnmodellen. 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).

Naam	Type	Beschrijving	Max. afvoer(en) Lobith (m ³ /s) (S=stationair, D=dynamisch)	Referentie
j93	hist	2 mnd. rond hoogwater 1993	11.000	Kosters, Spruyt en Niesten (2022)
j95	hist	3 mnd. rond hoogwater 1995	12.000	Kosters, Spruyt en Niesten (2022)
j11	hist	3 mnd. rond hoogwater 2011	8.000	Kosters, Spruyt en Niesten (2022)
j15	hist	okt 2015 – jan 2016 (4 mnd.)	4.000	Kosters, Spruyt en Niesten (2022)
j16	hist	okt 2016 – mrt 2017 (6 mnd.)	4.000	Kosters, Spruyt en Niesten (2022)
j18	hist	dec 2017 – mrt 2018 (4 mnd.)	7.600	Kosters en Berends (2022)
hr2023	hr	set randvoorwaarden voor BOI2023*	S_600, S_2000, S_4000, D_6000, D_8000, D10000, D12000, D13000, D14000, D15000, D16000, D17000, D18000, D20000, D24000	Kosters (2022a) en Van den Hoek (2026)
JAMR	test	set randvoorwaarden ten behoeve van controle van een model bij actualisatie*	S_600, S_1020, S_2000, S_4000, S_6000, S_8000, S10000, S13000, S16000, D_6000, D_8000, D10000, D13000, D16000	Kosters (2022a)

*randvoorwaarden in de set van hr2023 zijn qua duur en eventuele vorm van de afvoergolf identiek aan de gelijknamige randvoorwaarden in de set van JAMR.

³ Standaardssommen zijn gedraaid met 2024.03rc1 (release candidate). Bij een verschilanalyse voor D16000 was er tussen de twee softwareversies geen verschil in max13 waterstanden zichtbaar.

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

Naam	Zeewaterstand	RMM-model	Referentie
j15	Gemiddeld getij, geen storm, geen zeespiegelstijging	j15_5	Van der Wijk (2016)
beno15	Gemiddeld getij, geen storm, geen zeespiegelstijging	beno15_5	Van der Wijk (2016)
Rijn_Qh_bnd_j19.bc	Gemiddeld getij 2011, geen storm, geen zeespiegelstijging	j19_6-v2a	Van der Wijk (2022)
Rijn_Qh_bnd_j19_zs.bc	Gemiddeld getij 2011, geen storm, 5 cm zeespiegelstijging t.o.v. 2011 (zichtjaar 2035)	j19_6-v2a	Van der Wijk (2022)
Rijn_Qh_bnd_hr2023_zj2035.bc	Gemiddeld getij 2011, geen storm, 5 cm zeespiegelstijging t.o.v. 2011 (zichtjaar 2035)	hr2023_6-v2a	Van der Deijl et al. (2026)
Rijn_Qh_bnd_hr2023_zj2075.bc	Gemiddeld getij 2011, geen storm, 50 cm zeespiegelstijging t.o.v. 2011 (zichtjaar 2075)	hr2023_6-v2a	Van der Deijl et al. (2026)
Rijn_Qh_bnd_hr2023_zj2125.bc	Gemiddeld getij 2011, geen storm, 105 cm zeespiegelstijging t.o.v. 2011 (zichtjaar 2125)	hr2023_6-v2a	Van der Deijl et al. (2026)
Rijn_Qh_bnd_hr2023_zj2035_morfo.bc*	Gemiddeld getij 2011, geen storm, 5 cm zeespiegelstijging t.o.v. 2011 (zichtjaar 2035)	hr2023_6-v2a	Van der Deijl et al. (2026)
Rijn_Qh_bnd_hr2023_zj2075_morfo.bc*	Gemiddeld getij 2011, geen storm, 50 cm zeespiegelstijging t.o.v. 2011 (zichtjaar 2075)	hr2023_6-v2a	Van der Deijl et al. (2026)
Rijn_Qh_bnd_hr2023_zj2125_morfo.bc*	Gemiddeld getij 2011, geen storm, 105 cm zeespiegelstijging t.o.v. 2011 (zichtjaar 2125)	hr2023_6-v2a	Van der Deijl et al. (2026)

*Geen onderdeel van de hr-modelschematisatie. Deze worden separaat opgeleverd.

Bij de Ketelbrug wordt de relatie qh_ketelbrug.T_1250_18000 uit Hartman et al. (2005) gebruikt. Voor hr2023_6-v1b is de Qh-relatie bij Ketelburg vermeerderd met 25 cm meerpeilstijging voor zichtjaar 2075 en met 30 cm meerpeilstijging voor zichtjaar 2125.

RGWM-regressierelaties

Voor het afleiden van laterale afvoeren met behulp van de Randvoorwaarden Generator Watermodellen (RGWM; Tanis, 2020) zijn de volgende relaties beschikbaar. De onderste drie zijn toegepast voor de set randvoorwaarden voor JAMR en hr2023.

Naam	Beschrijving	Referentie
rgwm-rijn_lat-j95-v1.yml	Voor het afleiden van randvoorwaarden voor de perioden: nov 1993 t/m jan 1994 dec 1994 t/m feb 1995	Kosters, Spruyt en Niesten (2022)
rgwm-rijn_lat-j11-v1.yml	Voor het afleiden van randvoorwaarden voor de periode nov 2010 t/m dec 2011	Kosters, Spruyt en Niesten (2022)
rgwm-rijn_lat-j15-v1.yml	Voor het afleiden van randvoorwaarden voor de periode sep 2015 t/m mrt 2016	Kosters, Spruyt en Niesten (2022)
rgwm-rijn_lat-j16-v1.yml	Voor het afleiden van randvoorwaarden voor de periode sep 2016 t/m mrt 2017	Kosters, Spruyt en Niesten (2022)
rgwm-rijn-j19_operationeel-v1.yml	Voor het afleiden van operationele en historische randvoorwaarden	De Jong, Van der Deijl, Spruyt (2021)
rgwm-rijn-stationair_hoog-v1.yml	Voor stationaire hoge afvoeren (groter dan of gelijk aan 6000 m ³ /s bij Lobith)	De Jong, Van der Deijl, Spruyt (2021)
rgwm-rijn-stationair_laag-v1.yml	Voor stationaire lage afvoeren (kleiner dan 6000 m ³ /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)
rgwm-rijn-operationeel_6-v2025_01.yml	Update van de operationele yml-bestanden	Kosters (2025)

Release notes

Hieronder wordt chronologisch weergegeven welke veranderingen zijn doorgevoerd tussen de verschillende beschikbare modelschematisaties. Alle schematisaties tot en met beno19 zijn door RWS-ON opgebouwd in Baseline 5 en door Deltares vertaald naar een Baseline-6-schematisatie.

j93_6-v1a (Kosters, Spruyt & Niesten, 2022)

De basis van deze schematisatie is j95_6-v1a, waarin het zomerbed van 1993 is opgenomen. De modelschematisatie is specifiek opgezet voor gebruik tijdens kalibratie en validatie van het model en bevat

een daarop aangepaste kunstwerksturing en bijbehorende randvoorwaarden. Het gebruikte rooster is rij_n_40m_v2021_1.0.

j95_6-v1a (Kosters, Spruyt & Niesten, 2022)

Het uitgangspunt voor alle modellen is de Baselineschematisatie van het jaar 1995. De schematisatie j95_6 is op vele tientallen locaties verbeterd ten opzichte van j95_5 (Beyer, 2012; Becker, 2012). Het model bevat de zomerbedbodem van 1995. Deze is afgeleid van singlebeam-metingen, waarna een ruimtelijk variërende correctie is toegepast voor het verschil tussen de oude singlebeam- en de modernere multibeam-meetmethode. Deze bodem wordt beschouwd als de 'multibeam-bodem' van 1995. Deze correctie is anders dan de correctie die in j95_5 is toegepast. De winterbedruwheden voor j95_6-v1a zijn afkomstig van de herziene ecotopenkartering 1997 (ecotopen eerste cyclus, revisie 2010, versie 2.0). Deze zijn handmatig uitgebreid tot aan de winterbedbegrenzing en lokaal aangevuld en aangepast aan de situatie in 1995. De modelschematisatie is specifiek opgezet voor gebruik tijdens kalibratie en validatie van het model en bevat een daarop aangepaste kunstwerksturing en bijbehorende randvoorwaarden. Het gebruikte rooster is rij_n_40m_v2021_1.0.

j11_6-v1a (Kosters, Spruyt & Niesten, 2022)

De j11-schematisatie is gebaseerd op j95 waarin via een koepelmaatregel in Baseline verschillende actualisaties zijn opgenomen die de beschikbare veranderingen in het gebied tussen 1995 en 2011 beschrijven (Kosters, Spruyt en Niesten, 2022). De modelschematisatie is specifiek opgezet voor gebruik tijdens kalibratie en validatie van het model en bevat een daarop aangepaste kunstwerksturing en bijbehorende randvoorwaarden. Het gebruikte rooster is rij_n_40m_v2021_1.0.

j15_6-v1a (Kosters, Spruyt & Niesten, 2022)

De j15-schematisatie is gebaseerd op j11 waarin via een koepelmaatregel in Baseline verschillende actualisaties zijn opgenomen die de beschikbare veranderingen in het gebied tussen 2011 en 2015 beschrijven (Kosters, Spruyt en Niesten, 2022). Belangrijke veranderingen zijn de zomerbedligging en de opname van een groot deel van de projecten van Ruimte voor de Rivier. De modelschematisatie is specifiek opgezet voor gebruik tijdens kalibratie en validatie van het model en bevat een daarop aangepaste kunstwerksturing en bijbehorende randvoorwaarden. Het gebruikte rooster is rij_n_40m_v2021_1.0.

j16_6-v1a (Kosters, Spruyt & Niesten, 2022; Kosters, 2022a)

De j16-schematisatie is gebaseerd op j15 waarin via een koepelmaatregel in Baseline verschillende actualisaties zijn opgenomen die de beschikbare veranderingen in het gebied tussen 2015 en 2016 beschrijven (Kosters, Spruyt en Niesten, 2022). Belangrijke veranderingen zijn de zomerbedligging en de opname van de overige projecten van Ruimte voor de Rivier.

Deze schematisatie is gebruikt voor kalibratie en validatie. Daarnaast zijn met deze schematisatie de JAMR standaardsommen uitgevoerd t.b.v. een vergelijking met j19. Voor kalibratie en validatie is gebruik gemaakt van een specifieke kunstwerksturing en bijbehorende randvoorwaarden voor de kalibratie- en validatieperioden. Voor JAMR zijn een operationele kunstwerksturing en standaardrandvoorwaarden ontwikkeld. Daarnaast zijn vaste instellingen voor de regelwerken Pannerden en Hondsbroeksche Pleij bepaald, die specifiek voor deze schematisatie gelden. Het gebruikte rooster is in beide gevallen rij_n_40m_v2021_1.0.

j19_6-v2a (Kosters, 2022a)

De j19-schematisatie is opgebouwd vanuit j16, met j18 als tussenstap. Op deze manier is ook een schematisatie voor 2018 beschikbaar. Via een koepelmaatregel in Baseline zijn verschillende actualisaties opgenomen die de beschikbare veranderingen in het gebied tussen 2016 en 2019 beschrijven (Kosters, 2022a). Deze schematisatie bevat niet de extra duikers en inlaatsluizen, die tijdens kalibratie en validatie zijn gebruikt (zie het kopje kunstwerken). De modelschematisatie is specifiek opgezet voor operationeel gebruik. Hiervoor zijn een operationele kunstwerksturing en standaardrandvoorwaarden ontwikkeld. Daarnaast zijn vaste instellingen voor de regelwerken Pannerden en Hondsbroeksche Pleij bepaald, die specifiek voor deze schematisatie gelden. Ten slotte is de geometrie in het model afgeleid vanuit de landsdekkende database Baseline-NL (baseline-nl_land-j19_6-v2) waardoor de consistentie in de overlapgebieden met Maas en Rijnmaasmonding wordt verbeterd. Het gebruikte rooster is rij_n_40m_v2021_1.0.

j19_6-v2b (Kosters, 2022b)

Deze schematisatie is gelijk aan j19_6-v2a. In j19_6-v2b zijn alleen de Qh-relaties voor Krimpen aan de Lek en Hardinxveld vervangen door de relaties die recent door Van der Wijk (2022) zijn afgeleid.

beno19_6-v1a (Kosters, 2022a)

De beno19-schematisatie is in 4 stappen opgebouwd vanuit j19. De eerste stap bevat **actualisaties** die beschikbaar zijn gekomen na of niet zijn meegenomen in de j19-schematisatie. Vervolgens is de **vegetatielegger** (situatie 2020, tussenversie) ingemixt. Als derde stap is een groot aantal **vergunningmaatregelen** toegevoegd. Ten slotte is een aantal **overige maatregelen**⁴ opgenomen om te komen tot de beno19-schematisatie.

Voor dit model geldt dezelfde operationele kunstwerksturing als voor j19. Wel zijn opnieuw vaste instellingen voor de regelwerken Pannerden en Hondsbroeksche Pleij bepaald, die specifiek voor deze schematisatie gelden. De geometrie van het model is afgeleid vanuit de database baseline-nl_land-beno19_6-v1, het gebruikte rooster is rij_n_40m_v2021_1.0.

beno19_6-v1b (Kosters, 2022d)

Deze schematisatie is gelijk aan beno19_6-v1a. In beno19_6-v1b zijn alleen de Qh-relaties voor Krimpen aan de Lek en Hardinxveld vervangen door de relaties die recent door Van der Wijk (2022) zijn afgeleid.

hr2023_6-v1a (Kosters, 2022a)

Dit model is identiek aan het model dflowfm2d-rijn-beno19_6-v1a, op de randvoorwaarden en de toevoeging van de BOI2023-uitvoerlocaties na. Dit model is opgebouwd uit baseline-nl_land-hr2023_6-v1. Dit model is door BOI toegepast voor Beoordelen (zichtjaar 2035).

hr2023_6-v1b (Van den Hoek, 2026)

Dit model is identiek aan het model dflowfm2d-rijn-hr2023_6-v1a, op de benedenstroomse randvoorwaarden, initiële condities en kunstwerkstanden na. De Qh-relaties voor Krimpen aan de Lek, Hardinxveld en Ketelmeer zijn vervangen door de vernieuwde Qh-relaties afgeleid door Van der Deijl et al. (2026). Dit model heeft dus een geactualiseerde Qh-relatie voor Beoordelen (zichtjaar 2035) en toegevoegde Qh-relaties voor Ontwerpen (zichtjaren 2075 en 2125), die gebaseerd zijn op Oosterlo (2026).

j22_6-v1a (Kosters, 2022b)

Dit model is het resultaat van de actualisatie van j19_6-v2a naar de situatie van 2022 door het inmixen van actualisatiemaatregelen in Baseline-NL (baseline-nl_land-j22_6-v1). Uit Baseline-NL is vervolgens een clip gemaakt voor de Rijn (Kosters, 2022b). In deze schematisatie is de ecotopenkartering 2017 gebruikt. Deze is lokaal geactualiseerd in een beperkt aantal projectgebieden. Voor dit model geldt dezelfde operationele kunstwerksturing als voor j19. Wel zijn opnieuw vaste instellingen voor de regelwerken Pannerden en Hondsbroeksche Pleij bepaald, die specifiek voor deze schematisatie gelden. Ook zijn in deze modelschematisatie voor het eerst de recent door Van der Wijk (2022) afgeleide Qh-relaties voor Krimpen aan de Lek en Hardinxveld toegepast. Daarnaast zijn enkele verbeteringen doorgevoerd in het rooster (rij_n_40m_v2022_1.0). Na de opzet van j22_6-v1a is de najaarspeiling 2021 van de Boven-Rijn en de Waal, die voor het model gebruikt is, afgekeurd vanwege foutieve metingen. Deze fouten zullen invloed hebben op de modelresultaten.

j24_6-v1a (Van den Hoek, 2024)

Dit model is het resultaat van de actualisatie van j22_6-v1a naar de situatie van 2024 door het inmixen van actualisatiemaatregelen in Baseline-NL (baseline-nl_land-j24_6-v1). Uit Baseline-NL is vervolgens een clip gemaakt voor de Rijn (Van den Hoek, 2024). In deze schematisatie is de ecotopenkartering 2022 gebruikt. In deze schematisatie zijn de hoogwatervrije lijnen aan weerszijden van het Reevediep verwijderd. Tevens is de vaste laag Spijk opgenomen. Voor dit model geldt dezelfde operationele kunstwerksturing als voor j22_6, met

⁴ Dit betreft maatregelen die (1) beschikbaar zijn gekomen na of niet zijn meegenomen in de lijst met vergunningen, (2) vergunningen beschrijven die gebaseerd zijn op projectmaatregelen en referentiemaatregelen, (3) gelden voor projecten waarvoor een projectbesluit is genomen of (4) nodig zijn voor het correct functioneren van het model.

als enige aanpassing de implementatie van de waterkrachtcentrale (WKC) Amerongen en de wijziging van de implementatie van het stuwprogramma Driel in het bereik van de afvoersturing. De vaste instellingen voor de regelwerken Pannerden en Hondsbroeksche Pleij zijn opnieuw bepaald, specifiek voor deze schematisatie.

Referenties (alfabetisch)

- Becker, A. (2012). *Rijn-modellen 5de generatie. Modelopzet, kalibratie en verificatie WAQUA.*
- Beyer, D. (2012). *Rijn-modellen 5de generatie. Memo van RWS Oost-Nederland van 28 september 2012.*
- Van der Deijl, E., Van den Hoek, A. en Zijlker, T. (2026). *Nieuwe modelrandvoorwaarden ten behoeve van BOI2023 voor Maas, Rijntakken en RMM. Deltares rapport 11211534-016-ZWS-0004 v2.0.*
- Deltares (2026). *D-Flow Flexible Mesh. Computational Core and User Interface. User Manual. Version: 2026.02. In te zien op: https://content.oss.deltares.nl/dhydro/D-Flow_FM_User_Manual.pdf.*
- Domhof, B. (2022). *Verschilanalyse overstap zesde-generatie modellering Rijn. Effect nieuwe generatie, modelinstellingen en beno-actualisaties. Deltares rapport 11206813-002-ZWS-0024.*
- Hartman, J., Berger, H.E.J. en Westphal, R. (2005). *Onderbouwing hydraulische randvoorwaarden 2001 voor de IJsseldelta. RIZA rapport 2002.018.*
- Van den Hoek, A. (2024). *Actualisatie Modellen Rijn 2024. Baseline en D-HYDRO j24_6. Deltares rapport 11210333-003-ZWS-0002.*
- Van den Hoek, A. (2026). *Ontwikkeling modellen BOI2023 Rijn – schematisatie dflowfm2d-rijn-hr2023_6-v1b. Deltares rapport 11212773 003-ZWS-0003.*
- 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). *Actualisatie zesde generatie Rijnmodellen. Schematisaties j19_6 en beno19_6. Deltares rapport 11206813-003-ZWS-0004.*
- Kosters, A. (2022b). *Jaarlijkse Actualisatie Modellen Rijn 2022. Baseline en D-HYDRO j22_6. Deltares rapport 11208053-003-ZWS-0007.*
- Kosters, A. (2022c). *Factsheet zesde-generatie modelschematisaties. D-Flow FM 2D deelmodellen Rijn. Versie 2022-v1.*
- Kosters, A. (2022d). *Zesde generatie beno deelmodellen Rijn. Baseline en D-HYDRO beno19_6. Deltares rapport 11208053-003-ZWS-0011.*
- Kosters, A., Spruyt, A.S. en Niesten, I. (2022). *Ontwikkeling zesde-generatie Rijntakken model: Modelbouw, kalibratie en validatie. Deltares rapport 11206813-003-ZWS-0006.*
- Kosters, A. en Berends, K. (2022). *Validatie Rijntakkenmodellen hoogwater 2018. 2D D-HYDRO en 1D SOBEK. Deltares rapport 11208053-003-ZWS-0015.*
- 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*
- Kosters, A. (2025). *Verbetering en versiebeheer operationele yml-bestanden Rijn en Maas. Deltares memo 11211534-016-ZWS-0003 d.d. 7 augustus 2025.*
- Oosterlo, P. (2026). *Afvoerstatistiek Rijn en Maas en 1-op-1-relaties ten behoeve van de hydraulische belastingen voor het beoordelen en ontwerpen binnen BOI. RWS informatie, memo, d.d. 17 april 2026.*
- Rijkswaterstaat (2021a) *Naamgeving conventies modellen Rijkswaterstaat Versie 2.0. In voorbereiding*
- Rijkswaterstaat (2021b) *Dienstspecificaties. 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. (2016). *Qh-relaties j15 en beno15 voor Keizersveer, Werkendam en Krimpen a/d Lek. Deltares memo d.d. 8 april 2016, kenmerk 1230071-004-ZWS-0010*
- Van der Wijk, R. (2022). *Afleiden QH-relatie Rijn-Maasmonding voor Rijntakken en Maas. Deltares memo d.d. 1 maart 2022, kenmerk 11206813-006-ZWS-0008*



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.