

Betreft Bevindingen Landelijke Pilot op functionele eisen Ribasim
Project HL-P23013 TKI oppervlaktewatermodule NHI
Van HydroLogic
Aan Rijkswaterstaat
Datum 1 mei 2024

1 Introductie

In dit memo zijn de bevindingen beschreven die zijn opgedaan in de Landelijke Pilot binnen het TKI oppervlaktewatermodule NHI. De bevindingen zijn beschreven in relatie tot de functionele eisen die aan het begin van het TKI project zijn opgesteld voor het testen van de nieuwe modelsoftware Ribasim. De beschreven bevindingen en getrokken conclusies zijn gebaseerd op modelresultaten die verkregen zijn met Ribasim versie v2024.6.1. Onder iedere functionele eis zijn use cases gegeven in een tabel die horen bij deze specifieke functionele eis binnen het hoofdwatersysteem. In deze tabel staat ook aangegeven of de use case is uitgewerkt of niet, met daarbij een verwijzing naar het onderliggende basismodel dat gebruikt is voor het testen van de functionele eis. De schematisaties van de gebruikte basismodellen zijn gegeven in Bijlage A.

De functionele eisen zijn opgesteld met de focus op het hoofdwatersysteem en zijn daarom ook in deze setting getest. Het is belangrijk om te realiseren dat sommige functionele eisen ook van toepassing kunnen zijn op het regionale systeem. De test en bevindingen die in de Landelijke pilot zijn uitgevoerd en opgedaan, zijn toegespitst op de toepassing van Ribasim in het hoofdwatersysteem en gelden niet zonder meer op regionale modellen. Sommige opgestelde eisen zijn meer algemene functionele eisen die getest zijn voor de modelsoftware en zullen daarom ook van toepassing zijn in een andere setting. Een voorbeeld van een meer algemene functionele eis is bijvoorbeeld de mogelijkheid tot het opleggen van randvoorwaarde, dit is toegepast in modellen voor het hoofdwatersysteem maar is net zo goed toepasbaar voor bijvoorbeeld een regionaal systeem.

2 Functionele Eisen

1. Mogelijkheid om een externe forcering op te leggen in de vorm van een debiet of een waterstand met een chlorideconcentratie.

Type	Locatie	Use case	Use case specifiek uitgewerkt
Randvoorwaarden	Lobith	Bij Lobith komt een variabel debiet het hoofdwatersysteem binnen met een bijbehorende waterstand.	Ja (Figuur 2 in Bijlage A)

Randvoorwaarden	Afsluitdijk	Inkomende zoutlast.	Nee
Randvoorwaarden	IJmuiden	Inkomende zoutlast.	Nee
Randvoorwaarden	IJmuiden	Zie sturing kunstwerk - IJmuiden.	Nee
Randvoorwaarden	Noordzee	Waterstand, getijde, chloride.	Nee
Randvoorwaarden	Haringvlietsluizen	Zie sturing kunstwerk - Haringvlietsluizen.	Nee
Randvoorwaarden	Maas	Variabele rivierafvoer / waterstand.	Nee
Randvoorwaarden	Zuid Nederland	Uitwisselpunten met België.	Nee

Waterstanden en afvoeren kunnen als randvoorwaarde of externe forcering worden opgelegd aan het model. Chlorideconcentraties kunnen nog niet als externe forcering worden opgelegd.

Een externe forcering kan aan het model worden toegevoegd met behulp van een level boundary en flow boundary knoop. Beide knoop types bieden de mogelijkheid om zowel een vaste als variabele waarde over de tijd aan de knoop mee te geven. Het gebruik van een externe forcering is getest in verschillende test case modellen, bijvoorbeeld in een model rondom stuw Driel waarbij een variabel debiet van de Rijn bij Lobith is toegevoegd aan een flow boundary knoop, en waarbij benedenstreams waterstanden over de tijd zijn opgelegd als andere randvoorwaarden. Chlorideconcentraties kunnen op het moment van schrijven niet als randvoorwaarde worden opgelegd in het Ribasim model als externe forcering waarmee het model vervolgens verder kan rekenen.

2. Afvoerverdeling op een splitsingspunt moet correct kunnen worden gemodelleerd welke mogelijk varieert bij veranderende afvoeren en aanpasbaar is voor verschillende bodemliggingen.

Type	Locatie	Use case	Use case specifiek uitgewerkt
Hydrodynamica splitsingspunt	Pannerden	Het water dat bij Pannerden komt wordt verdeeld over de Waal en het Pannerdenschkanaal. Deze verdeling is afhankelijk van het debiet en van de bodemligging, welke met de tijd kan veranderen.	Ja (Figuur 2 en Figuur 3 in bijlage A)
Hydrodynamica splitsingspunt	IJsselkop	Afvoerverdeling splitsingspunt variërend bij afvoer.	Ja (Figuur 2 en Figuur 3 in bijlage A)
Sturing kunstwerk	sluizen Julianakanaal	Correcte waterverdeling vanuit Maas naar Brabantse kanalen, Julianakanaal en Grensmaas via verdeelwerk.	Nee
Hydrodynamica splitsingspunt	Maas	Waar de Maas Nederland binnen komt bevinden zich meerdere splitsingspunten waarover het water zich verdeelt. De verdeling van het water is afhankelijk van de afvoer.	Nee
Hydrodynamica	ARK Betuwepand	Correcte waterverdeling in Betuwepand waar water meerdere kanten op kan stromen (Hagstein/Lek, Irenesluizen/Noordpand, Waal/Bernhardsluizen).	Nee

Getest en is mogelijk op verschillende manieren.

Deze functionele eis is een samenvatting van meerdere functionele eisen met hetzelfde doel:

- Afvoerverdeling splitsingspunt variërend bij afvoer.
- Afvoerverdeling splitsingspunt variërend bij afvoer (aanpasbaar voor verschillende bodemliggingen).
- Het correct nabootsen van de debietverdeling op verschillende splitsingspunten/kunswerken bij variërende Maas afvoeren (4h).
- Het in het model correct verdelen van water over meerdere uitstroompunten onder verschillende omstandigheden (4h)

Verschiedende opties voor het simuleren van de afvoerverdeling op de splitsingspunten (Pannerdenschekop en IJsselkop) zijn getest. De afvoerverdeling kan op een natuurlijke manier worden gesimuleerd door gebruik te maken van Manning knopen. Dit is uitgewerkt in een test case rondom Driel, waarin de Manning-coëfficiënten in de schematisatie zijn gekalibreerd voor het lage afvoerdomein bij Lobith (760 - 1700 m³/s), en waarbij Driel is geschematiseerd als pomp. De gewenste verdelingen kunnen in dit afvoerdomein worden gerealiseerd door de ruwheid (Manning's ruwheid coëfficiënt (n)) in de riviertakken te kalibreren. Hierbij is gebruik gemaakt van een fijne ruimtelijke resolutie van het watersysteem. Wanneer een grovere ruimtelijke resolutie wordt gebruikt (bijvoorbeeld 1 bakje per splitsingspunt) is de gewenste verdeling minder goed te kalibreren. De mate waarin de afvoerverdeling dan te kalibreren is, is niet specifiek onderzocht. In de uitgevoerde test cases is gebruik gemaakt van 1 set coëfficiënten voor het hele afvoerbereik en is er niet gekalibreerd per Lobith debiet. Veranderingen in de afvoerverdeling als gevolg van veranderingen van de bodemligging is niet onderzocht.

Het is ook getest om de afvoerverdeling hard op te leggen met behulp van fracties die worden meegegeven aan fractional flow knopen op de splitspunten. Hierbij zijn de fracties op de splitsingspunten (Pannerdenschekop en IJsselkop) aangepast afhankelijk van de afvoer bij Lobith door een discrete control knoop te gebruiken. Het veranderen van de afvoerverdeling met fractional flow knopen op de splitspunten werkt naar behoren met de uitgevoerde statische berekeningen met een vast inkomend debiet bij Lobith. Dynamische berekeningen met een variabel inkomend debiet bij Lobith en een discrete sturing van de fracties van de fractional flow knopen afhankelijk van het debiet bij Lobith kunnen ook uitgevoerd worden met Ribasim (Figuur 3 in Bijlage A). Om de afvoerverdeling met een Discrete control knoop te sturen bij een dynamisch debiet, is echter een groot aantal discrete intervallen nodig. Het wordt aanbevolen om een continue sturingsknoop te implementeren waarbij een afvoerverdeling met een tabel kan worden geïmplementeerd op een vergelijkbare manier als de Tabulated rating curve.

3. Bij afvoerverdeling splitsingspunt rekening houden met mogelijke backwater curves.

Type	Locatie	Use case	Use case specifiek uitgewerkt
Hydrodynamica splitsingspunt	Pannerden	De afvoerverdeling bij Pannerden wordt beïnvloed door het beheer bij Driel. Meer doorlaten bij Driel gaat bijv. deels ten koste van debiet over de Waal.	Ja (Figuur 1 en Figuur 2 in Bijlage A)
Hydrodynamica splitsingspunt	IJsselkop	Afhankelijkheid van sturing Driel.	Ja (Figuur 1 en Figuur 2 in Bijlage A)
Hydrodynamica splitsingspunt	RMM	De waterstand op de Noordzee (door stormopzet/zeespiegelstijging) heeft effect op de afvoerverdeling in het benedenstroomse rivierengebied.	Nee

Getest en werkt naar behoren maar is afhankelijk van de schematisatie keuze. Hiervoor is het benodigd om te werken met ruwheidsknopen en een fijne ruimtelijk resolutie.

Wanneer de afvoerverdeling op de splitspunten wordt geschematiseerd met fractional flow knopen, hebben benedenstroomse veranderingen geen bovenstroomse effecten. Als de splitspunten worden geschematiseerd met Manning knopen dan werken benedenstroomse veranderingen wel door naar bovenstroomse riviertakken. Als voorbeeld is er een test case uitgewerkt rondom Driel, waarin de Manning-coëfficiënten in de schematisatie zijn gekalibreerd en Driel is geschematiseerd als pomp, met de focus op het lage afvoerdomein bij Lobith (Figuur 1 in Bijlage A). Deze test case laat zien dat wanneer in plaats van 15 m³/s, 30 m³/s door Driel wordt gepompt, 62% van deze extra 15 m³/s ten koste gaat van de afvoer naar de Waal en 38% ten koste gaat van de afvoer naar de IJssel. Deze impact van de backwater curve komt overeen met de huidige kennis/vuistregel waarbij het extra debiet over de Nederrijn voor 2/3^e ten koste gaat van het debiet over de Waal en voor 1/3^e ten koste gaat van het debiet over de IJssel.

Bij het testen van deze functionele eis is gebruik gemaakt van een model waarbij de rivieren met een fijne resolutie zijn geschematiseerd (zie Figuur 1 en Figuur 2 in Bijlage A). Door deze fijne resolutie sluit de hydrodynamica van het model goed aan bij de praktijk. Wanneer een grovere resolutie wordt gebruikt, zal het effect van een backwatercurve naar verwachting minder nauwkeurig worden gemodelleerd. Dit is echter niet getest.

4. Mogelijkheid voor uitwisseling van onttrekkings- en lozingsfluxen (4f).

Type	Locatie	Use case	Use case specifiek uitgewerkt
Inlaten	Landelijk	Er vindt uitwisseling plaats tussen het landelijke en regionale hoofwatersysteem (zowel door onttrekkingen als door lozingen).	Ja (Figuur 4 in Bijlage A)

Eenvoudig getest en is mogelijk. Het wordt aangeraden om meer tests uitvoeren in complexere use cases waarbij dit wordt toegepast in combinatie met een regionaal systeem.

De uitwisseling is op een eenvoudige manier getest in een model van de Nederrijn tussen stuw Driel en stuw Amerongen. Water wordt onttrokken met een pomp uit een extern bakje dat ook weer verbonden is met het hoofdwatersysteem door middel van een pomp. Om dit externe bakje op peil te houden, wordt water aangevoerd vanuit het hoofdwatersysteem met een pomp en stopt de onttrekking, deze sturing wordt gerealiseerd door gebruik te maken een discrete control knoop die kijkt naar het peil van het externe bakje en op basis daarvan de pomp voor onttrekking en de pomp voor aanvoer aanstuurt.

Op de hierboven beschreven manier is het mogelijk om water van het hoofdwatersysteem te onttrekken naar een regionaal systeem. Dit is echter een eenvoudige test met een enkele rivier en een enkele onttrekking. Hierbij is geen gebruik gemaakt van een user knoop op het netwerk, maar van een randvoorwaarde die een watervraag representeert. Het wordt aangeraden om hier verdere tests uit te voeren om complexere situaties met meerdere rivieren en onttrekkingen/lozingen te modelleren waarbij ook user knopen worden ingezet om een watervraag/lozing te modelleren.

5. Capaciteit van inlaten afhankelijk laten zijn van verval.

Type	Locatie	Use case	Use case specifiek uitgewerkt
Inlaten	Landelijk	Capaciteit van inlaten zijn afhankelijk van waterstand rivieren - deze moet voldoende nauwkeurig zijn.	Nee
Inlaten	RMM	Inlaten onder vrij verval afhankelijk van grootte van de zoetwaterinlaatvensters en verval. Getijde effect in waterstand speelt hierbij een rol.	Nee
Sturing kunstwerk	Volkeraksluizen	Capaciteit sluizen beperkt door verval.	Nee
Sturing kunstwerk	Haringvlietsluizen	Capaciteit uitstroomdebiet begrensd door verval.	Nee

Getest bij test case rondom de Bernhardsluizen (Figuur 6 in Bijlage A), capaciteit kan afhangen van het verval worden gemodelleerd. Meer testen van de robuustheid en mate van kalibratie wordt aangeraden.

Deze functionele eis is getest in een use case rondom de Bernhardsluizen om doormiddel van een Manning weerstandsknoop de capaciteit afhankelijk te laten zijn van verval. Door gebruik te maken van een Manning knoop, is het debiet tussen twee bakjes afhankelijk van het verval tussen de twee bakjes. Met het doorstroomprofiel en de ruwheidswaarde van de Manning knoop, kan de capaciteit bij een verval worden gekalibreerd. In deze test case is aangetoond dat met een of meerdere Manning knopen een variërende capaciteit kan worden gemodelleerd. Het wordt wel aangeraden om hier meer tests uit te voeren om de verifiëren of de capaciteit accuraat kan worden gemodelleerd voor de hele range aan verval dat over een kunstwerk kan plaatsvinden.

Naast de optie van een Manning knoop zijn er ook andere opties voor deze functionele eis:

- Gebruik van een Lineaire weerstandsknoop in plaats van een Manning weerstandsknoop. Hierbij wordt de weerstand van de knoop gedefinieerd door een enkele ruwheidswaarde wat het kalibreren van de capaciteit eenvoudiger maakt. De lineaire weerstandsknoop heeft ook de optie om gelimiteerd te worden in doorvoer door middel van de "max_flow_rate" kolom in Ribasim voor deze knoop. Het implementeren van een Lineaire weerstandsknoop is niet getest. Het wordt aangeraden om deze knoop voor de huidige functionele eis wel te testen.
- Gebruik van een Tabulated rating curve. Hierbij is geen kalibratie nodig en kan heel nauwkeurig voor een bovenstrooms peil een capaciteit worden meegegeven. De keerzijde is dat bij een Tabulates rating curve geen rekening wordt gehouden met het benedenstroomse peil. Wanneer van deze knoop gebruik wordt gemaakt, moet de aanname worden gedaan dat het benedenstroomse peil constant is.

6. Sturing van een kunstwerk op basis van meerdere conditionele statements die resulteren in een type sturing met de instelparameters.

Type	Locatie	Use case	Use case specifiek uitgewerkt
Sturing kunstwerk	Driel	Stuwcomplex bestaat uit verschillende onderdelen: vizierbogen, cilinderschuiif, scheepvaartsluis, vistrap. Sturing op waterstand met minimum doorvoerdebiet (aanpasbaar). Bijv. in bereik 1200-1600 ook afhankelijk van Pr. Irenesluizen vraag. Capaciteit doorvoerdebiet afhankelijk van verval.	Ja (Figuur 2 in Bijlage A)
Randvoorwaarden	Afsluitdijk	Afhankelijk van peil IJsselmeer, met minimum uitstroomdebiet (aanpasbaar). Capaciteit uitstroomdebiet begrensd door verval.	Ja (Figuur 8, 9 en 10 in Bijlage A)
Sturing kunstwerk	Sluizen Houtribdijk	uitwisseling tussen Markermeer, IJsselmeer en Randmeren t.b.v. peilbeheer in de verschillende meren; uitwisseling in twee richtingen.	Nee
Sturing kunstwerk	Sluizen Randmeren	uitwisseling tussen Markermeer, IJsselmeer en Randmeren t.b.v. peilbeheer in de verschillende meren; uitwisseling in twee richtingen.	Nee
Sturing kunstwerk	Irenesluizen	Combinatie van schutverliezen (basis) en inlaten (bij benedenstroomse watervraag). Voor laatste sturing: op basis van minimumdebiet in monding ARK. Aandachtspunt bij max stroomsnelheid Pr. Bernhardsluizen overschreden. Of bij bepaalde waterstand Waal.	Nee
Sturing kunstwerk	IJmuiden	Uitgaand debiet, afhankelijk van waterstand ARK-NZK en minimum	Nee

		debiet monding ARK. Capaciteit uitstroomdebiet begrensd door verval.	
Sturing kunstwerk	Oranjesluizen	Sturing op chloride Markermeer, en doorvoerdebiet op kunnen leggen.	Nee
Sturing kunstwerk	Hagestein	Stuwcomplex bestaat uit verschillende onderdelen: vizierbogen, cilinderschuiif, scheepvaartsluis, vistrap. Sturing op waterstand, debiet en chloride monding Lek. Aandachtspunt bij max stroomsnelheid Pr. Bernhardsluizen overschreden. Of bij bepaalde waterstand Waal.	Nee
Sturing kunstwerk	Volkeraksluizen	Sturing op waterstand en chloride VZM.	Nee
Sturing kunstwerk	Haringvlietsluizen	Debiet afhankelijk van Lobith en waterstand Moerdijk. In toekomst evt. ook o.b.v. chloride meting.	Nee

Het gewenste gedrag van de kunstwerken kan met behulp van verschillende knopen worden gerealiseerd. Het type sturing is voor elk kunstwerk uniek, en in de uitgevoerde use cases is slechts een selectie van de kunstwerken specifiek geschematiseerd. Op basis van het gewenste gedrag kan een configuratie van verschillende knopen worden geschematiseerd om het gedrag van het kunstwerk te modelleren, waarbij Ribasim voldoende flexibiliteit biedt om verschillend gedrag te modelleren. Om deze flexibiliteit in mogelijkheden meer intuïtief te maken voor gebruikers is het belangrijk om voldoende voorbeeld modellen beschikbaar te stellen voor gebruikers, het liefst ook in een toegepaste setting (bijvoorbeeld het Nederlandse watersysteem). Het huidige gebruik van truth/false statements voor de sturing is niet direct intuïtief en het kan overwogen worden om de opzet van complexe sturing ook mogelijk te maken door middel van een flow chart (conform D-HYDRO) via bijvoorbeeld de QGIS plugin.

Complexe sturing stuw Driel:

Stuw Driel kent meerdere sturingsregimes op basis van het Lobith debiet. Onder een Lobith debiet van 1700 m³/s wordt er slechts een beperkt debiet van ca 30 m³/s doorgelaten. Tussen de 1700 en 2600 m³/s gaat Driel langzaam open waardoor er geleidelijk meer water richting de Nederrijn stroomt. Vanaf de 2600 m³/s staat Driel volledig. Deze dynamiek kan op meerdere manieren worden gemodelleerd.

Fractional flow

Zoals eerder beschreven, is het mogelijk om met Ribasim de afvoerverdelingen bij de splitspunten hard op te leggen in zowel statische- als dynamische simulaties, wat overeenkomt met de functionaliteit van DM met het gebruik van verdeelsleutels. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een Fractional flow knoop in combinatie met een discrete control knoop die stuurt op basis van het debiet bij Lobith.

Deze sturingsmethode zou makkelijker te implementeren zijn wanneer er naast de Discrete control knoop ook een Continuous control knoop zou zijn waarbij automatisch wordt geïnterpoleerd tussen de gedefinieerde intervallen die de afvoerverdeling beschrijven. Op die manier is het niet nodig om voor elke fractie een aparte sturing control state te definiëren.

Parallel

Het is ook mogelijk om de verschillende sturingsregimes van Driel te modelleren met behulp van verschillende knopen op parallelle takjes. Deze knopen worden aangestuurd met een discrete control knoop om te bepalen wanneer welke knoop actief is

In het domein van afvoeren bij Lobith $>2600 \text{ m}^3/\text{s}$ kan gebruik worden gemaakt van een takje met een Rating curve om het debiet afhankelijk van het peil te modelleren. Deze Rating curve kan niet worden doorgetrokken voor het domein onder de $2600 \text{ m}^3/\text{s}$ omdat in het afvoerdomein van $1700\text{-}2600 \text{ m}^3/\text{s}$ van de Rijn bij Lobith de peilen bij Driel afnemen terwijl de afvoer door Driel oploopt. Dit komt omdat de vizierbogen van stuw Driel open gaan vanaf onder. Ribasim biedt momenteel niet de mogelijkheid om deze afwijkende rating curve mee te geven.

In het domein van afvoeren bij Lobith $<2600 \text{ m}^3/\text{s}$ kan gebruik worden gemaakt van een Pump knoop die het debiet door Driel schematiseert. Deze de capaciteit van deze pomp wordt aangestuurd met behulp van een Discrete control. Om nauwkeurig de juiste afvoeren door Driel in het afvoerdomein van $500\text{-}2600 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Lobith te simuleren is met deze schematisatie een uitgebreide logica met veel statements nodig. Met Ribasim is het mogelijk om nauwkeurig deze afvoeren door Driel mee te geven in kleinere pompintervallen wat de overgang tussen de intervallen minder abrupt maakt, de hoeveelheid truth states wordt in dit geval wel uitgebreider. Met Ribasim is het ook mogelijk om de sturing van de pomp op te knippen in grotere pompintervallen waarbij minder truth states nodig zijn, echter zorgt dit er wel voor dat de overgang tussen de intervallen abrupter is wat resulteert in grotere sprongen in gesimuleerde afvoeren en peilen. Ook hierbij geldt dat een Continuous control knoop de sturing van de pomp gemakkelijker te implementeren maakt.

Manning

Een andere optie die niet specifiek is uitgewerkt zou zijn om Driel te schematiseren met verschillende parallelle takken met Manning knopen, waarbij, afhankelijk van de afvoersituatie bij Lobith, meer of minder Manning knopen open staan om de afvoer door Driel te reguleren. Hetzelfde kan ook gedaan kunnen worden met parallelle takken met lineaire weerstandsknopen, waarbij de afvoer van elke knoop kan worden beperkt door een maximale afvoer te specificeren (max_flow_rate kolom). Deze opties zijn nog niet specifiek getest voor de sturing van stuw Driel. Hierbij zou ook een uitgebreidere kalibratie nodig zijn om de juiste capaciteit door de verschillende Manning knopen te modelleren.

Sturing afsluitdijk:

Bij de afsluitdijk geldt ook een complexe sturing die afwijkt van de sturing bij Driel. De sturing bij de afsluitdijk zorgt ervoor dat het beoogde peil op het IJsselmeer wordt gehandhaafd. Het beoogde peil op het IJsselmeer is echter een functie van de tijd in plaats van een functie van de afvoer.

PID

Om te evalueren of sturing over de tijd mogelijk is, is een test case opgezet rondom het IJsselmeer. Water op het IJsselmeer kan bijvoorbeeld worden afgevoerd door middel van een pomp die wordt aangestuurd met een PID controller (Figuur 8 in Bijlage A). De PID controller in Ribasim heeft de mogelijkheid om het gewenste streefpeil op het IJsselmeer

nauwkeurig te realiseren, waarbij variërende streefpeilen over de tijd mee gegeven kunnen worden wat het dus mogelijk maakt om verschillende opzet strategieën over de tijd te modelleren. Een aandachtspunt bij de Afsluitdijk is dat de capaciteit niet onbeperkt is. Wanneer er meer aanvoer is dan kan worden afgevoerd, neemt in de praktijk het peil van het IJsselmeer toe. De pomp knoop kan begrensd worden in de afvoercapaciteit door middel van een minimale of maximale afvoercapaciteit die niet overschreden kan worden door de PID controller. Een pomp knoop kan echter niet begrensd worden in afvoercapaciteit afhankelijk van een verval tussen twee bakjes. Wanneer het peil in het IJsselmeer toeneemt, neemt ook de afvoercapaciteit toe. Met een PID controller, kan deze variatie in capaciteit niet worden gemodelleerd, en om de afvoercapaciteit van een pomp te begrenzen door verval zal er dus gekozen moeten worden voor een andere manier van schematiseren door bijvoorbeeld gebruik te maken van een ander knoop type zoals een rating curve knoop of een lineaire weerstandsknoop.

Rating curve

Het is ook mogelijk om de afvoer vanuit het IJsselmeer te sturen over de tijd op basis van een rating curve knoop waarbij onder het streefpeil geen water meer wordt afgevoerd (of alleen een doorspoeldebiet om verzilting tegen te gaan) en boven het streefpeil een bepaalde rating curve geldt (gebruikt model in Figuur 10 in Bijlage A). Dit maakt het mogelijk om de afvoer capaciteit realistischer te begrenzen op basis van de peilen op het IJsselmeer en het verwachte verval over de Afsluitdijk. Hierbij wordt de capaciteit van het spuien ingeschat op basis van de waterstand op het IJsselmeer en een verwachte (gemiddelde) buitenwaterstand. De capaciteit van het spuien kan op dit moment niet worden gemodelleerd op basis van een verschil in waterstand over een kunstwerk.

7. Voor een stuw de mogelijkheid een beveiliging in te bouwen zodat deze "open" gaat bij een negatief verhang.

Type	Locatie	Use case	Use case specifiek uitgewerkt
Sturing kunstwerk	Driel	Stuw Driel gaat open bij negatief verhang.	Nee
Sturing kunstwerk	Pr. Bernhardsluizen	Open bij negatief verval (H.Waal<H.ARK Betuwepand). Beperkte doorvoer mogelijk bij gesloten PBS.	Ja (Figuur 5 in Bijlage A)

Werkt nog niet. Werkt wel met de aanname dat het peil aan één kant van het kunstwerk constant is.

Op het moment van schrijven is het niet mogelijk om te sturen op een peilverschil met een discrete control knoop. Het is wel mogelijk om te sturen op een enkele waterstand, en dus het openen bij een negatief verhang kan geïmplementeerd worden als het peil in het te vergelijken bakje constant is of constant wordt aangenomen. Dit is getest in een model rondom een stukje van de Waal en de Prins Bernhardsluizen, waarbij een vast peil van 3m+NAP is ingesteld op het ARK, en waarbij het peil op de Waal varieert over de tijd. Zodra het peil van de Waal onder de 3m+NAP zakt, is de verbinding tussen de Waal en het

ARK (Prins Bernardsluizen) open en fluctueren de bakjes op het ARK mee met het peil op de Waal.

Het zou een goede toevoeging zijn om te kunnen sturen op basis van de som of het verschil tussen meerdere locaties. Naast het sturen op een peilverschil tussen twee locaties zouden ook complexere vergelijkingen tussen meer locaties mogelijk zijn met deze toevoeging, waarbij bijvoorbeeld verschillen in debieten of andere variabelen gebruikt kunnen worden voor een specifiek type sturing van een kunstwerk.

8. In de dynamiek tussen verschillende bakjes rekening houden met een mogelijke backwater curve.

Type	Locatie	Use case	Use case specifiek uitgewerkt
Hydrodynamica	IJssel	De waterstand op het IJsselmeer heeft effect op de waterstand op de IJssel. Tot hoe ver bovenstrooms en hoe extreem dit effect is, is afhankelijk van de rivierafvoer.	Nee
Hydrodynamica	RMM	De waterstand op de Noordzee (door stormopzet/zeespiegelstijging) heeft effect op de waterstand in het benedenstroomse rivierengebied. Tot hoe ver bovenstrooms en hoe extreem dit effect is, is afhankelijk van de rivierafvoer.	Nee

Verwacht dat het werkt naar behoren maar is afhankelijk van de schematisatie keuze.

De specifieke use case waar de waterstanden op de IJsselmeer doorwerken naar de waterstanden op de IJssel is niet uitgewerkt maar verwacht vergelijkbare resultaten als beschreven in functionele eis 3.

9. Op (grote) wateren een verlies meenemen als gevolg van verdamping.

Type	Locatie	Use case	Use case specifiek uitgewerkt
Randvoorwaarden	IJsselmeer	Verdamping op het IJsselmeer	Nee

Niet specifiek getest maar is een standaard eigenschap van een basin knoop.

Verdamping op het IJsselmeer is niet specifiek getest maar de verdamping component is een van de standaard waterbalans termen die mee gegeven kan worden aan de eigenschappen van de basin knoop en wordt getest in de unit tests van de software.

10. Moet een representatieve zoutbalans in het oppervlaktewatersysteem kunnen bijhouden en weergeven (5F).

Type	Locatie	Use case	Use case specifiek uitgewerkt
Hydrodynamica	IJsselmeer	Zout water dat via de sluizen het IJsselmeer binnen komt, wordt of weer uitgespoeld, of verspreidt zich over het IJsselmeer.	Nee

Nog niet beschikbaar in Ribasim

De zoutbalans zit op dit moment nog niet in Ribasim. Voor Ribasim komt er een koppeling met DELWAQ voor verzilting.

11. Communicerende inlaten zodat de watervraag van een regionaal gebied kan worden voorzien.

Type	Locatie	Use case	Use case specifiek uitgewerkt
Inlaten	Linge	Als regionaal watersysteem uit meerdere inlaatpunten kan worden gevoed is er een bepaalde volgordelijkheid. Wanneer bijvoorbeeld 1 inlaatpunt niet volledig kan worden benut vanwege een lagere waterstand in het hoofdwatersysteem, vindt aanvulling plaats vanuit andere inlaatpunten komen. Voorbeeld hiervan is de Linge met inlaatpunten uit Pannerdens Kanaal, ARK en Nederrijn.	Nee

Niet getest

12. Sturing van een kunstwerk zodat een variabele (waterstand/debiet) constant wordt gehouden.

Type	Locatie	Use case	Use case specifiek uitgewerkt
Sturing kunstwerk	Amerongen	Sturing op bovenstroomse waterstand (zie uitwerking sturing in PPT, PID).	Ja (Figuur 4 in Bijlage A)

Getest en werkt naar behoren.

Deze functionele eis is getest in een model van de Nederrijn tussen stuw Driel en stuw Amerongen. Met een variabel inkomend debiet door Driel kan de waterstand op de Nederrijn tussen stuw Driel en stuw Amerongen op een peil van 6m+NAP worden gehouden door gebruik te maken van een PID controller knoop.

De sturing op een bovenstroomse waterstand is ook onderzocht in een test case rondom het IJsselmeer waarbij een PID controller is gebruikt die de pomp capaciteit van een afvoerpomp aanstuurt op basis van de waterstand op het IJsselmeer. De PID controller in Ri-basim heeft de mogelijkheid om het gewenste streefpeil op het IJsselmeer nauwkeurig te realiseren, waarbij variërende streefpeilen over de tijd mee gegeven kunnen worden en het dus mogelijk maakt om verschillende opzet strategieën over de tijd te realiseren

13. Stroming in één of twee richtingen moet mogelijk zijn (4g).

Type	Locatie	Use case	Use case specifiek uitgewerkt
Hydrodynamica	Amsterdam-Rijnkanaal	Op het ARK-Betuwepand stroomt het water twee kanten op afhankelijk van de situatie.	Ja
Sturing kunstwerk	stuwen en sluizen Maas	Het schutproces gaat om grote(re) hoeveelheden water vanwege een groot verval over de sluizen icm met soms lage Maasdebieten. Voor peilhandhaving in alle panden zijn retourpompen geïnstalleerd.	Nee

Getest en werkt naar behoren.

Deze functionele eis is getest in een model rondom een stukje van de Waal en de Prins Bernardsluizen, waarbij een vast peil van 3m+NAP is ingesteld op het ARK, en waarbij het peil op de Waal varieert over de tijd. Zodra het peil van de Waal onder de 3m+NAP zakt, gaat de verbinding tussen de Waal en het ARK (Prins Bernardsluizen) open en volgen de basins op het ARK het fluctuerende peil op de Waal. In deze situatie stroomt het water ook vanaf het ARK naar de Waal doordat de verbinding geschematiseerd is met een Manning knoop. Als het peil boven de 3m+NAP is op de Waal is de verbinding gesloten en wordt er alleen een minimale hoeveelheid water afgevoerd vanaf de Waal naar het ARK door middel van een pomp. Deze test case laat zien dat het water in beide richtingen kan stromen afhankelijk van de geïmplementeerde sturing en de schematisatie keuze.

14. Mogelijkheid om een zoutconcentratie op een locatie op te leggen op basis van (Q-Cl) relaties die zijn afgeleid met andere modellen en/of metingen.

Type	Locatie	Use case	Use case specifiek uitgewerkt
Sturing kunstwerk	Hagestein	Bij verzilting van de monding van de Lek wordt er meer water doorgelaten om de zoetwaterbuffer op de Lek in te stellen via Hagestein en verdergaande verzilting van de Lek te voorkomen.	Nee
Sturing kunstwerk	KWA(+)	Bij verzilting van de monding van de Hollandsche IJssel wordt er meer water doorgelaten via de KWA(+) route om de zoetwaterbuffer op de HIJ in te stellen en	Nee

		verdergaande verzilting van de Hollandsche IJssel te voorkomen.	
Hydrodynamica	RMM	Achterwaartse verzilting bij stormopzet icm lage rivierafvoeren.	Nee

Er kan worden gestuurd op basis van externe chlorideseries. Sturen op basis van Q-cl relaties is niet getest maar er wordt verwacht dat dit kan.

In andere uses cases is aangetoond dat gestuurd kan worden op basis van een Lobith debiet. Zie bijvoorbeeld functionele eis 2 en 6. Op eenzelfde manier kan ook een kunstwerk zoals Hagestein of de KWA worden gestuurd op een gemodelleerd debiet waarbij de knikpunten van de sturing worden bepaald op basis van bekende Q-cl relaties. Dit is niet specifiek getest maar er wordt verwacht dat dit mogelijk is.

Naast een Q-cl relatie is het ook mogelijk om een daadwerkelijke chlorideconcentratie mee te geven aan het model om te gebruiken bij de sturing van een kunstwerk of de KWA. Met een extern model kan bijvoorbeeld de zoutbalans worden berekend op basis van de waterverdeling. De chloride tijdreeks op kritieke locaties (bijvoorbeeld Krimpen) kan worden meegegeven aan Ribasim. Vervolgens kan een sturing worden geïmplementeerd op basis van deze externe chlorideserie. Deze sturing op een externe tijdseries is getest in een test case rondom het IJsselmeer (model in Figuur 9 en Figuur 11 in Bijlage A). Op een losgekoppelde level boundary kan een tijdseries mee worden gegeven. Deze externe tijdserie kan bestaan uit waardes van 0, 1, 2 etc. om verschillende sturingsregimes aan te duiden of hier kan een chloride tijdserie van een extern model aan worden meegegeven. Vervolgens kunnen verschillende knoop types, zoals een pomp of een PID controller worden aangestuurd op basis van deze externe tijdseries. Het is dus ook mogelijk om kunstwerken te sturen op basis van een zoutseries door middel van een omweg om deze zoutserie mee te geven aan een level boundary knoop.

15. het in het model kunnen toevoegen van een nieuw gemaal / of aanpassen bestaand gemaal (5d).

Type	Locatie	Use case	Use case specifiek uitgewerkt
Maatregel	Maas-Waalkanaal	Situationele aanvoer vanuit de Waal naar de Maas via een gemaal in het Maas-Waalkanaal als maatregel kunnen simuleren.	Nee

Geen specifieke test voor uitgevoerd, maar dit is mogelijk met Ribasim en getest in een andere use cases.

Deze specifieke use case is niet getest maar het aansturen van een gemaal op basis van bepaalde condities is mogelijk met een discrete control knoop om hiermee een knoop actief of niet actief te maken en, wanneer actief, te bepalen welke type sturing er geldt. Dit is getest in verschillende andere use cases bijvoorbeeld zoals beschreven in de functionele eis 6 voor de sturing van stuw Driel. Daarnaast kan aan een bestaand model extra knopen (zoals gemalen) worden toegevoegd.

16. Beschikt over representatie relevante bergings- en vertragsprocessen (5A).

Type	Locatie	Use case	Use case specifiek uitgewerkt
Looptijd/reactietijd	Landelijk	Het water dat bij Lobith binnen komt is niet binnen een dag in de Nieuwe Waterweg. Afhankelijk van de afstand en de tijdstap duurt het enkele tijdstappen voor het water heel Nederland is doorgestroomd.	Nee

Niet getest

17. Ruimtelijke waterverdeling en prioritering in watervraag o.b.v. de verdringsreeks volgens heuristische methode (4A).

Type	Locatie	Use case	Use case specifiek uitgewerkt
Inlaten	ARK	Wanneer de watervraag in het ARK groter is dan geleverd kan worden via de Irenesluizen (fysieke of kwantitatieve beperkingen) wordt er in de watervraag geprioriteerd aan de hand van de verdringsreeks. Dit is op het gehele hoofdwatersysteem van toepassing.	Nee.

Niet getest, maar verwacht dat hier mogelijkheden liggen met de user knoop in Ribasim.

18. Moet kunnen rekenen op uur- en dag basis (4L).

Type	Locatie	Use case	Use case specifiek uitgewerkt
Settings		In het hoofdwatersysteem zijn verschillende processen van belang op uur en op dag basis. Dit geldt zowel voor de hydrodynamische processen (getij/inlaatvensters) als voor menselijke ingrepen (sturing).	Ja

Getest en werkt naar behoren

De tijdschaal kan worden beïnvloed door het meegeven van de randvoorwaarden. Met de standaard solver instellingen bepaald Ribasim zelf de benodigde tijdstappen voor de simulatie, wanneer nodig kan de tijdstap ook specifiek worden aangepast afhankelijk van de toepassing. Met de standaard solver instellingen wordt op dit moment het

peil en de berging in een basin weggeschreven op dezelfde tijdschaal als de rekentijd-stap. Voor de stroming tussen de knopen kan een specifiek tijdsinterval gekozen worden waarbij de gemiddelde stroming over dit tijdsinterval vervolgens wordt weggeschreven als output. Door deze flexibele mogelijkheden in solver instellingen kan hetzelfde ook worden gedaan op bijvoorbeeld dag- of decade basis. In verschillende test-cases is het model opgesteld met forcering op zowel dag- en uur basis en in beide gevallen kan het model worden doorgerekend.

19. Moet de waterverdeling anticiperend kunnen sturen over een tijdshorizon (5B).

Type	Locatie	Use case	Use case specifiek uitgewerkt
Sturing kunstwerk	Afsluitdijk	Bij de Afsluitdijk wordt, afhankelijk van de verwachte Lobith afvoer en de huidige situatie op het IJsselmeer, anticiperend gestuurd om bijvoorbeeld het IJsselmeerpeil op te zetten.	Ja

Gedeeltelijk getest en werkt gedeeltelijk.

Binnen Ribasim kan anticiperend worden gestuurd op al bekende reeksen. Hierbij gaat het om reeksen die worden meegegeven als randvoorwaarden. Dit kan een randvoorwaarde zijn die in connectie staat met het model, zoals een debietrandvoorwaarde bij Lobith, maar dit kan ook een niet aangesloten randvoorwaarde zijn zoals de chloride reeks in functionele eis 14. Binnen een Ribasim simulatie kan niet anticiperend worden gestuurd op modeluitkomsten. Het is bijvoorbeeld niet mogelijk om het uitzakken van het IJsselmeerpeil 30 dagen van te voren aan te zien komen en de sturing hier op aan te passen.

Anticiperend sturen is mogelijk door gebruik te maken van een Discrete control knoop die kijkt naar een randvoorwaarde en een bepaalde vooruitziende horizon heeft (look_ahead functie). Zo kan er bijvoorbeeld worden gestuurd op het Lobith debiet dat over een aantal dagen plaats zal vinden.

Anticiperend sturen is ook mogelijk door gebruik te maken van voorbereekte datareeksen. Er kan bijvoorbeeld voorafgaand aan een simulatie worden geclassificeerd welke jaren 'droge jaren' zijn op basis van de randvoorwaarden. Deze classificatie in bijvoorbeeld een 0 en een 1 kan aan een niet aangesloten level boundary worden meegegeven (zie Figuur 9 in bijlage A). Vervolgens kan een Discrete control knoop worden ingesteld om op basis van deze voorbereekte datareeks een kunstwerk te sturen. Zo kan het peil van het IJsselmeer in een droog jaar een hoger streefpeil krijgen dan in een normaal of een nat jaar.

20. Het in het model kunnen toevoegen van een nieuw gemaal in combinatie met aangepaste sturing bij de Irenesluizen en Bernhardsluizen (5d).

Type	Locatie	Use case	Use case specifiek uitgewerkt
Maatregel	ARK	ARK-route naar het Markermeer als maatregel implementeren.	Nee

Niet specifiek getest, maar dit is mogelijk met Ribasim en getest in andere use cases.

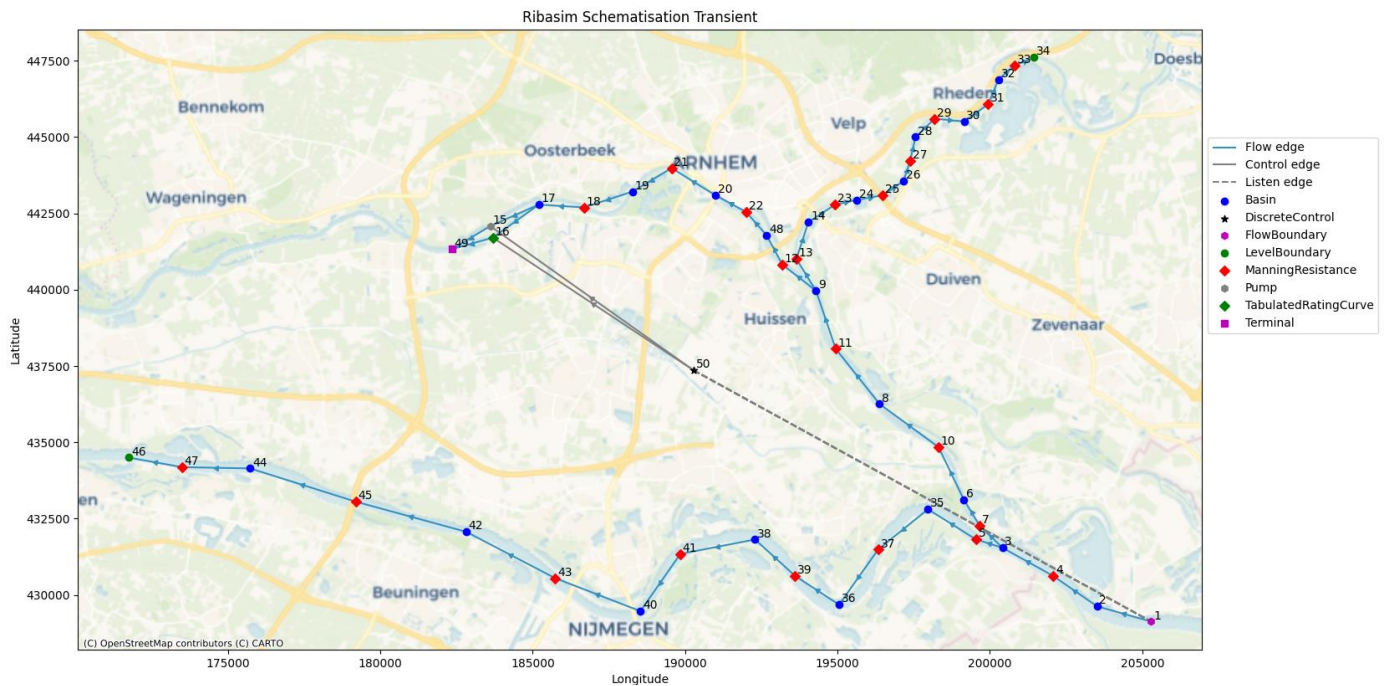
Deze specifieke use case is niet getest, maar het aansturen van een gemaal op basis van bepaalde condities is mogelijk met een discrete control knoop. Met de discrete control knoop kan een andere knoop actief of inactief worden gemaakt en, wanneer actief, kan worden bepaald welke type sturing van toepassing is. Dit is getest in verschillende andere use cases, zoals bijvoorbeeld beschreven in functionele eis 6 voor de complexe sturing van stuw Driel.

Bijlage A Ribasim model schematisaties

Tussen de haakjes in de onderschriften van de figuren staat de verwijzing naar de Folders waar de weggeschreven modellen te vinden zijn. Voor de modellen opgebouwd in de nieuwe API volstaan dezelfde namen alleen is hier de extensie: “_NIEUWEAPI” aan de folder naam toegevoegd.



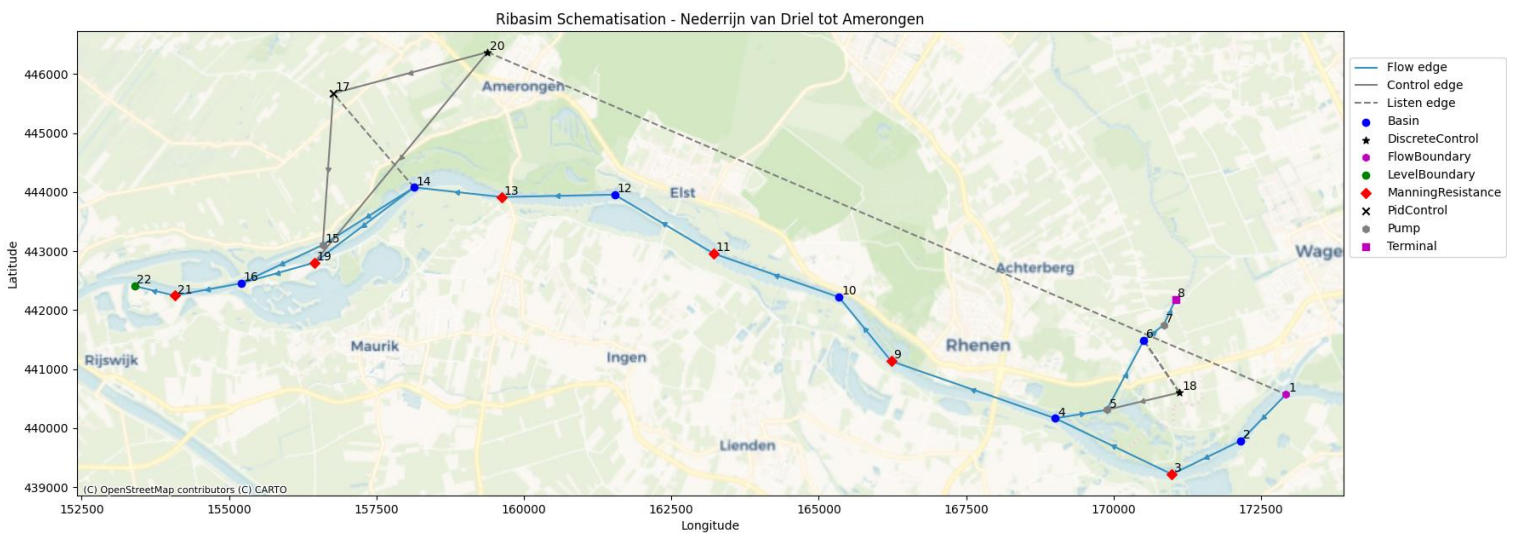
Figuur 2: Model schematisatie Driel statisch (model: Drielmodel_splitsingspunten_statisch)



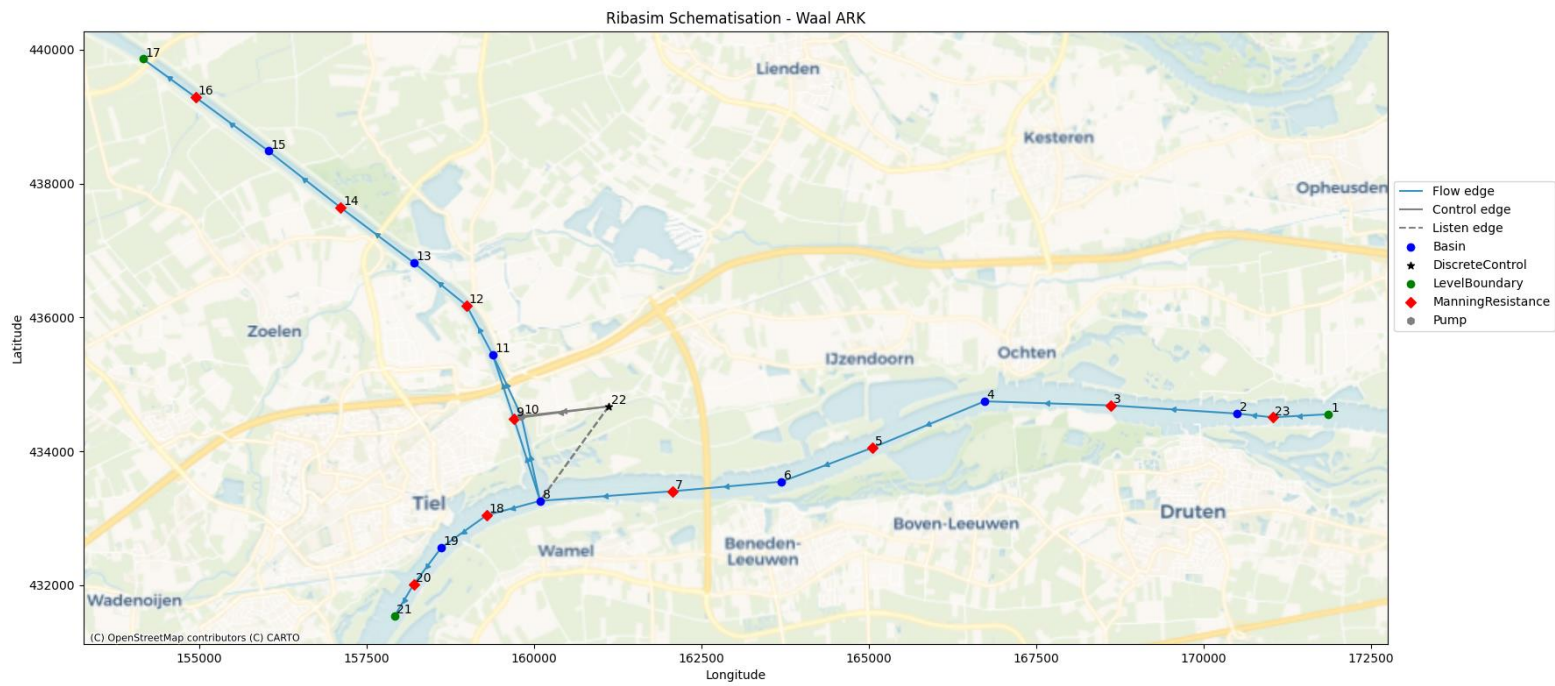
Figuur 1: Model schematisatie Driel dynamisch (modellen: Drielmodel_splitsingspunten_dynamisch_6pomp_intervallen, Drielmodel_splitsingspunten_dynamisch_21pomp_intervallen & Drielmodel_splitsingspunten_dynamisch_IntervallenvanLSM)



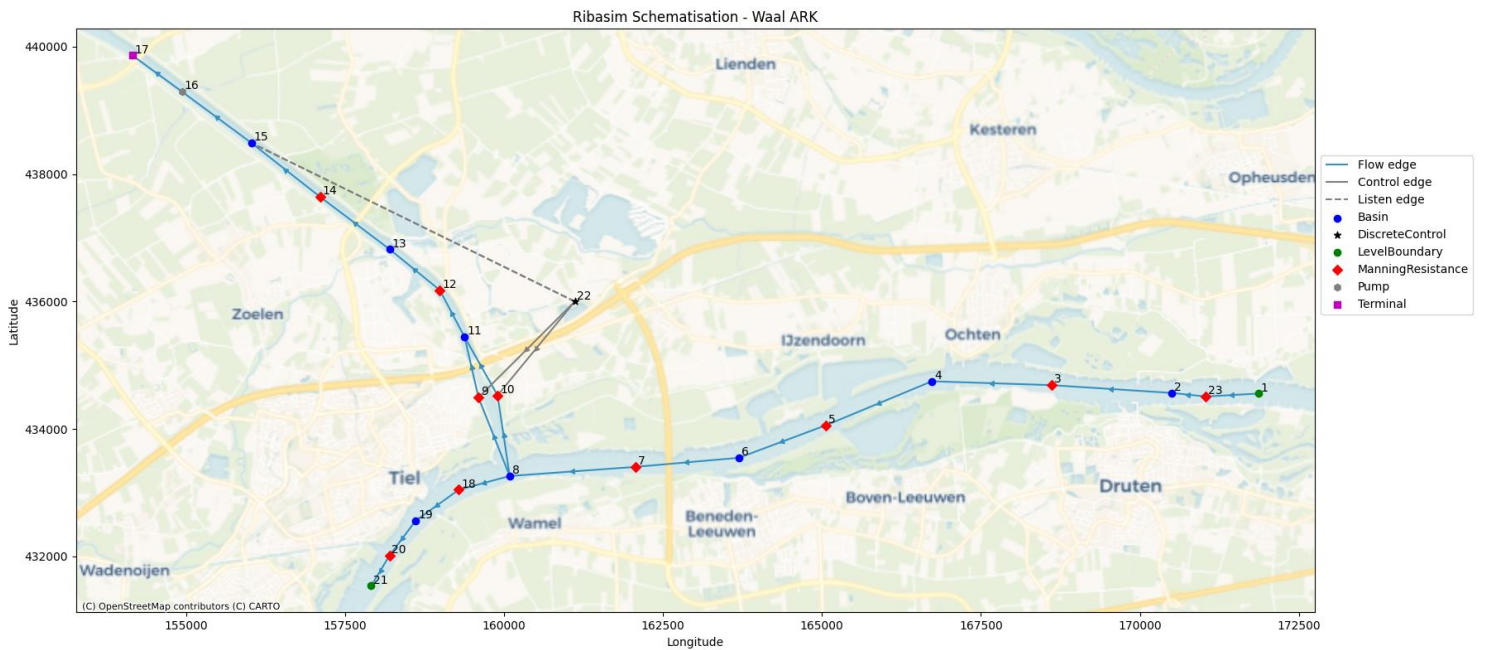
Figuur 3: Model schematisatie Driel met fractional flow knopen op de splitspunten (modellen: Driel-model_FRACTIONALFLOWsplitsingspunten_statisch & Drielmodel_FRACTIONALFLOWsplitsingspunten_dynamisch).



Figuur 4: Model schematisatie Nederrijn tussen stuw Driel en stuw Amerongen met als parallelen tak naast de PID aangestuurde pomp een Manning knoop (model: Driel_Amerongen_model_Manning)



Figuur 5: Model schematisatie Waal - ARK (model: Waal_ARK_TestCase)

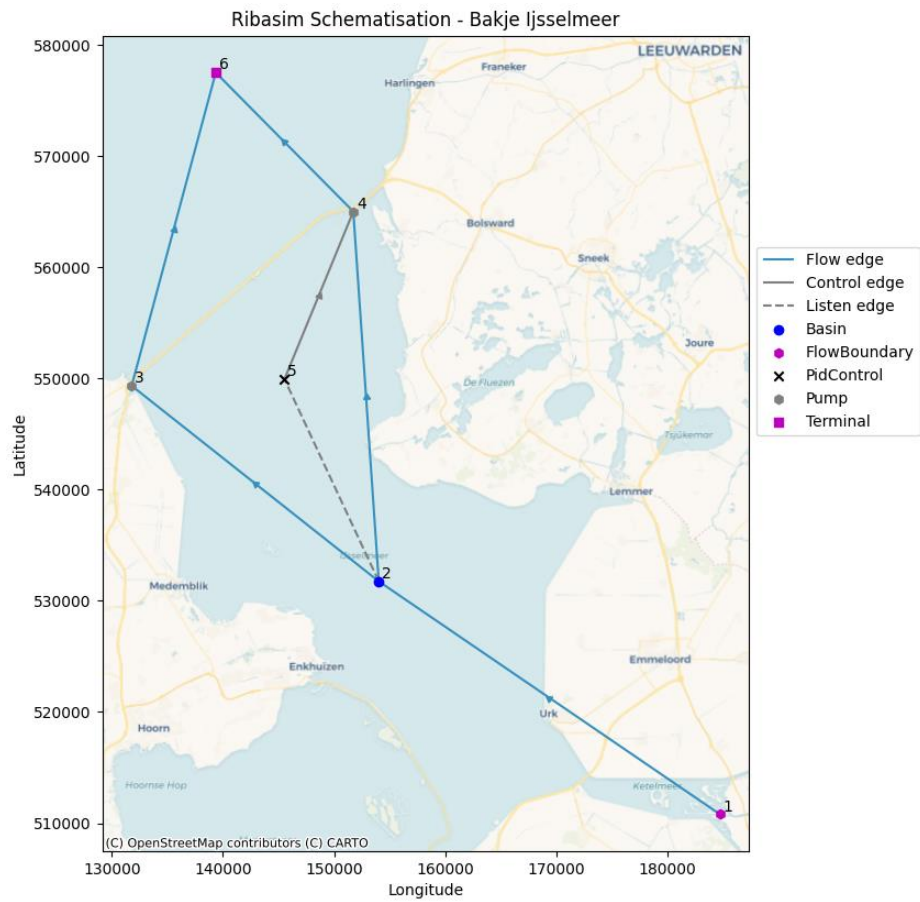


Figuur 6: Model schematisatie Waal - ARK (model: Waal_ARK_2_manning_dynamisch_peil).

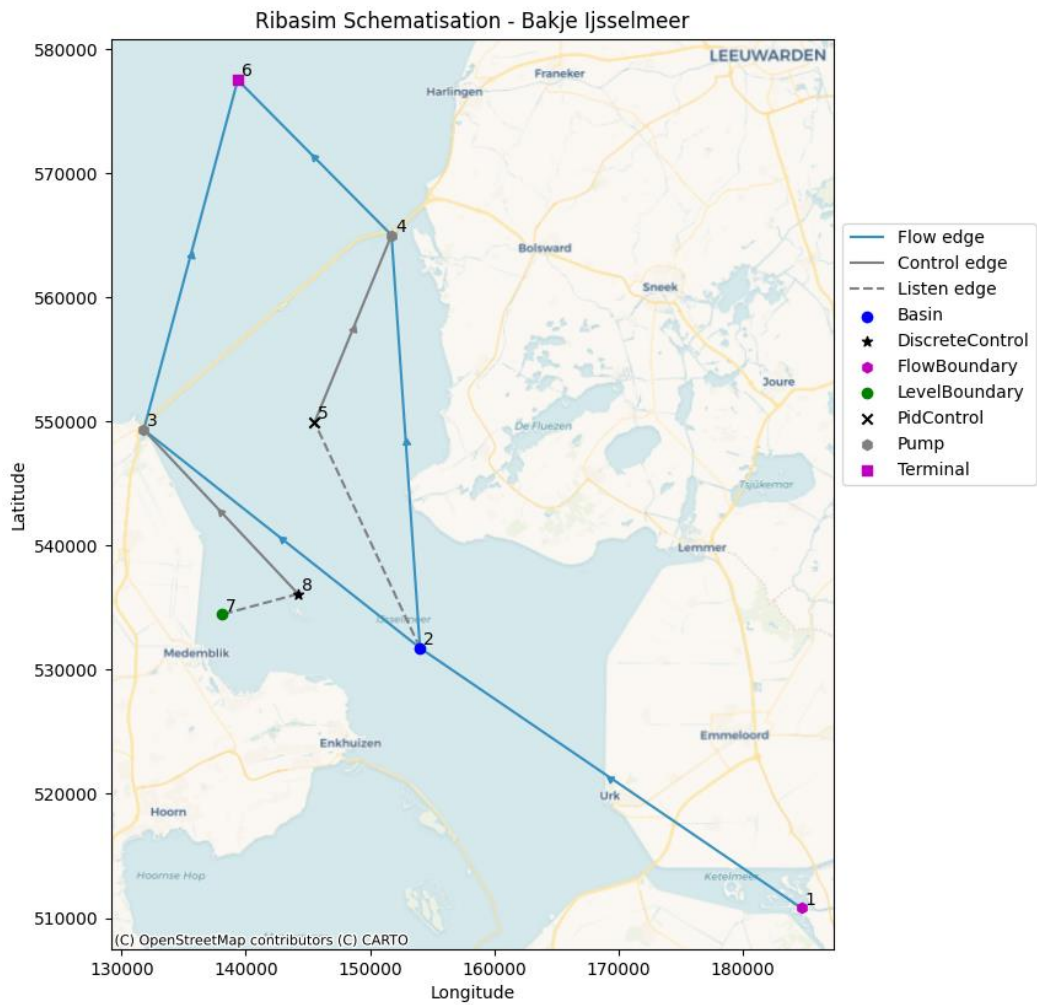
Ribasim Schematisation - Maas Bommelerwaard



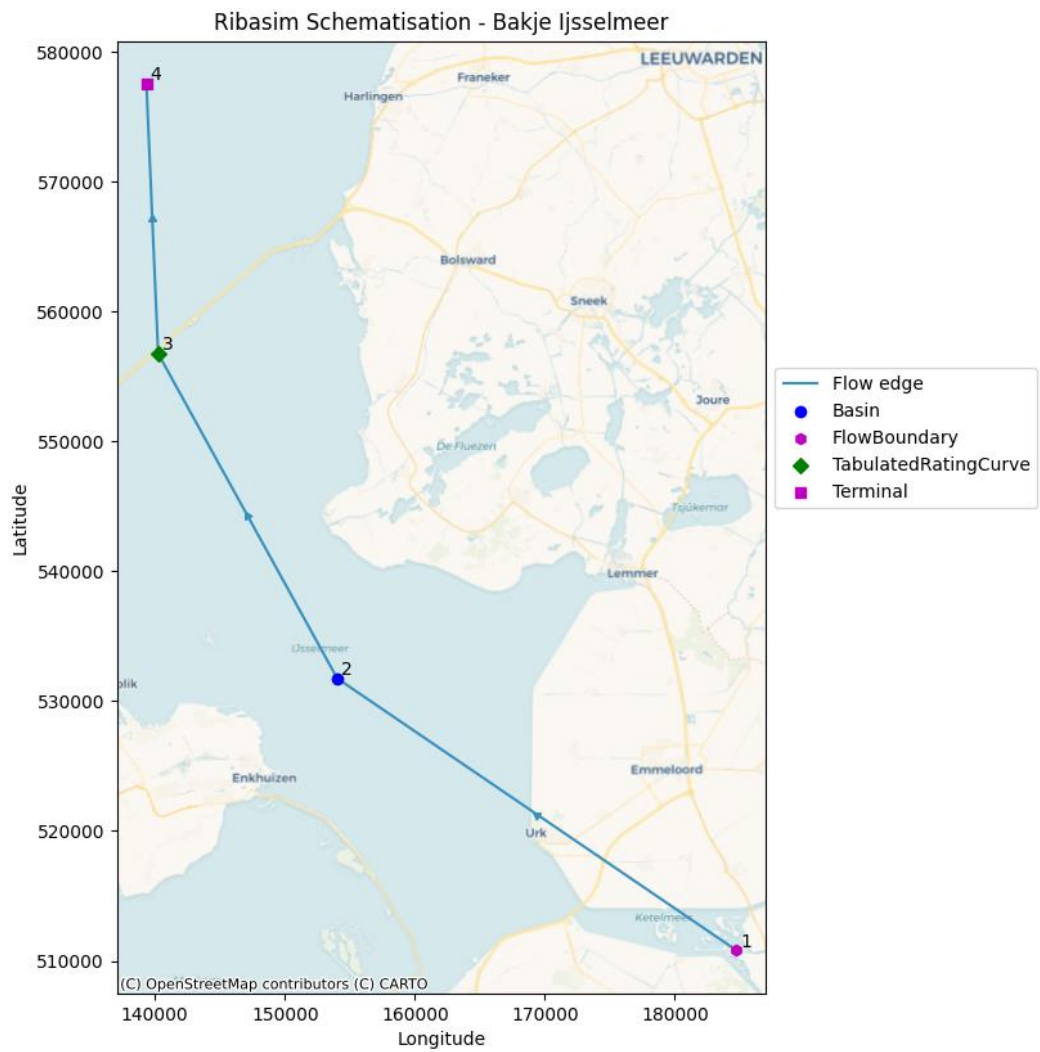
Figuur 7: Model schematisatie hoofdwatersysteem Maas rondom Bommelerwaard (model: Maas_Bommelerwaard).



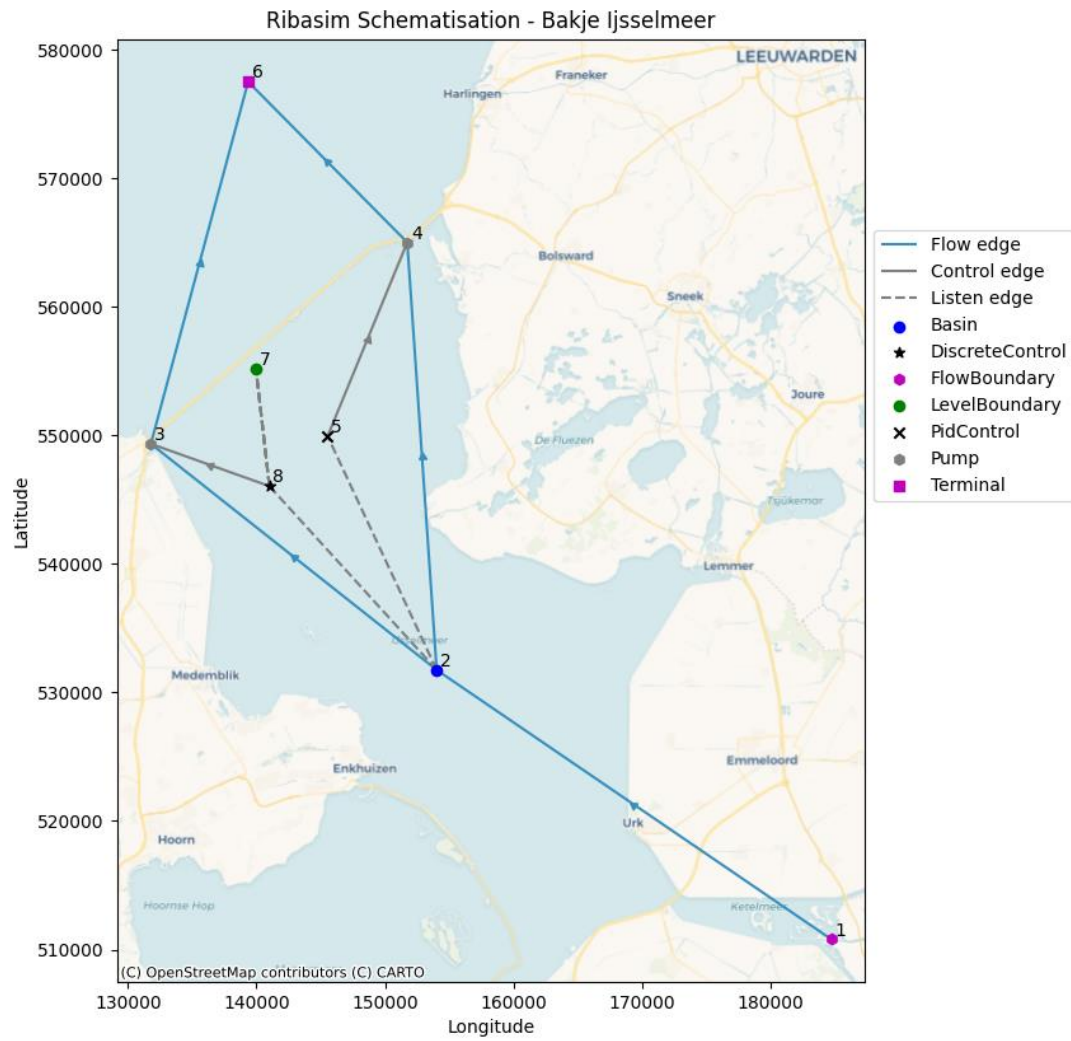
Figuur 8: Model schematisatie IJsselmeer peil gereguleerd over de tijd door PID aangestuurde pomp (model: PIDcontrol_IJsselmeer).



Figuur 9: Model schematisatie IJsselmeer peil gereguleerd over de tijd door PID aangestuurde pomp en pomp om verzilting te bestrijden aangestuurd op basis van externe tijdseries (model: PID_IJsselmeer_externalSeries).



Figuur 10: Model schematisatie IJsselmeer peil gereguleerd over de tijd door rating curve knoop (model: RC_IJsselmeer_control).



Figuur 11: Model schematisatie IJsselmeer peil gereguleerd over de tijd door PID aangestuurde pomp en pomp om verzilting te bestrijden aangestuurd op basis van twee luister knopen waarvan één een artificiële externe chloride tijdsreeks bevat (model: IJsselmeer_SturingTweeNodes).