

Memo

Aan

TKI consortium (DEL155 NHI Module Oppervlaktewater)

Datum

2 juli 2024

Ons kenmerk

11208971-000-BGS-0003

Aantal pagina's

1 van 21

Contactpersoon

Peter Gijsbers

Doorkiesnummer

+31(0)88 335 7943

E-mail

Peter.Gijsbers@deltares.nl

Onderwerp

Uitwerking invulling gewenste functionaliteiten NHI-Module oppervlaktewater voor waterverdeling en waterkwaliteit

1 Inleiding

Directe aanleiding voor het TKI-project NHI module oppervlaktewater was de noodzaak voor vervanging van software onderdelen om het oppervlaktewater als gelumppte modelconcepten in zowel regionale als landelijke toepassingen te benaderen. In het voorjaar van 2022 is na een marktconsultatie vanuit het NHI geprobeerd de benodigde ontwikkeling vorm te geven via een 'aanbesteding in de markt', aanvullend op een opdracht aan de kennisinstututen. Uiteindelijk is vanwege verschillende redenen gekozen voor een ontwikkeling in samenwerking tussen kennisinstututen, marktpartijen (adviesbureaus en zzp-ers) en waterbeheerders (waterschappen en Rijkswaterstaat) vorm te geven. Hiermee is de conceptuele kennis bij de instututen gecombineerd en verrijkt met de kennis en praktijkervaring van marktpartijen en waterbeheerders.

In de aanloop naar de ontwikkeling van Ribasim is in memo *11205261-012-BGS-0001_v1.0-Oplossingsrichting waterverdeling vervanging DM-Mozart* een oplossingsrichting geschetst voor de vervanging van DM-Mozart in het Landelijk Hydrologisch Model. In deze memo werd een geneste optimalisatieberekening geadviseerd voor de waterverdeling en een simulatie voor de waterkwaliteit. De ontwikkeling van Ribasim is sterk geïnspireerd door deze memo maar is in de ontwikkeling tussentijds aangepast met meer nadruk op simulatie en een beperkte rol voor optimalisatie.

De ontwikkeling in dit TKI-project is uiteindelijk in nauwe samenwerking en afstemming met marktpartijen en waterbeheerders tot stand gekomen. De ontwikkelde functionaliteiten zijn in regionale en landelijke pilotgebieden beproefd en getest, en waar nodig aangescherpt. Een uitzondering hierop is de ontwikkelingen van de koppeling met waterkwaliteit, deze nieuwe functionaliteiten zullen bij toepassing in de landelijke modellering voor waterkwaliteit en Deltaprogramma Zoetwater nader moeten worden onderzocht.

In het algemeen geldt dat voor de nieuwe modelcode verdere toepassing van de nieuwe modelconcepten zal moeten worden uitwijzen of gewenst is functionaliteiten verder aan te scherpen of aan te passen. Dit kan worden gerealiseerd op nieuwe ontwikkelprojecten. Daarnaast is het ook belangrijk om de modelcode in beheer en onderhoud te nemen, zodat eventuele bevindingen spoedig kunnen worden opgepakt en vragen van gebruikers kunnen worden beantwoord.

Dit document beschrijft het resultaat van de ontwikkeling. De berekeningswijze van Ribasim wordt eerst op conceptueel niveau uitgelegd. Vervolgens wordt ingegaan op de wijze waarop functionele eisen en wensen ingevuld zijn in het project.

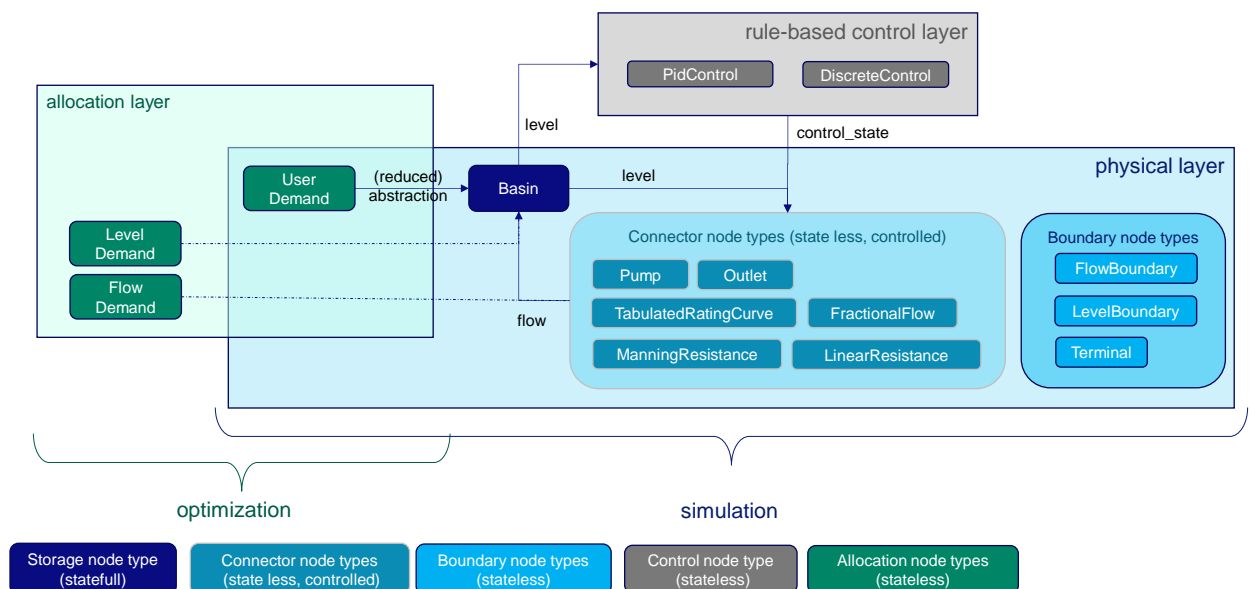
De code van de ontwikkeling is beschikbaar op: <https://github.com/Deltares/Ribasim/>
De documentatie staat op: <https://deltares.github.io/Ribasim/>

2 Ribasim concept

Watersystemen kun je in het algemeen representeren met hydrologische eenheden die onderling verbonden zijn, al dan niet door (regelbare) kunstwerken. In Ribasim volgen we dit paradigma door een watersysteem in een netwerk model te representeren op basis van drie lagen (Figuur 1):

- Een fysieke laag
- Een sturingslaag
- Een allocatie laag

Ribasim conceptualisatie



Figuur 1 Conceptualisatie van Ribasim in 3 lagen met bijbehorende knooptypen

2.1 De fysieke laag.

In de fysieke laag wordt het water systeem gekarakteriseerd door bakjes (basins) met een volume, die in een netwerk aan elkaar verbonden zijn met connector-knopen. De bakjes representeren de waterlichamen en bevatten het geaggregeerd volume van de hydrologische eenheid die hiermee gerepresenteerd wordt. De uitwisseling van de bakjes wordt gerepresenteerd door connector knopen. Deze connector knopen kunnen kunstwerken representeren, maar ook open water verbindingen zonder kunstwerk. Onderdeel van de fysieke laag zijn de watergebruikers die water kunnen onttrekken uit (en teruglozen in) de basins. Elke watergebruiker heeft een minimum waterpeil waarbij de onttrekking wordt gestopt.

2.2 De sturingslaag

In de sturingslaag kunnen sturingsregels samengesteld worden om de parameterisatie van de kunstwerken aan te passen op basis van één of meerdere condities in (of buiten) het netwerk.

Sturing betreft meestal aanpassing van debieten door Outlets of Pompen, het activeren/deactiveren van knopen, het switchen van QH-krommes of het aanpassen van setpoints (streefpeil) van een PidController.

De fysische laag en de sturingslaag vormen samen de simulatie welke als één netwerk doorgerekend wordt met behulp van een iteratief rekenschema.

2.3 De allocatie laag

De allocatie laag bepaalt, met behulp van een optimalisatie algoritme, op basis van de beschikbare hoeveelheid water of bepaalde onttrekkingen gekort moeten worden om te zorgen dat er voldoende water in het systeem blijft voor watergebruikers (onttrekkingen, peilbeheer en doorspoeling) met een hogere prioriteit. De allocatie laag heeft een watervraag en waterbeschikbaarheid (lokaal en aan de bron) als invoer en een allocatieresultaat als uitvoer. Deze invoer wordt door de simulatielaag aangeleverd en is de verwachting voor de komende allocatietijdstep. Het allocatieresultaat bepaalt of een onttrekking van een watergebruiker aangepast moet worden voordat de simulatie plaatsvindt. Uiteindelijk bepaalt de simulatie of de gealloceerde onttrekking (en het gewenste peil en doorspoeldebiet) daadwerkelijk gerealiseerd kan worden.

Indien het allocatie algoritme niet wordt geactiveerd, zullen alle onttrekkingen in de simulatie volgens de originele watervraag plaatsvinden. De daadwerkelijke realisatie blijft afhankelijk van de waterbeschikbaarheid, de sturingsregels en het minimum peil waarbij een onttrekking stopt.

2.4 Interactie tussen allocatie laag en sturing+fysieke simulatie laag

De allocatie beslissing wordt voor een vaste tijdstep vastgelegd gegeven de begintoestand in het watersysteem (de volume in de basins), de geprioriteerde watervraag (onttrekking, peilbeheer en doorspoeling) over deze periode en de verwachte forcering (instroming op netwerkranden en lokale bijdragen/verliezen) over deze periode. Het resultaat van de allocatieberekening is een gealloceerde onttrekking welke bij watertekorten is gebaseerd op de prioritering van de verschillende watergebruikers. In de simulatie wordt deze gealloceerde onttrekking gedurende de allocatieperiode toegepast terwijl de simulatie de waterverdeling doorrekent op basis van de watersysteemkenmerken en de sturingsregels. Onderdeel van de specificatie van de onttrekking is het minimum waterpeil waarboven een onttrekking kan plaatsvinden. Dit kan de laagste kruinhoogte van een inlaatwerk zijn of de onttrekkingsdiepte van de pomp. Zodra het waterpeil in de simulatie onder deze grens komt stopt de onttrekking. De daadwerkelijke hoeveelheid onttrokken water wordt de realisatie genoemd. Samenvattend: voor elke onttrekking (UserDemand) kennen we 3 fluxen: de watervraag (extern bepaald), de allocatie (=aangepaste vraag) bepaald door het allocatie algoritme, en de daadwerkelijke realisatie op basis van de simulatie in de fysieke+sturingslaag.

De allocatie berekening wordt uitgevoerd met behulp van een optimalisatie techniek geïnspireerd op het maximum flow probleem. Voor details zie: <https://deltares.github.io/Ribasim/concept/allocation.html>

Figuur 2 geeft de het rekenproces weer dat doorlopen wordt.



Figuur 2 Rekenproces weergave (sequence diagram) van allocatie, sturing en fysieke simulatie

2.5 Geneste allocatie

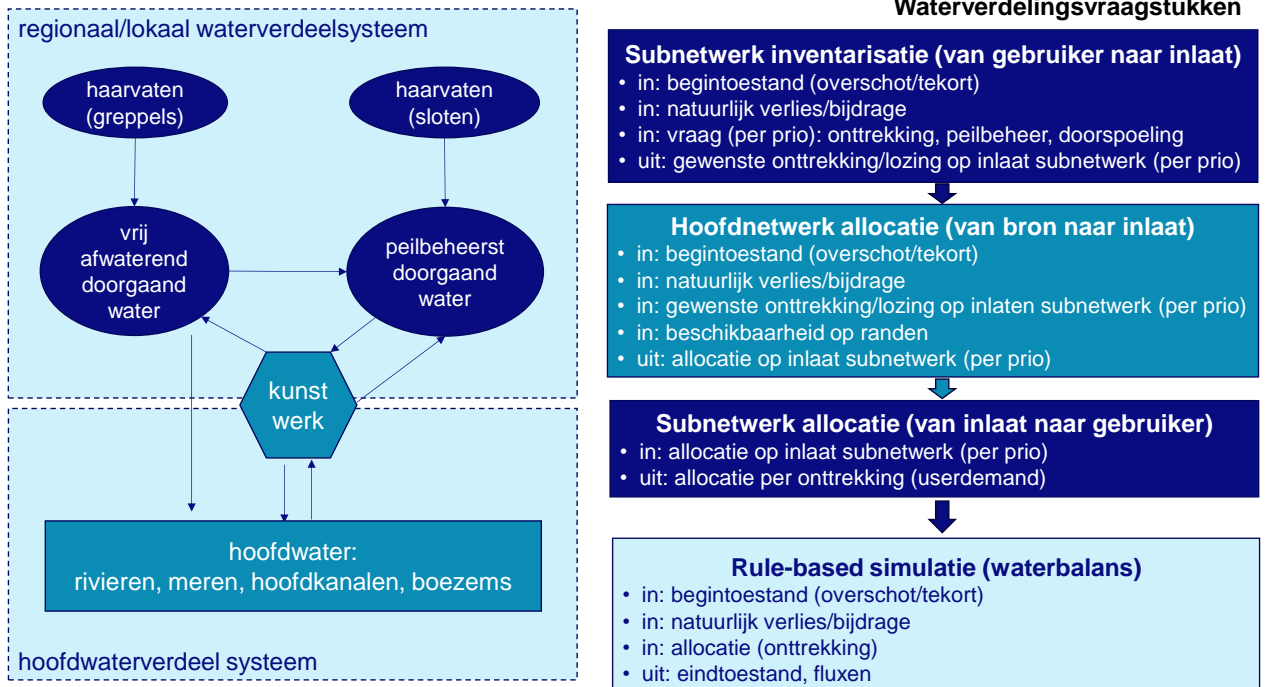
Afhankelijk van het gekozen detail niveau kan het Nederlandse watersysteem tot omvangrijke netwerken leiden. Om een goed functionerend allocatie algoritme te behouden kan het allocatie algoritme in een enkelvoudig geneste vorm worden toegepast. Hiervoor moet in de schematisatie een opdeling gemaakt worden in één hoofdwaterverdelingsnetwerk en meerdere sub-netwerken (Figuur 3).

In deze situatie werkt het rekenschema voor allocatie als volgt:

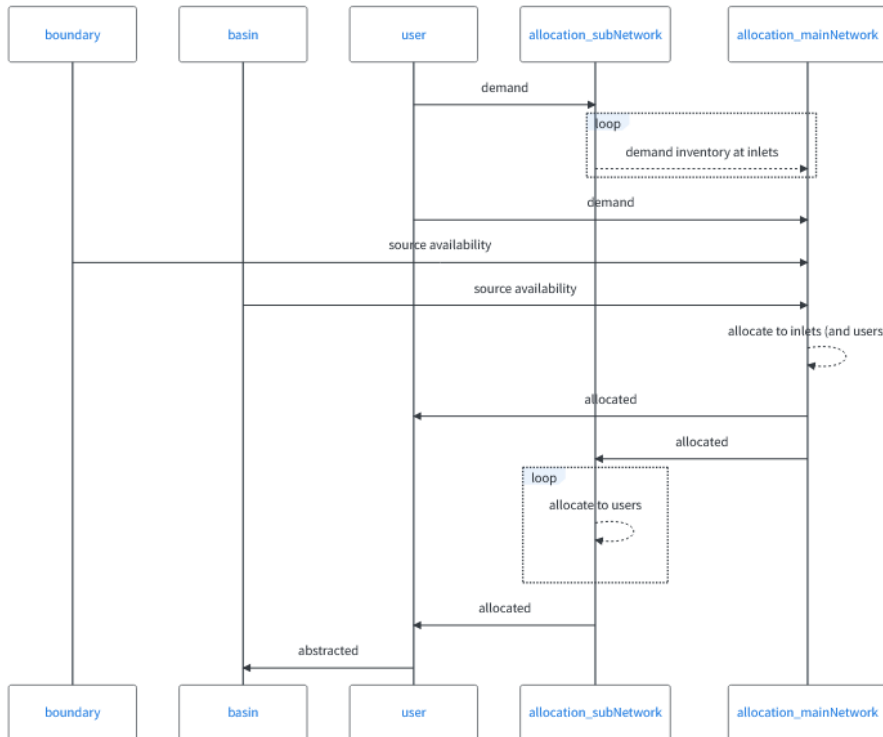
- Inventariseer de vraag van de gebruikers binnen alle sub-netwerken en route deze naar de inlaten
- Alloceer het beschikbaar water van het hoofdnetwerk naar de inlaten van de sub-netwerken
- Alloceer het op de inlaten beschikbare water naar de gebruikers van het sub-netwerk

- Pas deze allocatie toe om in de simulatie te berekenen wat daadwerkelijk gerealiseerd wordt.

Figuur 4 geeft in een sequence diagram het rekenproces weer binnen geneste allocatie.



Figuur 3 Nesting van netwerken in relatie tot allocatie



Figuur 4 Rekenproces weergave (sequence diagram) van geneste allocatie

2.6 Samenvattend

De allocatie laag zorgt dat er genoeg water in het systeem blijft om de belangrijkste functies te kunnen vervullen. De sturingslaag regelt de waterverdeling zodanig dat deze functies ook vervuld worden. De fysieke laag berekent de resulterende waterbalans/verdeling (debieten en volumes).

3 Uitwisseling tussen oppervlakte water-grondwater-onverzadigde zone

De koppelingen tussen oppervlaktewater (Ribasim), grondwater (Modflow6) en onverzadigde zone (MetaSWAP) staat beschreven op: <https://deltares.github.io/iMOD-Documentation/coupler.html>.

3.1 Ruimtelijke representatie

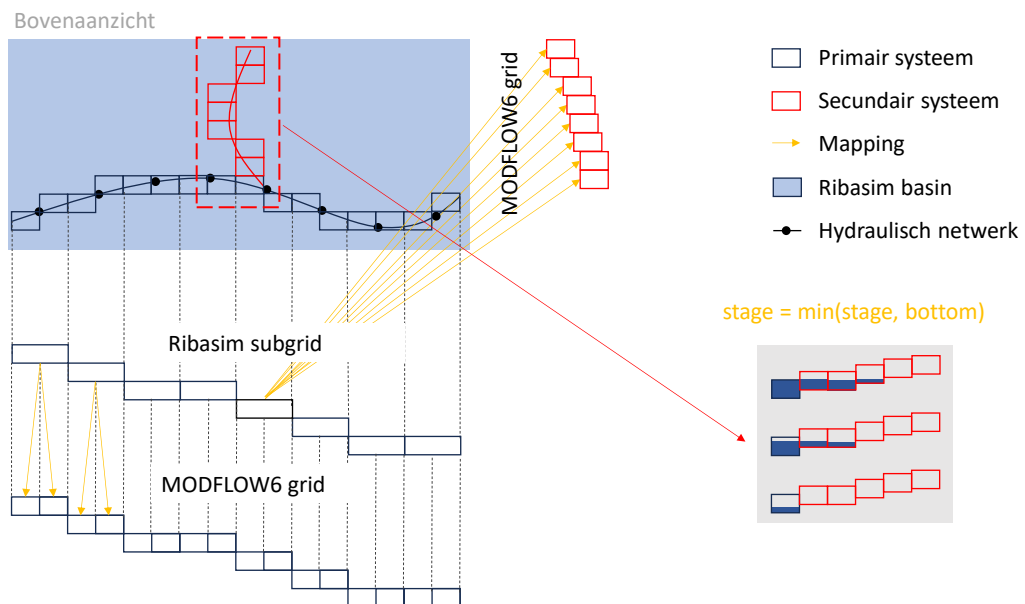
Voor de interactie tussen het oppervlaktewater en grondwater wordt onderscheid gemaakt in een zogenaamde *passieve koppeling* en een *actieve koppeling*.

Bij een passieve koppeling wordt alleen de drainageflux uitgewisseld met de Ribasim basins. Hiervoor kan daarom alleen de MODFLOW DRN-package worden gebruikt. Dit type koppeling wordt toegepast in situaties waarbij water vrij afstroomt naar het lager gelegen hoofdwatersysteem. Verder dient de hoeveelheid berging in dit passieve systeem beperkt te zijn. Bij het wegzakken van de grondwaterstand treedt namelijk geen infiltratie op. Een voorbeeld hiervan zijn ondiepe greppels of buisdrainage welke fysiek boven het peil in het hoofdwatersysteem ligt.

Bij een actieve koppeling worden drainage en infiltratiefluxen uitgewisseld met de Ribasim basins. Aanvullend worden ook de peilen uitgewisseld met de Ribasim subgrid-elementen en MODFLOW RIV- en DRN-waterniveaus. Ribasim interpoleert per tijdstap het Basin-peil naar een ruimtelijk gedistribueerd peil op de subgrid-elementen middels een peilcorrectietabel (zie figuur 5). Dit is de meest complete koppeling omdat de berekende flux schaalt met het peil in de basins. Infiltratie stopt wanneer het peil tot aan de bodem zakt. In peilbeheerste gebieden is deze peilcorrectie 'recht-toe-recht-aan'. In het algemeen zal de correctie '0' zijn tenzij binnen een basin meerdere peilgebieden zijn samengevoegd. Dan heeft elke river-cel de peilcorrectie die bij het erboven gelegen peilgebied hoort.

In vrij-afwaterende gebieden zal deze peilcorrectie de verhanglijn binnen een basin moeten weergeven. Deze verhanglijn kan op verschillende wijzen samengesteld worden. De basis/terugval optie is de aanname dat de verhanglijn overeenkomt met het hoogte model, eventueel gecorrigeerd voor opstuwefecten. De meer geavanceerde optie om deze verhanglijn af te leiden is gebruik te maken van een hydrodynamisch model, waarbij voor verschillende debieten de evenwichtssituatie is doorgerekend.

In het algemeen zal een hydrodynamisch model alleen aanwezig zijn voor de primaire waterlopen. Secundaire waterlopen zouden dan via een additioneel subgrid aangetakt kunnen worden waarbij de aanname wordt gedaan dat het peil in het primaire systeem horizontaal doorgezet wordt naar het secundaire systeem.

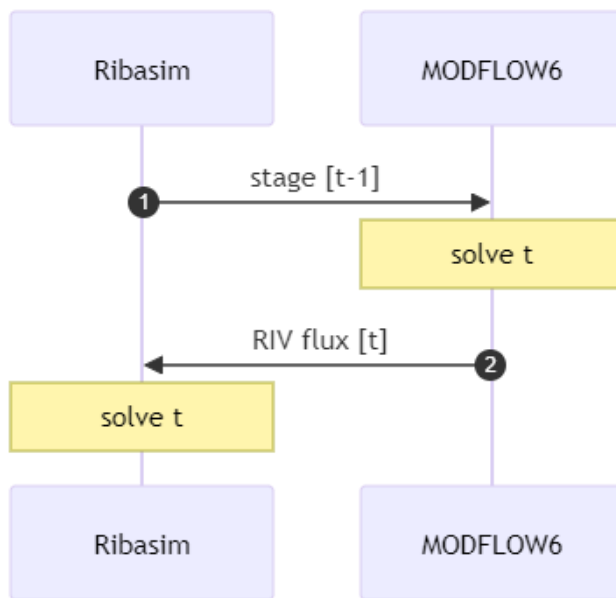


Figuur 5 Ruimtelijke weergave van koppeling Ribasim basin aan Modflow-river-grid via Ribasim-subgrid

3.2 Rekenproces Ribasim-Modflow

Voor de interactie tussen Ribasim en Modflow is gebruik gemaakt van de actuele modelversie, Modflow 6. Ribasim en Modflow hebben een gezamenlijke uitwisselingstijdstap van 1 dag. Intern kunnen ze hun eigen tijdshuishouding hebben met kleinere tijdstappen.

Figuur 6 geeft de huidige data uitwisseling in het gekoppeld rekenproces weer (driver RibaMod). Voor de berekening van tijdstap t wordt eerst de begin waterstand van Ribasim ($t - 1$) doorgegeven aan Modflow. Gegeven deze waterstand berekent Modflow zijn grondwatertoestand en bijbehorende riverflux. Deze wordt uitgewisseld met de gekoppelde Ribasim basins. Vervolgens berekent Ribasim voor tijdstap t zijn eindtoestand. De koppelingprocedure bouwt voort op dezelfde programmatuur voor koppeling tussen Modflow en MetaSWAP die is ontwikkeld binnen iMOD Suite.

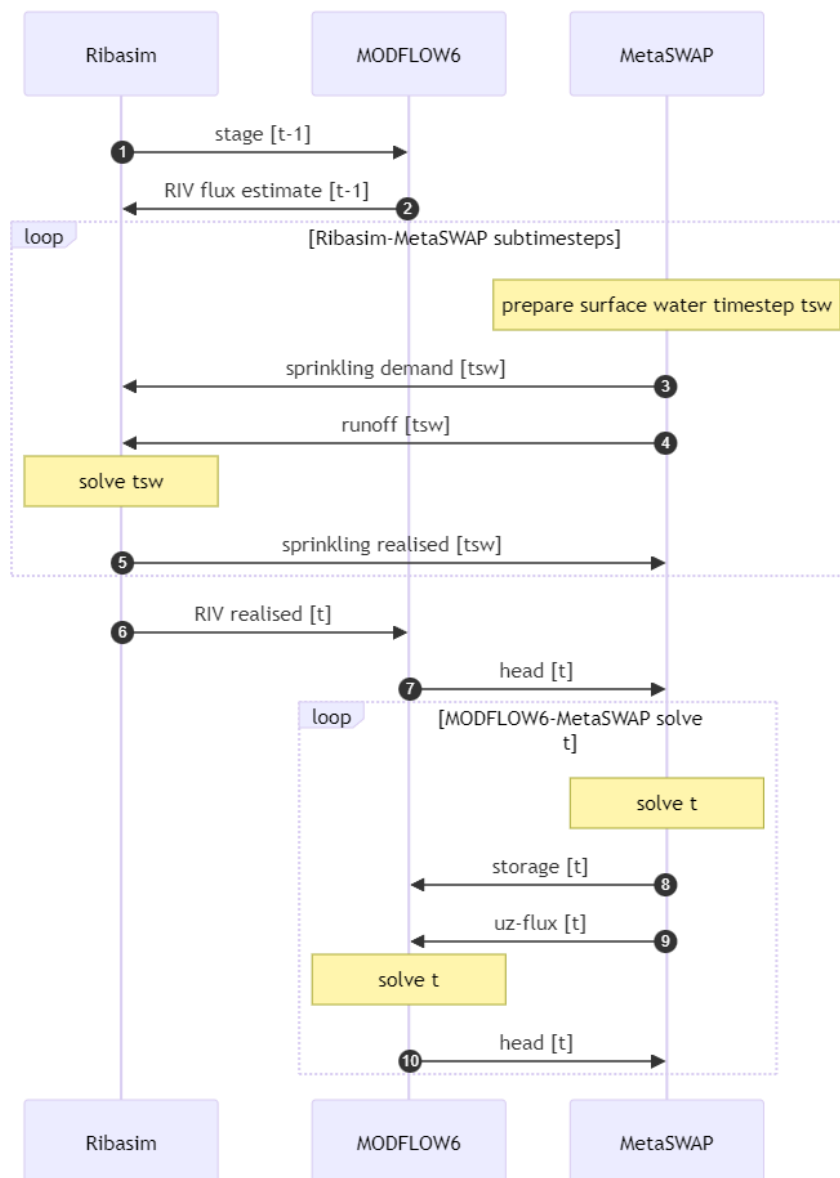


Figuur 6 Rekenproces diagram met uitwisseling Ribasim-Modflow

3.3 Rekenproces Ribasim-Modflow-MetaSWAP

De Ribasim-MetaSWAP-Modflow koppeling is gebaseerd op een predictor-corrector principe. Hiermee wordt geprobeerd om de tijdstap zo veel mogelijk gelijktijdig te zetten, zonder alle componenten op tijdstapniveau in balans te brengen (itereren).

De eerste inschatting is de drainage/infiltratieflex vanuit het grondwater (zie figuur 7). Allereerst worden de peilen (t-1) uitgewisseld van het Ribasim subgrid richting de gekoppelde River en Drainage packages. Vervolgens wordt op basis van de stijghoogte(t-1) een inschatting gedaan van de te verwachte flux voor tijdstap t. Vervolgens kunnen Ribasim en MetaSWAP in dezelfde of een potentieel kleinere tijdstap uitwisselen. In deze uitwisseling wordt de runoff vanuit MetaSWAP uitgewisseld met de Ribasim basins. Optioneel kan ook de berekening vanuit oppervlaktewater, middels een inschatting-correctie cyclus worden uitgewisseld met de Ribasim water-users. Het is van belang dat deze oppervlaktewatertijdstap vanuit MetaSWAP gezien niet langer is dan 1 dag. Wanneer het Modflow model ook een tijdstaplengte van een dag heeft is de relatie dus 1-1. Na de Ribasim – MetaSWAP uitwisseling wordt gekeken of Ribasim de eventuele infiltratievraag vanuit Modflow kan voorzien. Als dit niet het geval is (door bijvoorbeeld droogval gedurende de tijdstap) wordt een correctieterm berekend voor Modflow. Modflow zal namelijk minder infiltratie ontvangen dan initieel was ingeschat. De correctieterm wordt daarom als extra onttrekkingsterm ingebracht in het model. Vervolgens gaan Modflow en MetaSWAP iteratief de grondwatertijdstap zetten. De beregeningshoeveelheid die is vastgesteld i.c.m. Ribasim, wordt hier daadwerkelijk toegekend. Deze grondwater tijdstap kan bijvoorbeeld op decadebasis worden gezet.



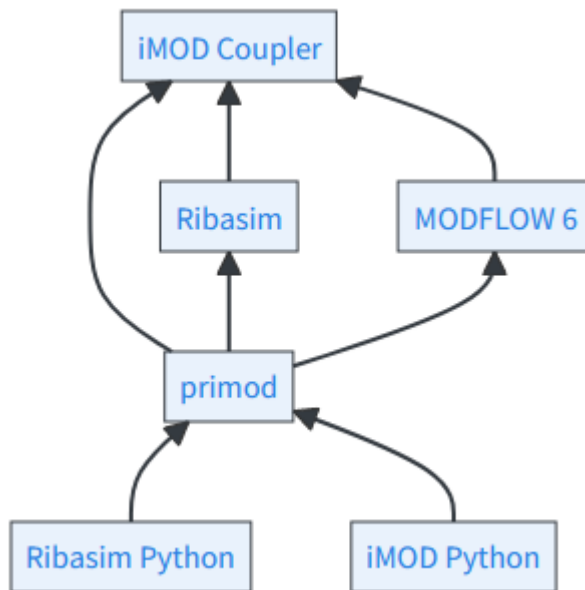
Figuur 7 Rekenproces diagram met uitwisseling Ribasim-Modflow-MetaSWAP

3.4 Koppelingsarchitectuur en tooling

De koppeling zal run-time georkestreerd worden door iMOD Coupler. De iMOD Coupler maakt onderdeel van de nieuwe iMOD lijn (iMOD Suite) en is een framework waarin voor elke koppelingssituatie een specifieke koppelingsdriver wordt ontwikkeld. Details zijn beschreven in: https://deltares.github.io/iMOD-Documentation/coupler_architecture.html

Bij het ontwikkelen van de koppeling is gekozen voor een aanpak waarbij de koppelingstabelfoaraf opgesteld wordt, zodat de run-time berekening, georkestreerd door de iMOD Coupler, zo min mogelijk belast wordt. Figuur 8 visualiseert de componenten die een koppeling gerelateerde rol spelen in deze situatie.

Voor de realisatie van de koppeling moet een geharmoniseerd model gemaakt worden waarbij de Modflow-drainage en river-grid lagen aangesloten worden op de Ribasim netwerk schematisatie. De koppelingsinformatie zal worden voorbereid door PriMod, de preprocessor voor de iMOD Coupler (https://deltares.github.io/iMOD-Documentation/primod_api/).



Figuur 8 Componenten voor gekoppelde modellen

4 Zoutberekening en waterkwaliteit

De berekening voor het oppervlaktewater met Ribasim kan als basis gebruikt worden voor waterkwaliteitsberekening tbv KRW-Verkenner. Hiervoor worden de resultaten van de Ribasim core weggeschreven in een file-format dat direct door Delwaq ingelezen kan worden. De combinatie van Ribasim en Delwaq vervangt hiermee het (hydrologische en waterkwaliteits) rekenhart van de KRW-verkenner. Dit is een off-line koppeling.

Wanneer een Ribasim model succesvol heeft gedraaid met de bovenstaande tabellen, kan via aantal hulpprogramma's de invoer die nodig is om Delwaq te laten draaien worden gegenereerd. De uitvoer van Delwaq kan ook omgezet worden naar een Ribasim compatibel formaat zodat deze als sturing in een Ribasim berekening gebruikt kan worden.

De basis hiervoor is ontwikkeld, maar in het TKI-traject zijn nog geen validatie testen uitgevoerd. Dit concept moet dus in de toekomst verder beproefd worden.

5 Status van eisen en wensen

In de STOWA Meervoudige onderhandse aanbesteding Prototype Oppervlaktewatermodule, TenderNed-345170 is een set functionele eisen en wensen geformuleerd. In onderstaand overzicht is aangegeven of en hoe de code aan deze wensen voldoet.

5.1 Functionele eisen: de minimale functionele eisen:

5.1.1 Eis a: Ruimtelijke waterverdeling en prioritering in watervraag

Toelichting eis: Ruimtelijke waterverdeling en prioritering in watervraag o.b.v. de verdringingsreeks volgens heuristische methode (geen wiskundige optimalisatie): U dient ten minste te kunnen rekenen met uw modelcode/prototype aan de regionale verdringingsreeks. Dat wil zeggen, de verdeling van water binnen een LSW/afvoergebied, gegeven een gelimiteerde wateraanvoermogelijkheid, waarbij het water conform de verdringingsreeks wordt verdeeld tussen de diverse functies en belangen. Een en ander conform de aanpak, zoals geïmplementeerd binnen MOZART in het huidige LHM. U dient tevens aan te kunnen tonen tijdens het project (na gunning) dat uw modelcode/prototype in staat is om op basis van een trigger vanuit het hoofdwatersysteem te gaan rekenen met de regionale verdringingsreeks conform de aanpak, zoals geïmplementeerd binnen de koppeling tussen DM en MOZART in het huidige LHM.

Implementatie: De ruimtelijke verdeling van water, inclusief doorspoeling, peilbeheer en gerealiseerde onttrekkingen, wordt bepaald door het simulatie algoritme op basis van de netwerk definitie, de beschikbare volumes en fluxen en de conditionele sturingsregels. Prioritering van de watervraag (voor onttrekkingen, peilbeheer en doorspoeling) wordt afgehandeld door het allocatie algoritme (wiskundige optimalisatie), waarbij het allocatie algoritme indien nodig de gevraagde onttrekkingen aanpast als invoer voor de waterverdelingssimulatie. Het allocatie algoritme geeft in haar uitvoer bestand zowel watervraag, prioriteit en allocatie weer. Het simulatie algoritme geeft de daadwerkelijke realisatie weer.

Status: Conceptueel zijn alle functionaliteiten in code aanwezig voor de vervanging van deze belangrijke functionaliteiten in MOZART en DM. Suggesties voor verbeteringen in toepassing kunnen waar nodig op de backlog toegevoegd worden voor additionele software ontwikkeling in de nabije toekomst.

5.1.2 Eis b: Sluitende waterbalans

Toelichting eis: Het simuleren van de waterbalans van verbonden oppervlaktewatersystemen per rekenstap bijhouden en sluitend houden, resulterend in een dynamisch verloop van oppervlaktewaterstanden die als input voor Modflow6-MetaSWAP gelden. Sluitend houden van de waterbalans heeft betrekking op het gehele systeem van oppervlaktewater, grondwater en onverzadigde zone;

Implementatie: Het oppervlakte water systeem is een netwerk van bakjes (representatieve hydrologische eenheden) welke via connectorknoppen (kunstwerken of weerstanden) met elkaar verbonden zijn. Meerdere opties zijn beschikbaar om het gewenste gedrag te modelleren. Via een modelkoppeling worden gegevens (fluxen en waterstanden) uitgewisseld met Modflow-MetaSWAP.

Status: Conceptueel zijn alle functionaliteiten in code aanwezig. In release 2024.6.1 was nog geen functionaliteit opgenomen waarin de waterbalansfout in een uitvoerbestand weggeschreven wordt. Dit is toegevoegd in release 2024.7.0. Gestreefd wordt naar een

waterbalans fout <1% voor een toepassing zoals LHM. Indien grote waterbalans fouten geconstateerd worden zullen deze met hoogste prioriteit aangepakt worden binnen NHI of het LHM project. Suggesties voor verbeteringen in toepassing kunnen waar nodig op de backlog toegevoegd worden voor additionele software ontwikkeling in de nabije toekomst.

5.1.3 **Eis c: Geschikt voor normale en droge omstandigheden**

Toelichting eis: Geschikt voor droge (incl. droogval), normale en natte situaties en de overgang van droog naar nat.

Implementatie: In de actieve koppeling met Modflow wordt in geval van droogval de infiltratie stopgezet. Binnen Ribasim zijn 'zachte' landingscondities ingebouwd zodanig dat verdamping, infiltratie, onttrekkingen, pompdebieten en outletdebieten automatisch stoppen als de waterstanden de grenswaarde bereiken.

Status: Conceptueel zijn alle functionaliteiten in code aanwezig. Suggesties voor verbeteringen in toepassing kunnen waar nodig op de backlog toegevoegd worden voor additionele software ontwikkeling in de nabije toekomst.

5.1.4 **Eis d. Geschikt voor hellend terrein en peilbeheerst/polders**

Implementatie: Vrijafwaterend hellend gebied kan gemodelleerd worden door meerder basins onderling te verbinden met weerstand knopen (lineair of Manning). Tevens kan via de peilcorrectie tabel een verhanglijn toegepast worden om een geaggregeerde basin waterstand te vertalen naar een lokaal peil.

Peilbeheerst gebieden kunnen gemodelleerd worden door kunstwerken aan te sturen op basis van waterstanden.

Status: Conceptueel zijn alle functionaliteiten in code aanwezig. Suggesties voor verbeteringen in toepassing kunnen waar nodig op de backlog toegevoegd worden voor additionele software ontwikkeling in de nabije toekomst.

5.1.5 **Eis e. Beschikt over online 2-wegs koppeling via BMI met Modflow6/MetaSWAP**

Implementatie: Modflow, MetaSWAP en Ribasim hebben allemaal de BMI geïmplementeerd. De run-time orkestratie van de koppeling is gerealiseerd in de RibametaMod driver van de iMOD Coupler.

Status: Conceptueel zijn alle functionaliteiten in code aanwezig vanaf Ribasim release 2024.9.0. Testmodellen zijn aanwezig voor deze gecombineerde toepassing, maar aangezien de gezamenlijk conceptuele uitwerking veel tijd in beslag nam is dit nog niet uitgebreid getest in een operationele praktijk toepassing. Als uit deze praktijk toepassing de noodzaak van verbeteringen blijkt worden deze wensen op de backlog toegevoegd voor additionele software ontwikkeling in de nabije toekomst.

5.1.6 **Eis f. Mogelijkheid voor uitwisseling van onttrekkings- en lozingsfluxen**

Implementatie: Gebruikers (onttrekkers) kunnen een fractie van hun onttrekking direct lozen. In het allocatie algoritme kunnen lozingsfluxen in de volgende prioriteit toegekend worden.

Status: Conceptueel zijn alle functionaliteiten in code aanwezig. Suggesties voor verbeteringen in toepassing kunnen waar nodig op de backlog toegevoegd worden voor additionele software ontwikkeling in de nabije toekomst.

5.1.7 Eis g. Stroming in één of twee richtingen

Toelichting eis. Stroming in één of twee richtingen moet mogelijk zijn (onderscheid tussen aanvoer- en afvoersituaties, met aanvoer zowel vanaf bovenstrooms als vanaf benedenstrooms);

Implementatie:

Stroming in één richting kan gemodelleerd worden via een TabulatedRatingCurve, een Pump, een Outlet of een FractionalFlow (verdeelsleutel). Via een weerstandsknoop (LinearResistance of ManningResistance) kan op basis van een verhang stroming in beide richtingen bewerkstelligt worden. Daarnaast kunnen dubbele takken aangelegd worden, met verschillende stroomrichting, voor situaties waar water over kunstwerken aan en afgevoerd wordt.

Status: Conceptueel zijn alle functionaliteiten in code aanwezig. Suggesties voor verbeteringen in toepassing kunnen waar nodig op de backlog toegevoegd worden voor additionele software ontwikkeling in de nabije toekomst. Overwogen wordt de implementatie van de control laag uit te breiden zodat deze de taak van de Fractional Flow knoop kan overnemen aangezien de huidige Fractional Flow implementatie veel impact heeft op de complexiteit van de code..

5.1.8 Eis h. Representatieve ruimtelijk verdeling

Toelichting eis: Ruimtelijke verdeling van het oppervlaktewater moet representatief zijn, dat wil zeggen via een correcte routing met de mogelijkheid voor expliciete sturing via verdeelregels;

Implementatie: Dit is grotendeels een schematisatie vraagstuk. Ruimtelijke verdeling vindt in principe plaats op basis van verdeelregels, , sturing en verhang.

Status: Conceptueel zijn alle functionaliteiten in code aanwezig. Suggesties voor verbeteringen in toepassing kunnen waar nodig op de backlog toegevoegd worden voor additionele software ontwikkeling in de nabije toekomst.

5.1.9 Eis i. Peilcorrectie voor uitwisseling met grondwater

Toelichting eis: Er moet een peilcorrectietabel toegepast kunnen worden die binnen een ruimtelijke eenheid (bijvoorbeeld afwateringseenheid) in staat is om het uitgerekende peil te vertalen naar een gecorrigeerd oppervlaktewaterpeil voor iedere plek binnen die eenheid;

Implementatie: Per tijdstap worden de waterstanden in de Ribasim basins vertaald naar ruimtelijk gedistribueerde subgrid elementen via een peilcorrectietabel. De MODFLOW RIV en DRN elementen zijn voor de uitwisseling van de waterstanden altijd verbonden met dit subgrid. zie paragraaf 3.1. Tooling voor de afleiding van deze peilcorrectietabellen is beschikbaar zolang deze binnen een zelfde peilregime toegepast wordt.

5.1.10 Status: Conceptueel zijn alle functionaliteiten in rekencodes aanwezig. In de pre-processing scripts zijn voor secundaire en tertiaire systemen en situaties waar geen hydrodynamisch model beschikbaar zijn, pragmatische oplossingen op basis van AHN getest en acceptabel bevonden. Wellicht blijkt uit de praktijktoepassingen dat hier behoefte zijn voor verdere uitwerking. Suggesties voor verbeteringen in toepassing kunnen waar nodig op de backlog toegevoegd worden voor additionele software ontwikkeling in de nabije toekomst. **Eis j. Uitvoer variabelen beschikbaar voor waterkwaliteitsberekeningen**

Toelichting eis: Dient uitvoer van volumes, diepten en debieten op alle locaties in het regionale en lokale watersysteem te kunnen genereren, met aandacht voor verschil in verblijftijden (ten behoeve van het onderscheid in haarvaten en doorgaande wateren);

Implementatie: Ribasim levert uitvoer op instantane momenten voor peilen en volumes en gebiedsgemiddelden voor debieten. Uitvoer kan gegenereerd worden op de interne rekentijdstap of op een uitvoer/uitwisselingstijdstap.

Status: Conceptueel zijn alle functionaliteiten in code aanwezig. Koppeling met Delwaq is gerealiseerd. Voor ondersteuning van diffusie in Delwaq zal nog extra uitvoer aangeleverd moeten worden (nat dwarsprofiel en lengte waterlichaam). Suggesties voor verbeteringen in toepassing kunnen waar nodig op de backlog toegevoegd worden voor additionele software ontwikkeling in de nabije toekomst.

5.1.11 Eis k. Uitlegbare resultaten

Toelichting eis: De berekende fluxen en waterstanden dienen te passen binnen, en te kloppen met de fysische eigenschappen van het watersysteem, zodat de resultaten uitlegbaar zijn.

Implementatie: De resultaten worden door een simulatie algoritme berekend op basis van een numeriek rekenschema (zie <https://deltares.github.io/Ribasim/concept/equations.html>) . De modelleur is verantwoordelijk voor een schematisatie die past bij de fysieke werkelijkheid.

Status: Conceptueel zijn alle functionaliteiten in code aanwezig. Suggesties voor verbeteringen in toepassing kunnen waar nodig op de backlog toegevoegd worden voor additionele software ontwikkeling in de nabije toekomst.

5.1.12 Eis l. Moet kunnen rekenen op uur- en dagbasis

Implementatie: Ribasim hanteert een interne tijdstap, welke afhankelijk van solver settings adaptief is. Randvoorwaarden kunnen op dag of uurbasis worden opgegeven. Uitvoer kan worden gegenereerd op een in te stellen tijdstap. De rekenkern zorgt dat deze uitvoer tijdstap opgenomen wordt als interne tijdstap.

Status: Conceptueel zijn alle functionaliteiten in code aanwezig. Suggesties voor verbeteringen in toepassing kunnen waar nodig op de backlog toegevoegd worden voor additionele software ontwikkeling in de nabije toekomst.

5.1.13 Eis m: Eén concept voor peilbeheerst en vrijafwaterend

Toelichting eis. Bij voorkeur één concept voor lumpen uitwerken dat volstaat voor zowel polders als vrij afwaterend gebied, mits dit voldoet aan de minimale functionele eisen. Indien volgens inschrijver meerdere concepten uitgewerkt moeten worden, dan alle concepten afzonderlijk testen met een beschrijving van de voor- en nadelen per concept inclusief een advies voor vrij afwaterend gebied en polders.

Implementatie: Conceptueel wordt uitgegaan van één bakjes-concept en verbindingsknopen die zowel in vrijafwaterend als peilbeheerst gebied kunnen worden ingezet.

Status: Conceptueel zijn alle functionaliteiten in code aanwezig. Suggesties voor verbeteringen in toepassing kunnen waar nodig op de backlog toegevoegd worden voor additionele software ontwikkeling in de nabije toekomst.

5.1.14 Eis n. geschikt voor modelgeneratie

Toelichting eis: Geschikt om een toekomstig te bouwen modelgenerator de volgende functionaliteit mee te kunnen geven. Schematisatie van het oppervlaktewatersysteem moet flexibel en herkenbaar zijn en realistisch binnen de mogelijkheden van de inputdata. Daartoe dient deze binnen de modelgenerator modulair opgebouwd te kunnen worden met keuzevariatie per ruimtelijke eenheid in: rekenstapgrootte, concept voor lumpen, mogelijke stromingsrichtingen, wel of geen waterverdelingsconcept gebruiken en wel of geen bijhouding chloridebalans;

Implementatie: Via het Ribasim_python package (onderdeel van Ribasim) wordt een API geboden om een model vanuit een model generatie script op te bouwen. In TKI kader zijn door Sweco en HKV model generator scripts gebouwd welke op basis van D-Hydro modellen al dan niet (geaggregeerde) Ribasim modellen kunnen maken.

In aanvulling op het Ribasim-python package is ook een modelgenerator voor een Delwaq schematisatie beschikbaar.

Status: Conceptueel zijn de meeste functionaliteiten in code aanwezig om de netwerken voor de fysieke laag te genereren. Voor sturingsregels is nog geen automatische generatie opgezet. Tevens voorzien deze modelgeneratoren niet in het automatisch aanmaken van allocatie knopen met bijbehorende watervraag prioriteiten. Suggesties voor verbeteringen in toepassing kunnen waar nodig op de backlog toegevoegd worden voor additionele software ontwikkeling in de nabije toekomst. De model generator voor een Delwaq-schematisatie (t.b.v. zoutbalans) is opgenomen in de hoofdcode als basis functionaliteit om tracer berekeningen mogelijk te maken. In het kader van het LHM project worden modelgeneratoren (in python) per waterschapsregio ontwikkeld en ontsloten (zie <https://github.com/Deltares/Ribasim-NL/>)

5.2 Toekomstige functionaliteiten

Naast de minimale functionele eisen is er sprake van een set toekomstige aanvullende functionele eisen, waarvoor een visie op haalbaarheid binnen de voorgestelde modelcode/prototype dient te worden uitgewerkt. Het betreft:

Toelichting eis. Beschikt over representatie relevante bergings- en vertragingprocessen. Voor watervoorziening en verdelingsvraagstukken is het noodzakelijk dat water aan- en afvoerroutes herkenbaar zijn en vertraging en berging goed meegenomen kunnen worden, zie ook Bijlage 7: Gijsbers en Barneveld (2016).

Implementatie: Simulatie concept houdt rekening met berging en afvoer gedrag op basis van schematisatie.

Status: Conceptueel zijn alle functionaliteiten in code aanwezig. Suggesties voor verbeteringen in toepassing kunnen waar nodig op de backlog toegevoegd worden voor additionele software ontwikkeling in de nabije toekomst.

5.2.1 Eis b: Anticiperend sturen

Toelichting eis: Moet de waterverdeling anticiperend kunnen sturen over een tijdshorizon (bijv. 46 dagen) t.b.v. tijdige buffering;

Implementatie: de DiscreteControl knoop kan op basis van een look-ahead op een externe tijdserie een stuuractie of setpoint verandering initiëren. Er kan niet anticiperend worden gestuurd op gebeurtenissen binnen het netwerk model.

Status: Conceptueel zijn alle functionaliteiten in code aanwezig. Suggesties voor verbeteringen in toepassing kunnen waar nodig op de backlog toegevoegd worden voor additionele software ontwikkeling in de nabije toekomst.

5.2.2 Eis c. Labelen van uitwisselingsflux met gebruiksdoel (peilbeheer, doorspoeling, onttrekking)

Implementatie: conceptueel worden in de allocatielaag verschillende knooptypen gebruikt voor onttrekking, peilbeheer en doorspoeling, elk met een eigen prioriteit. Op de uitwisselingslocatie met het hoofdnetwerk wordt de gevraagde/gealloceerde flux per prioriteit bijgehouden, niet per gebruiksdoel. Modelleur kan ervoor kiezen om elk gebruiksdoel een eigen prioriteit te geven

Status: Conceptueel zijn alle functionaliteiten in code aanwezig om met de juiste modelleerkeuzes het onderscheid te kunnen maken. Suggesties voor verbeteringen in toepassing kunnen waar nodig op de backlog toegevoegd worden voor additionele software ontwikkeling in de nabije toekomst.

5.2.3 Eis d. Inbouw/aanpassing van maatregelen

Toelichting eis: Beschikt over centrale en overzichtelijke inbouw of aanpassing van maatregelen, bijvoorbeeld maatregelen m.b.t. de waterverdeling in kader van Deltaprogramma Zoetwater. Deze eis komt voort uit de behoefte om op eenvoudige wijze op één plek een ingreep te specificeren, onafhankelijk van datasets waar deze ingreep invloed op heeft. Geldt voor hoofdwatersysteem maar ook voor regionale watersysteem. Modelgeneratoren mogen hier een rol in spelen. Zie ook Bijlage 5: Gijsbers et al. (2020);.

Implementatie: Dit is in principe een schematisatie/model generatie vraag. Er is geen concept van basismodel met gedeeltelijke vervanging van modelparameterisatie op basis van maatregelen.

Status: Conceptueel is in Ribasim (Ribasim_python) geen functionaliteit in de code aanwezig om modelparameterisatie gedeeltelijk te vervangen. Wel kunnen de beschikbare voorbewerkingstools worden aangepast om maatregelen te bouwen. Dit is doorgaans maatwerk. Afhankelijk van de maatregel vereist dit mogelijk ook uitbreiding van het Ribasim_python package met een *update-API* (<https://github.com/Deltares/Ribasim/issues/1599>). Suggesties voor verbeteringen in toepassing kunnen waar nodig op de backlog toegevoegd worden voor additionele software ontwikkeling in de nabije toekomst.

5.2.4 **Eis e: Zoutfluxen op de randen**

Toelichting eis: Moet zoutfluxen op onderrand (kwel) en op koppelingspunten naar extern model kunnen uitwisselen.

Implementatie: Ribasim stelt de tabellen Basin / concentration, Basin / concentration_state, FlowBoundary / concentration en LevelBoundary / concentration beschikbaar om deze stoffen en concentraties in te stellen. Deze dienen als input voor Delwaq berekening.

Status: Beschikbaar in versie 2024.9.0 Validatie is wel nog vereist voor doorontwikkeling naar een volwassen implementatie van de Delwaq koppeling.

5.2.5 **Eis f. Representatieve zoutbalans**

Toelichting eis: Moet een representatieve zoutbalans in het oppervlaktewatersysteem kunnen bijhouden en weergeven;

Implementatie: Een eerste implementatie is beschikbaar waarin de zoutbalans achteraf door Delwaq doorgerekend wordt.

Status: Conceptueel zijn de basis functionaliteiten en tooling in code aanwezig om een aanvullende Delwaq berekening te doen en resultaten weer in Ribasim te gebruiken in een offline koppeling. Validatie is wel nog vereist voor doorontwikkeling naar een volwassen implementatie van de Delwaq koppeling.

5.2.6 **Eis g. Minimaal debiet afhankelijk van zoutconcentratie**

Toelichting eis: Moet minimale debieten afhankelijk kunnen stellen van de zoutconcentratie. De eis is dat niet alleen de verdeelsleutels maar ook minimale debieten afhankelijk kunnen zijn van bijv. een chlorideconcentratie. Dit ten behoeve van het in kunnen bouwen van flexibele maatregelen zoals het instellen en in stand houden van doorspoeling.

Implementatie: Code voorziet niet in deze functionaliteit. Overwogen wordt om een online koppeling met Delwaq te realiseren zodat met behulp van DiscreteControl (of PidControl) direct op zoutconcentraties gestuurd kan worden.

Status: niet beschikbaar. Online koppeling van de modellen is mogelijk, maar dit is een omvangrijke exercitie en nog niet in de middellange termijn planning opgenomen. Aangeraden wordt eerst voldoende ervaring op te doen in de off-line koppeling en dan te besluiten of deze ontwikkeling gewenst is.

5.2.7 **Eis h. online koppeling hydrodynamisch model**

Toelichting eis: Moet online via BMI te koppelen zijn met extern hydrodynamisch model op fysiek aanwijsbare locaties (kunstwerken/natuurlijke uitlaten);

Implementatie: Code voorziet niet in deze functionaliteit. Er is geen koppeling gerealiseerd met een extern hydrodynamisch model. De BMI-implementatie van Ribasim zal uitgebreid moeten worden met meer uitwisselingsvariabelen voor een koppeling met een hydrodynamisch model.

Status: niet beschikbaar. Ontwikkeling van de online koppeling is nog niet in de middellange termijn planning opgenomen. We willen eerst de huidige concepten beproefd zien in realistische cases.

5.2.8 **Eis i: Representatieve aan-, door- en afvoerroutes van stofstromen**

Toelichting eis: Beschikt over accurate representatie van aan-, door- en afvoerroutes van stofstromen (geen kunstmatige menging of teleportatie);

Implementatie: Hydrologische routing is op simulatiebasis waarbij de schematisatie leidend om als hydrologische randvoorwaarden te dienen voor een waterkwaliteitsberekening in Delwaq. Vanuit de beschikbare concepten is er geen noodzaak om in de schematisatie een situatie met kunstmatige menging of teleportatie op te nemen.

Status: Conceptueel zijn alle functionaliteiten in code aanwezig. Suggesties voor verbeteringen in toepassing kunnen waar nodig op de backlog toegevoegd worden voor additionele software ontwikkeling in de nabije toekomst.