



D-Flow FM 3D Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal



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.

In deze factsheet wordt een beschrijving gegeven van de 3D hydrodynamische modellen van het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal (NZK/ARK) binnen de D-HYDRO Suite. Deze modelschematisaties zijn onderdeel van de zesde generatie modellen.

Geografische ligging

De modelschematisaties van het NZK/ARK lopen vanaf de Prinses Irenesluizen bij Wijk bij Duurstede tot aan het sluisencomplex bij IJmuiden en omvat (op grove wijze) de grachten van Amsterdam. De Vecht en de Amstel zijn niet opgenomen in het model. Daar waar het model aansluit op de Vecht en de Amstel zijn debietrandvoorwaarden voorgeschreven. Het model is begrensd op de oevers. Het gebied wordt weergegeven in het Rijks-Driehoeks coördinatenstelsel en het verticale referentievlak is ten opzichte van Normaal Amsterdams Peil (NAP).

Toepassingen

Voor de beoogde modeltoepassingen (studies t.b.v. ingrepen/maatregelen in systeem, vergunningverlening, operationele voorspellingen en systeemanalyses) is in Vlijm (2025) en voor eerdere modelschematisaties (Verbruggen en van der Baan, 2020) geëvalueerd in hoeverre de huidige D-HYDRO modellen hiertoe in staat zijn. Samengevat is beoordeeld dat de modellen ingezet kunnen worden voor de volgende toepassingen:

1. Berekenen van relatieve effecten op zout(indringing) en temperatuur, mits de onderzochte aanpassing/maatregel geen significant effect heeft op de voorgeschreven randvoorwaarden.
2. Simulatie van 3D waterbeweging en 3D stroming onder verschillende hydrologische omstandigheden.

De modelschematisaties zijn ook in staat gebleken om absolute zoutgehaltes en temperaturen grotendeels te reproduceren. Voor zout wordt echter opgemerkt dat de absolute waarden in het oostelijke gedeelte van het NZK en op het ARK overschat worden. Met betrekking tot de absolute temperatuur zijn er lokaal verschillen geobserveerd die gerelateerd lijken te zijn aan de informatie en de schematisatie van (thermische) lozingen en de gekozen aanpak voor de temperatuur bij de debietrandvoorwaarden.

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. waterkwaliteitsmodellering (waarin o.a. details in de wateruitwisseling met omliggende gebieden een rol speelt).

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

De actuele (jxx) modelschematisaties:

1. Aanleg en onderhoud, zijnde o.a. het effect van maatregelen/ontwikkelingen op de zoutindringing, mits de onderzochte aanpassing/maatregel geen significant effect heeft op de voorgeschreven randvoorwaarden (met name de zoutlek in IJmuiden).
2. Vergunningverlening, zijnde o.a. mogelijke inzet voor de Emissie-Immisietoets en de beoordeling van specifieke gevallen.
3. Verkeer- en watermanagement, zijnde o.a. het (op termijn) toepassen in operationele en BOS systemen.
4. Kennis en netwerkkwaliteit, zijnde o.a. verkennen van effect klimaatscenario's, onderzoeken systeemgedrag, etc., mits het te onderzoeken scenario geen effect heeft op de voorgeschreven randvoorwaarden (zeespiegelstijging heeft bijvoorbeeld invloed op het schutverlies en zoutlekrandvoorwaarde bij IJmuiden).

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. Er zijn diverse data bronnen gebruikt om deze database te vullen en er is gewerkt conform de Diensts specificatie 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 (Bas2FM) geprojecteerd op het rekenrooster van de modelschematisatie. Dit betreft de bodemligging, locaties van uitvoerpunten, lateralen, kunstwerken en debietraaien, lijnelementen, ecotopenkartering en begrenzingen.

Rekenrooster

De ongestructureerde rekenroosters zijn zoveel mogelijk uitgelijnd met stroombanen, waar vierhoekige roostercellen de voorkeur hebben boven driehoeken. De rekenroosters sluiten naadloos aan op de rekenroosters van naburige modelschematisaties. De volgende resolutie van het rekenrooster is toegepast:

- Over de breedte van het ARK zijn tenminste 6 cellen toegepast, resulterend in een celbreedte van 15-20 m. Deze cellen hebben een aspect ratio van maximaal 1:5 (op rechte stukken zonder zijgeulen). De lengte varieert van ongeveer 20-100 m.
- Op het NZK varieert de afmetingen van de rekencellen van 30x20 m tot 80x25 m (grootste lengte in stroomrichting).

In de verticaal is een uniforme Z-lagen schematisatie toegepast. Z-lagen zijn meer geschikt voor een vrij zwak dynamisch systeem als het NZK/ARK dan het gebruik van sigma-lagen. De huidige laagdikte van het NZK/ARK model is circa 1 m, wat neerkomt op maximaal 25 verticale lagen (in de Velserskom).

De verschillende rekenroosters bestaan in totaal uit ongeveer 24.000 rekencellen en 53.000 flow links. De nieuwste versies van het rooster zijn `grid-nzk_ark_6-2024-v1_net.nc` (situatie 2023) en `grid-nzk_ark_6-2024-v1b_net.nc` (situatie 2023 + SO IJmuiden). Het grootste verschil tussen deze rekenroosters en eerdere versies zijn de roosters rond de sluizen bij IJmuiden en de Selectieve Onttrekking.

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-schematisaties zijn de volgende schematisatie-elementen meegenomen:

Bodemhoogte

- Volgt uit Baseline en wordt geprojecteerd op de hoekpunten van het rooster. De bodemhoogte is op een aantal locaties in het model vervolgens aangepast: grachten van Amsterdam (niet opgenomen in Baseline), sluizen bij IJmuiden (om te garanderen dat de zoutlekrandvoorwaarden correct worden meegenomen in het model), ter plaatse van de Oranjesluizen en de Prinses Irenesluizen (geprojecteerde bodemhoogte kwam niet overeen met de werkelijkheid) en de verbreding van het Lekkanaal (voor `dflowfm3d-nzk_ark-j24_6-v1a+b`, nog niet verwerkt in Baseline 2024). Tevens is de bodemhoogte in Zijkanaal C aangepast i.v.m. de beperkte resolutie van het rekenrooster (`dflowfm3d-nzk_ark-j24_6-v1a+b`).

Overlaten

- Op basis van Baseline zijn fixed weirs (overlaten) gespecificeerd. Deze fixed weirs representeren voornamelijk dijken rondom het NZK en ARK. Aangezien het netwerk vrijwel overal de oevers volgt ligt het grootste gedeelte van deze fixed weirs (net) buiten het netwerk. In overleg met RWS is besloten om voorsnog het netwerk niet uit te breiden tot voorbij de fixed weirs. Op dit moment wordt er voor het NZK en ARK geen modeltoepassingen voorzien waarbij overstrooming over de dijken gemodelleerd moet worden. Een gedeelte van de fixed weirs liggen wel binnen het netwerk, maar ook die hebben in de berekening over het algemeen weinig betekenis, aangezien de kruin van de meeste fixed weirs ver boven het peil van het NZK/ARK ligt.

Landgebruik en bodemruwheid

- De aanwezige vegetatie in het gebied wordt met de ecotopenkaarten van RWS-CIV beschreven. Deze zijn opgenomen in de Baseline-schematisatie. In het grootste gedeelte van het NZK/ARK model is een Nikuradse ruwheid van 0,15 m gespecificeerd.

Kunstwerken

- Het NZK/ARK systeem wordt op een aantal locaties afgebakend door scheepvaartsluizen (IJmuiden, Oranjesluizen, Prinses Irenesluizen, Prinses Beatrixsluizen, etc.). Hoewel de sluiscolken zijn opgenomen in het netwerk van het model, worden de processen in de sluizen (in- en uitvaren, menging, etc.) niet expliciet gemodelleerd. Het actieve gedeelte van de D-HYDRO modellen begint bij de binnendeuren (vanuit het NZK/ARK systeem gezien). Aangezien de processen in de scheepvaartsluizen bij IJmuiden van groot belang zijn voor de zoutlast is er een methode opgezet om de water- en zoutuitwisseling ter plaatse

van de binnendeuren te reproduceren. In dflowfm3d_nzk_ark-j24_6-v1b is de Selectieve Onttrekking bij IJmuiden opgenomen. Voor uitgebreide informatie over de schematisatie van deze Selectieve Onttrekking bij IJmuiden, zie Verbruggen en van der Baan (2022).

Brugpijlers

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

Hoogwatervrije gebieden

- N.v.t.

Modelgrenzen

- De gesloten modelranden worden gevormd door bandijken.

Modelkarakteristieken

Open randen

- N.v.t.

Laterale lozingen en onttrekkingen

Op meer dan 200 locaties wordt water onttrokken aan of geloosd op het watersysteem. De grootste posten zijn lozingen/onttrekkingen via gemalen/inlaatsluizen (spui-maalcomplex IJmuiden, Irenesluizen, gemaal Halfweg, Zaangemaal, etc.). Op enkele locaties zijn debietrandvoorwaarden gedefinieerd ter plaatse van open verbindingen (bijvoorbeeld bij de Amstel).

Het model wordt als volgt aangestuurd:

- In de modelschematisaties voor 2023 is ervoor gekozen om alle grote lateralen (i.e. $>2 \text{ m}^3/\text{s}$ in j19_6-v1b) te actualiseren met ruwe data aangeleverd door RWS. Van deze lateralen was voor de volgende locaties data beschikbaar: Irenesluizen, Gemaal Halfweg, Zaangemaal, debiet vanuit de Amstel, Gemaal Spaarndam, Schellingwoude. Voor de kleine lateralen waren geen gegevens beschikbaar en zijn tijdseries van 2018 (j19_6-v1b) gebruikt. Voor de Irenesluizen zijn de debietmetingen van Wijk bij Duurstede gebruikt. In deze dataset ontbraken gegevens voor enkele weken en maanden voor de periode van juni en ruwweg september t/m december. Voor deze periodes is gebruik gemaakt van debiet data van Maarssen en Weesp, gecorrigeerd met het gemiddelde verschil in debiet tussen deze locaties en Wijk bij Duurstede. Voor de laterale instroomdebieten vanuit de Vecht naar het ARK was geen data beschikbaar. Om toch een eerste inschatting van deze debieten te maken is er een waterbalans opgesteld van de Vecht met debiet gegevens van Rodebrug, Steenenbeer, Muiden en maalgegevens van gemalen rond de Vecht.
- Voor eerdere modelschematisaties (2015 + 2018) zijn de grootste gedeelte van de debietrandvoorwaarden gebaseerd op het Boezemmodel van Waternet. Dit model omvat naast het NZK/ARK systeem ook de Vecht, de Amstel en andere kleinere waterstromen. De debietrandvoorwaarden in het Boezemmodel die aan het NZK/ARK systeem liggen zijn zonder bewerking opgelegd aan het D-Flow FM model. Op de locaties waar het Boezemmodel verder reikt dan het D-Flow FM model zijn koppelpunten gedefinieerd. De door het Boezemmodel berekende afvoertijdseries op deze koppelpunten zijn meegenomen in het D-Flow FM model. Het Boezemmodel bleek de inlaatdebieten bij Schellingwoude niet nauwkeurig te representeren, waardoor ook voor deze debietrandvoorwaarden is gekozen om gebruik te maken van dagrapporten van RWS.
- Voor het schematiseren van de spui-maaldebieten bij IJmuiden is gebruik gemaakt van dagrapporten van RWS. In deze dagrapporten worden volumes en bijbehorende tijden gerapporteerd. Op basis van het verval over het spui-maalcomplex zijn de spui-volumes omgerekend naar realistische debietsvariaties.
- Op basis van schutgegevens aangeleverd door RWS zijn lozingen en onttrekkingen gegenereerd die de gemiddelde water- en zoutuitwisseling ter plaatse van de binnendeuren van de scheepvaartsluizen van IJmuiden zo goed mogelijk weergeeft. In deze uitwisseling zijn de volgende processen meegenomen: kolkuitwisseling gedurende de tijd dat de deur open staat (deur-open-tijd), nivelleerdebieten en uitwisseling ten gevolge van scheepsbeweging. De verticale schematisatie van de lozingen en onttrekkingen is gebaseerd op hoge resolutie Delft3D4 simulaties voor de verschillende sluiskolken (en de bijbehorende voorhavens).
- Voor de 2023 modelschematisatie is er een update gemaakt van de industriële lozingen op basis van gegevens van RWS. Voor zover mogelijk is er onderscheid gemaakt tussen de realistische

karacteristieken (debiet en temperatuur) voor de industriële lozingen in 2023 en vergunde karakteristieken voor industriële lozingen. In de modelschematisatie zijn de realistische lozingskarakteristieken gebruikt. Voor de vergunde lozingskarakteristieken, zie Vlijm (2025). In eerdere modelschematisaties (2015 + 2018) zijn de industriële (warmte)lozingen in het model zijn gebaseerd op het oorspronkelijke D-Flow FM model van Arcadis (van Banning et al., 2016). Het gaat in totaal om 12 actieve industriële onttrekkingen en lozingen. De karakteristieken van de lozingen (debieten en temperatuursverhogingen) zijn gebaseerd op de destijds vergunde debieten. De lozingen zijn voor alle modelschematisaties op een eenvoudige manier in het model ingebracht (onverdund, lozingen en onttrekking op -2 m NAP); er zijn geen near-field analyses uitgevoerd.

De waterbalans (bestaande uit bovengenoemde posten) is vervolgens als volgt gecorrigeerd:

- De debietrandvoorwaarden bij de Prinses Irenesluis zijn gecorrigeerd op basis van de gemeten debieten bij Maarssen en/of Weesp. In modelschematisaties voor 2015 en 2018 zijn ook de debietrandvoorwaarden ter plaatse van Nigtevecht gecorrigeerd op basis van de gemeten debieten bij Weesp.
- Vervolgens is de waterbalans op basis van de gemeten waterstand sluitend gemaakt door per 1-3 dagen een correctie toe te passen op de spui-maaldebieten bij IJmuiden.

Meteo

- De meteorandvoorwaarden (wind, luchttemperatuur, luchtvochtigheid en bewolgingsgraad) zijn gebaseerd op meetgegevens bij meetpunt Schiphol. Deze gegevens worden tijd variërend en uniform in de ruimte opgelegd. De volumeverandering ten gevolge van verdamping (en neerslag) worden niet meegenomen, omdat dit een effect kan hebben op de vooraf sluitend gemaakte waterbalans.

Zout en temperatuur

- Zowel zout als temperatuur worden door het model berekend. De belangrijkste zoutlast in het model komt van de scheepvaartsluizen bij IJmuiden, zoals hierboven beschreven. Voor de overige debietrandvoorwaarden is een zoutgehalte van 0,3 psu aangehouden. Opgemerkt wordt dat het zoutgehalte bijemaal Spaarndam hoger kan zijn dan 0,3 psu, omdat er regelmatig relatief brak water wordt geloosd vanuit het Hoogheemraadschap Rijnland. Metingen van het zoutgehalte bijemaal Spaarndam zijn echter niet beschikbaar, waardoor dit niet is meegenomen in de modelschematisatie.
- De watertemperatuur in het model wordt vooral beïnvloed door de meteorandvoorwaarden. Voor alle debietrandvoorwaarden is de gemeten temperatuur bij Diemen aangehouden. Eventuele ruimtelijke verschillen van de temperatuur op de instroomranden van het model worden in de modellering dus niet meegenomen.

Overige fysica

- N.v.t.

Numerieke instellingen

De numerieke instellingen van het model zijn zoveel als mogelijk gebaseerd op de generieke specificaties (Minns et al, 2019). Van deze instellingen is afgeweken voor de windschuifspanningsformulering. In het NZK/ARK model is gekozen voor de formulering van Wüest and Lorke (2003), via ICdtyp = 6. Het onderscheidende van deze formulering ten opzichte van de meest gebruikte Smith and Banke formulering (ICdtyp = 2), is dat bij lage windsnelheden een veel hogere windschuifspanning wordt berekend. Deze formulering is gebaseerd op metingen bij enkele meren, waaronder het meer van Geneve. In vergelijkbare projecten met koelwatermodellering bleek dit een belangrijke verbetering te zijn. Het verticale advection type is vanaf de j23-schematisatie veranderd naar type 4 (vertAdvTypSal=4). Dit is consistent met de andere zesde-generatie D-HYDRO modellen.

Kalibratie

Methodiek

Uit gevoeligheidssimulaties is gebleken dat de prestaties van het model met betrekking tot zout en temperatuur met name gevoelig was voor de schematisatie van zoutlast bij IJmuiden en de waterbalans. Numerieke instellingen als verticale/horizontale resolutie, viscositeit, etc, bleken nauwelijks een effect te hebben. Gevoeligheidssimulaties met een verhoogde verticale diffusie gaf geen eenduidige verbetering van de modelresultaten. In de monding tussen het NZK en ARK gaf een verhoogde verticale diffusie een verbetering

van modelresultaten (en minder zoutindringing), terwijl in andere delen van het model de verhoogde verticale diffusie zorgt voor een grotere afwijking tussen metingen en modelresultaten. Voor de ontwikkeling van het model is geen klassieke kalibratie uitgevoerd waarbij bijvoorbeeld bodemruwheden zijn gevarieerd. In overleg met RWS richtte de 'kalibratie' zich daarentegen op de volgende onderdelen:

- Corrigeren van lozingen/onttrekking op basis van gemeten debieten bij Weesp en Maarssen, zoals hierboven beschreven
- Analyseren en verbeteren van mogelijke inconsistenties in de debietrandvoorwaarden (bijvoorbeeld bij de Schellingwoude), zoals hierboven beschreven
- Corrigeren van de deur-open-tijden (DOT) bij de scheepvaartsluizen bij IJmuiden, omdat de data een grote onzekerheid bevat en deze parameter bepalend is voor de zoutlast. Uiteindelijk is de DOT gebaseerd op 60% van de gerapporteerde schutduur (waarvan bekend was dat deze langer is dan de DOT).

De kalibratie is uitgevoerd voor de periode 1 januari 2015 t/m 1 oktober 2015. Dit jaar is gekozen, omdat het een recent jaar is waar twee 100-puntenmetingen zijn verricht. Gedurende een 100-puntenmeting worden in de loop van enkele dagen op ongeveer 100 locaties in het Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal zout- en temperatuur profielen gemeten. Een dergelijke meting geeft een goed ruimtelijk beeld van de horizontale en verticale verdeling van het zout en de watertemperatuur.

In de kalibratie zijn de gemodelleerde waterstanden, debieten, zoutgehaltes en watertemperatuur vergeleken met metingen.

Resultaten

Voor alle meetlocaties geldt dat de waterstand zowel op korte termijn (pseudo getij) als op langere termijn (van dagen tot weken) goed wordt weergegeven in het model. Bij Weesp is de Root Mean Square Error (RMSE) 0.04 m.

In onderstaande tabellen wordt de RMSE getoond als kwantitatieve graadmeter voor de vergelijking van de meetdata en de modelresultaten voor zout en temperatuur.

Voor zout is de RMSE over het algemeen kleiner dan 1 psu. Laag in de verticaal wordt hierop afgeweken in het Binnenspuikanaal. Hier wordt de trend van het zout wel gevolgd, maar toont het modelresultaat niet de gemeten kortstondige pieken in de zoutconcentratie. Ook bij de NDSM-pier wijkt het model iets meer af. Ook hier wordt de trend wel gevolgd door de modelresultaten, maar wordt deze vrij constant overschat met ongeveer 1,5 psu.

Over het algemeen is het model in staat om de temperatuur te voorspellen tot op 1 graad Celsius nauwkeurig.

Tabel 1: kalibratieresultaten met betrekking tot zout

Locatie	Hoogte	Typische RMSE ¹ [psu]
Binnenspuikanaal	-1,4 m NAP	<1 psu
	-6,4 m NAP	<1 psu
	-10,4 m NAP	<2 psu
Sparndammerpolder	-1,4 m NAP	<0,5 psu
	-6,4 m NAP	<0,5 psu
NDSM-pier	-1,4 m NAP	<1 psu
	-6,4 m NAP	<2 psu
Diemen	-1,4 m NAP	<1 psu *

¹RMSE is niet de meest relevante parameter voor Diemen, aangezien er vrijwel geen sprake was van zoutintrusie gedurende de kalibratieperiode.

Tabel 2: kalibratieresultaten met betrekking tot temperatuur

Locatie	Hoogte	Typische RMSE [°C]
Binnenspuikanaal	-1,4 m NAP	<2 °C
	-6,4 m NAP	<1 °C
	-10,4 m NAP	<1 °C
NDSM-pier	-1,4 m NAP	<1 °C
	-6,4 m NAP	<1 °C
Diemen	-1,4 m NAP	<1 °C

Validatie

Methodiek

De validatie is uitgevoerd voor de volledige jaren 2018 en 2023. Voor deze perioden zijn meetgegevens voor waterstanden, debieten, temperatuur en zoutgehalte beschikbaar. Metingen voor temperatuur en zoutgehalte bestaan uit zowel stations metingen als de 100-punten metingen. Voor dflowfm3d_nzk_ark-j24_6-v1b, i.e. inclusief Selectieve Onttrekking bij IJmuiden, is geen validatie uitgevoerd omdat hier nog geen meetgegevens voor beschikbaar zijn.

Resultaten 2018

De validatieresultaten op basis van 2018 met betrekking tot waterstanden zijn vergelijkbaar met de kalibratieresultaten voor 2015, zie hierboven. In onderstaande tabellen wordt de RMSE getoond als kwantitatieve graadmeter voor de vergelijking van de meetdata en de modelresultaten voor zout en temperatuur.

Over het algemeen is de RMSE kleiner dan 1 psu op het NZK. Echter, in de zomermaanden is sprake van een onderschatting van de zoutwaarde van 1-2 psu (mogelijk doordat het ontbreken van de werking van het bellenscherm in de moding van het ARK). Dit resulteert in een typische RMSE over de gehele validatieperiode tot 2 psu op een aantal locaties. Op het ARK wordt een hogere RMSE waargenomen. Het model is hier wel in staat de pieken in zoutintrusie te voorspellen, maar de afname van de zoutwaarde tussen deze pieken (het 'zoetspoelen') wordt onderschat, wat leidt tot een vrij hoge RMSE tot 4 psu.

Over het algemeen is de modelschematisatie in staat om de temperatuur te voorspellen tot op 2 graad Celsius nauwkeurig. Waar de trend goed gevolgd wordt, lijkt sprake te zijn van een onderschatting van de temperatuur van 1-2 °C over langere periodes.

Tabel 3: validatieresultaten met betrekking tot zout

Locatie	Hoogte	Typische RMSE [psu]
Binnenspuikanaal*	-1,4 m NAP	<0,5 psu
	-6,4 m NAP	<1 psu
	-10,4 m NAP	<2 psu
Zijkanaal C1	-1,4 m NAP	<1 psu
	-4,4 m NAP	<2 psu
Spaarndammerpolder	-1,4 m NAP	<0,5 psu
	-6,4 m NAP	<1 psu
NDSM-pier	-1,4 m NAP	<1 psu
	-6,4 m NAP	<2 psu
Diemen	-1,4 m NAP	<2 psu
	-6,5 m NAP	<4 psu

*Op deze locatie zijn de meetgegevens slechts beschikbaar tot eind april

Tabel 4: validatieresultaten met betrekking tot temperatuur

Locatie	Hoogte	Typische RMSE [°C]
Binnenspuikanaal*	-1,4 m NAP	<1 °C
	-6,4 m NAP	<1 °C
	-10,4 m NAP	<0,5 °C
Zijkanaal C1	-1,4 m NAP	<1 °C
	-4,4 m NAP	<2 °C
Spaarndammerpolder	-1,4 m NAP	<1 °C
	-6,4 m NAP	<2 °C
NDSM-pier	-1,4 m NAP	<2 °C
	-6,4 m NAP	<1 °C
Diemen	-1,4 m NAP	<2 °C
	-6,5 m NAP	<2 °C

*Op deze locatie zijn de meetgegevens slechts beschikbaar tot eind april

Resultaten 2023

De validatieresultaten op basis van 2023 zijn vergelijkbaar met eerdere modelschematisaties. De actualisatie van de industriële lozingen voor 2023 geeft gemiddeld een lagere RMSE waarden vergeleken met eerdere schematisaties. In onderstaande tabellen wordt de RMSE getoond als kwantitatieve graadmeter voor de vergelijking van de meetdata en de modelresultaten. In Vlijm (2025) staat een uitgebreidere beschrijving van de resultaten.

Over het algemeen is het model in staat om waterstanden, debieten, temperatuur en zoutgehaltes voor 2023 goed te voorspellen.

Tabel 5: validatieresultaten met betrekking tot waterstanden

Locatie	Typische RMSE
IJmuiden binnen	<0.1 m
Buitenhuizen	<0.1 m
Surinamekade	<0.1 m
Weesp	<0.1 m
Maarssen	<0.1 m
Nieuwegein	<0.1 m

Tabel 6: validatieresultaten met betrekking tot debieten

Locatie	Typische RMSE
Maarssen	<8 m ³ /s
Weesp	<7 m ³ /s

Tabel 7: validatieresultaten met betrekking tot zoutgehalte

Locatie	Hoogte	Typische RMSE [psu]
Velserkom	-1 m NAP	<1 psu
	-6 m NAP	<1 psu
	-8 m NAP	<2 psu
Zijkanaal C	-1,4 m NAP	<1 psu
	-4,4 m NAP	<2 psu
Spaarndammerpolder	-1,4 m NAP	<1 psu
	-6,4 m NAP	<1.5 psu
NDSM-pier	-1,4 m NAP	<1 psu
	-6,4 m NAP	<1.5 psu
Diemen	-1,4 m NAP	<0.5 psu
	-6,5 m NAP	<2.5 psu

Tabel 8: validatieresultaten met betrekking tot temperatuur

Locatie	Hoogte	Typische RMSE [°C]
Velserskom	-1 m NAP	<3 °C
	-6 m NAP	<1 °C
	-8 m NAP	<0,5 °C
Zijkanaal C	-1,4 m NAP	<1 °C
	-4,4 m NAP	<1 °C
Spaarndammerpolder	-1,4 m NAP	<0,5 °C
	-6,4 m NAP	<0,5 °C
NDSM-pier	-1,4 m NAP	<0,5 °C
	-6,4 m NAP	<0,5 °C
Diemen	-1,4 m NAP	<1 °C
	-6,5 m NAP	<1 °C

Nauwkeurigheid en modelonzekerheid

Op basis van de validatie van modelresultaten tegen de metingen zijn de volgende conclusies getrokken over de geactualiseerde modelschematisatie van het NZK/ARK model in D-HYDRO:

- Voor de validatie van 2018 geldt dat voor alle meetlocaties de waterstand zowel op korte termijn (schommelingen met een periode van enkele uren) als op langere termijn (van dagen tot weken) goed wordt weergegeven in het model. Het verhang op het ARK wordt in het model overschat (+25%), terwijl het verhang in het oostelijke gedeelte van het NZK zeer goed wordt weergegeven. In het westelijke gedeelte van het NZK lijkt het model het verhang te onderschatten (-75%), hoewel dit gebaseerd is op metingen vlakbij het spui-maal complex, waar lokale effecten een rol kunnen spelen (dichtheidsverschillen, snelheidshoogte). Ook voor 2023 weet het model de gemiddelde waterstand en de waterstandsvariatie over de dag goed te reproduceren. De gesimuleerde absolute waterstand wijkt soms wel af van de metingen. Deze onnauwkeurigheid van de gesimuleerde waterstanden is toe te schrijven aan de relatieve grote onzekerheid in de debiet randvoorwaarden. Met een totale waterbalans correctie van 31% op het spui- maalcomplex bij IJmuiden, het ontbreken van debieten vanuit de Vecht naar het ARK (o.a. Nigtevecht, Weesp, Maarsen etc.) en ontbrekende periodes in de debiet data voor de Irenesluizen, Weesp en Maarsen is er relatief veel onzekerheid in de randvoorwaarden. De timing van gemeten extreme waterstandsvariëaties worden daarom niet altijd goed gereproduceerd door het model. Het berekende en gemeten gemiddelde verhang in het NZK/ARK komt aardig overeen tussen de verschillende stations (verschil +/- 1cm (~20%)). Het verschil van 1 cm (~20%) is voornamelijk toe te schrijven aan het westelijke gedeelte van het NZK tussen IJmuiden en Buitenhuisen en is vergelijkbaar met eerdere modelschematisaties. Er kan daarom geconcludeerd worden dat de nieuwe modelschematisatie voor 2023, ondanks alle onzekerheden, de gemeten waterstanden goed weet te reproduceren.
- De debieten worden bij Weesp en Maarssen goed weergegeven. Dit is naar verwachting, aangezien de waterbalans op basis van deze metingen is gecorrigeerd.
- Op basis van vergelijkingen met de beschikbare zoutmetingen voor 2018 (100-punten metingen, stationsmetingen) kan geconcludeerd worden dat het D-HYDRO model goed presteert in het grootste gedeelte van het Noordzeekanaal. In het oostelijke gedeelte van het Noordzeekanaal (vanaf ongeveer km 13-15) wordt de verticale menging in het model onderschat. Dit leidt tot een overschatting van het zoutgehalte nabij de NDSM pier, het Binnen-IJ en in de mond van het ARK. Deze onderschatting van de verticale menging wordt mogelijk veroorzaakt door het feit dat scheepsmenging niet gemodelleerd wordt, door lokale windeffecten of door de schematische manier waarop industriële lozingen zijn ingebracht. Ook in de validatie van de modelschematisatie voor 2023 weet het model in verschillende periodes de zoutgehaltes in het NZK/ARK goed te reproduceren. In de periodes maart/april en november/december overschat het model de zoutgehaltes in het NZK met 1-3 PSU, met name rond -6 tot -8 m NAP. Deze periodes vallen samen met intensiever gebruik van de nieuwe Zeesluis IJmuiden. Een mogelijke verklaring voor deze overschatting is een te hoge berekende zoutlast via de Zeesluis IJmuiden. Op basis van de 100-punten metingen lijkt de afwijking op -8 m NAP echter ook deels te komen doordat het model een iets andere verticaal profiel met minder verticale menging berekent in het bovenste gedeelte van de waterkolom. Het missen van verticale menging in de bovenste gedeelte van de waterkolom is consistent met eerdere modelschematisaties. Dit komt mogelijk door het ontbreken van scheepsmenging in het model. Consistent met vorige modelschematisaties is er een overschatting van de zoutindringing in het ARK. Mogelijke verklaringen voor deze afwijkingen zijn de onzekerheid in de waterbalans, een te hoge zoutlast via de schutsluizen bij IJmuiden en/of het ontbreken van verticale menging door scheepvaart in het model. Validatie met de 100-punten metingen laat een goede vergelijking tussen model en metingen

zien voor de metingen in September. Wel laten modelresultaten voor mei en september soms ook een te lage zoutconcentratie bij de bodem van het NZK zien t.o.v. de metingen.

- Op basis van de vergelijkingen met de beschikbare temperatuurmetingen voor 2018 (100-punten metingen, stationsmetingen) kan geconcludeerd worden dat het D-HYDRO model in staat is om de temperatuur goed weer te geven. Wel zijn er enkele opvallende verschillen geobserveerd die gerelateerd lijken te zijn aan warmtelozingen en de voorgeschreven temperatuur bij de debietrandvoorwaarden (vooral in 2018). De actualisatie van de industriële lozingen in de 2023 geeft een verbeterde validatie van de modelschematisatie. Over het algemeen weet het model de temperatuur in het NZK/ARK voor 2023 erg goed te berekenen met een bias tussen -0,3 tot 0,3 °C voor de verschillende meetstations. Mogelijke oorzaken van lokale en incidentele afwijkingen tussen het model en de metingen zijn de beperkte jaargemiddelde informatie van de industriële lozingen, het alleen schematisch modelleren van de industriële lozingen zonder near-field analyse en/of ruimtelijke variaties in meteorologische condities.

Modelgebruik

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

- **Gebiedsinformatie:** Aanpassing aan gebiedsinformatie in principe enkel en alleen door het aanpassen van de gebiedsschematisatie via Baseline m.b.v. maatregelen en dan een projectie naar invoer voor de modelschematisatie (WSP, 2024). 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 debietrandvoorwaarden, meteo-informatie en karakteristieken van industriële lozingen). Opgemerkt wordt dat in de 2023 modelschematisaties realistische lozingskarakteristieken zijn opgenomen en niet de vergunde lozingen, zie Vlijm (2025).
- **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.
- **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 rekentijd van het model voor het doorrekenen van 365 dagen op 24 cores op een Linux rekencluster (hardware Deltares h7 met Intel(R) Xeon(R) Gold 6342 CPU processors) bedraagt ca. 1,5 dag voor dflowfm3d_nzk_ark-j24_6-v1a en 2,5 dag voor dflowfm3d_nzk_ark-j24_6-v1b.

Koppelingen en relaties met andere modellen

- Baseline NL (hieruit wordt de schematisatie van het NZK/ARK gemaakt).

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.
- Voor vragen bij het gebruik van het model wordt in eerste instantie verwezen naar de D-HYDRO manual (Deltares, 2024).

Beschikbare versies

Modelschematisaties

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

Modelschematisatie	Type	Jaar	Software	
			Baseline	D-HYDRO Suite
dflowfm3d-nzk_ark-j15_5-v1a		2020	5.3.3	2020.04 (v1.5.1)
dflowfm3d-nzk_ark-j15_5-v1b	K/V	2022	5.3.3	2020.04 (v1.5.1)
dflowfm3d-nzk_ark-j19_6-v1a		2020	6.2	2020.04 (v1.5.1)
dflowfm3d-nzk_ark-j19_6-v1b	K/V	2022	6.2	2020.04 (v1.5.1)
dflowfm3d-nzk_ark-j24_6-v1a	K/V	2025	6.3.3	2024.03 (v2.26.25)
dflowfm3d-nzk_ark-j24_6-v1b	K/V	2025	6.3.3	2024.03 (v2.26.25)

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 voor hetzelfde schematisatiejaar.

- De kolom '**modelschematisatie**' verwijst naar de naam van de modelschematisatie: Hieraan is te zien welke geometrie de schematisatie het beste representeert. De schematisatie van het jaar 20XX wordt het best gerepresenteerd door het jXX model.
- De kolom '**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 randvoorwaarden sets zijn beschikbaar voor de zesde-generatie NZK-ARK-modellen.

Naam	Type	Beschrijving	Referentie
j15	hist	1 jan 2015 – 31 dec 2015	Verbruggen en van der Baan (2020)
j18	hist	1 jan 2018 – 31 dec 2018	Verbruggen en van der Baan (2020)
j23	hist	1 jan 2023 – 31 dec 2023	Vlijm (2025)

Release notes

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

dflowfm3d-nzk_ark-j15_5-v1a (Verbruggen en van der Baan, 2020)

Dit is de eerste officiële 3D D-HYDRO schematisatie van het NZK/ARK. Deze schematisatie is gebaseerd op een baseline-nzk_ark-j15_5-v1. Voor deze modelschematisatie zijn randvoorwaarden voor 2015 beschikbaar. Een aantal bestanden zijn gebaseerd op baseline-nzk_ark-j19_6-v1 (thin dams, dry points), omdat de bestanden vanuit deze baseline projectie veel meer detail bevatten dan op basis van baseline-nzk_ark-j15_5-v1.

dflowfm3d-nzk_ark-j15_5-v1b (Verbruggen en van der Baan, 2020)

De basis van de j15_5-v1a zijn een paar wijzingen uitgevoerd: de mappenstructuur is consistent gemaakt met de herziene opslag structuur voor zesde generatie modelschematisaties. De structuur en keywords in de .mdu zijn consistent gemaakt met de nieuwe specificaties voor zesde generatiemodellen.

dflowfm3d-nzk_ark-j19_6-v1a (Verbruggen en van der Baan, 2020)

De basis van deze schematisatie is j15_5-v1a, waarop een aantal wijzigingen zijn doorgevoerd: De modelschematisatie is volledig gebaseerd op baseline-nzk_ark-j19_6-v1. Voor deze modelschematisatie zijn randvoorwaarden voor 2018 beschikbaar.

dflowfm3d-nzk_ark-j19_6-v1b (Verbruggen en van der Baan, 2020)

Op basis van de j19_6-v1a zijn een paar wijzingen uitgevoerd: de mappenstructuur is consistent gemaakt met de herziene opslag structuur voor zesde generatie modelschematisaties. De structuur en keywords in de .mdu zijn consistent gemaakt met de nieuwe specificaties voor zesde generatiemodellen.

dflofm3d-nzk_ark-j24_6-v1a (Vlijm, 2025)

Actualisatie van de 3D D-Hydro schematisatie van het NZK/ARK naar 2023. Hiervoor is j19_6-v1b als basis gebruikt. Nieuw in deze schematisatie is o.a. de implementatie van de Zeesluis IJmuiden. De actualisatie betreft verder aanpassingen aan het rekenrooster, nieuwe hydrodynamische en meteorologische modelrandvoorwaarden voor 2023 en een actualisatie van de industriële lozingen.

dflofm3d-nzk_ark-j24_6-v1b (Vlijm, 2025)

Deze modelschematisatie is gelijk aan j24_6-v1a, maar inclusief Selectieve Onttrekking bij IJmuiden. Deze implementatie betreft aanpassingen aan het rekenrooster, de lokale bodemhoogte en het toevoegen van een general structure op basis van Verbruggen en van der Baan (2022).

Referenties

Deltares (2024). D-FLOW Flexible Mesh. Computational Cores and User Interface. User Manual. Version 2023, SVN Revision 79031, 30 April 2024.

Minns, T., A. Spruyt & D. Kerkhoven (2019): Specificaties zesde-generatie modellen met D-HYDRO - Generieke technische en functionele specificaties. Voorlopig Deltares rapport 11203714-013-ZWS-0001.

Verbruggen, W., van der Baan, J. (2020): Ontwikkeling zesde-generatie 3D Noordzeekanaal Amsterdam-Rijnkanaal model: Modelbouw, kalibratie en validatie. Deltares conceptrapport 11205258-011-ZWS-0004, v0.1, nov 2020.

Verbruggen, W., van der Baan, J. (2022). Ontwikkeling zesde-generatie 3D Noordzeekanaal Amsterdam-Rijnkanaal model: Aanvullende analyses 2022: Z-sigma en Selectieve Onttrekking IJmuiden. Deltares Rapport 11208053-009-ZWS-0005, December 2022.

Vlijm, R. (2025), 11210333-010-ZWS-0001_v1.0-Ontwikkeling zesde-generatie 3D Noordzeekanaal Amsterdam-Rijnkanaal model - Actualisatie modelschematisatie 2023.

WSP (2024). Draaiboek Baselinemaatregelen. Schematisatie instructies.



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.