


## NOTITIE

---

Onderwerp            Evaluatie TKI Delfland  
Project                TKI Slim Watermanagement Delfland  
Opdrachtgever        Hoogheemraadschap van Delfland  
Projectcode            DT458-3  
Status                 Definitief  
Datum                 22 mei 2019  
Referentie             DT458-3/19-008.692  
Auteur(s)              ir. B. Dekens

Gecontroleerd door    ir. H.J. Mondeel  
Goedgekeurd door     ir. B. Dekens  
Paraaf                 

Bijlage(n)             -

Aan                     Hoogheemraadschap van Delfland  
Kopie

---

## 1 INLEIDING

Sinds 2015 werkt Witteveen+Bos samen met HKV aan BOS 2.0 Delfland. Dit BOS heeft als doel om onder andere de sturing van het boezemsysteem te optimaliseren tijdens water aan- en -afvoersituaties. Voor de optimalisatie van de sturing (MPC) wordt gebruik gemaakt van RTC-Tools 1. Aan het eind van 2016/begin 2017 is de beoogde opvolger van RTC-Tools 1 uitgekomen (RTC-Tools 2.0). Deltares zal vol inzetten op de doorontwikkeling van RTC-Tools 2 en zal enkel nog ondersteuning geven voor RTC-Tools 1. De komst van de nieuwe RTC-Tools versie zou in theorie de mogelijkheid moeten bieden tot het doorvoeren van enkele potentiële verbeteringen in het BOS.

Om de mogelijke toekomstige doorontwikkeling van het BOS Delfland (met RTC-Tools 2) en enkele voor het BOS Delfland relevante onderwerpen te onderzoeken is een Topconsortium voor Kennis en Innovatie (TKI)-project gestart. Binnen dit project is gezamenlijk met Deltares onderzoek uitgevoerd naar een aantal van deze onderwerpen. Deze notitie beschrijft en evalueert de onderdelen die aan bod zijn gekomen tijdens het project. Door voortschrijdende inzichten en/of onmogelijkheden in de software zijn een aantal onderwerpen vervallen, maar zijn ook aanvullende onderwerpen aan bod gekomen. Deze worden ook beschreven.

## 2 OVERZICHT WERKZAAMHEDEN

In onderstaande paragrafen wordt kort toegelicht welke onderdelen van de voorgenomen werkzaamheden zijn uitgevoerd. Ook worden aanvullende werkzaamheden beschreven. De inhoudelijk resultaten worden in hoofdstuk 3 en 4 beschreven.

### 2.1 Sturen op onzekerheid neerslagverwachting

Dit betreft ten eerste het optimaal anticiperen op de *onzekerheid* in de neerslagverwachting. Dit is voor Delfland relevant door de korte voorspelhorizon als gevolg van de grote mate van verharding. In RTC-Tools 2.0 wordt het mogelijk om de sturing te optimaliseren gegeven de onzekerheid van de neerslagverwachting (ensemble predictions), door het toepassen van zogenaamde tree-based optimalisatie. Kort gezegd betekent dit dat getracht wordt om enerzijds de sturing uit te stellen (om meer zekerheid te krijgen in de neerslagverwachting), anderzijds om tijdig te sturen als dat nodig is (bijvoorbeeld wateroverlast voorkomen bij de meest extreme verwachting van de ensemble).

Dit onderdeel is niet verder beschikbaar gesteld door Deltares.

### 2.2 Sturen op energiekosten

Een tweede verbetering betreft het optimaliseren van de sturing, waarbij naast de waterveiligheid ook gekeken wordt naar reductie van energiegebruik- en kosten. Hierbij wordt gebruik gemaakt van multi-objective optimalisatie, waarbij gestuurd kan worden op meerdere doelen (objectives). Het eerste doel is uiteraard de waterveiligheid en wateraanvoer. Als aan dit doel voldaan wordt (bijvoorbeeld bij 'normale' omstandigheden) wordt geoptimaliseerd op het tweede doel, in dit geval energiegebruik- en kosten. Bij energiegebruik zal zoveel mogelijk water afgevoerd worden bij eb (lager energieverbruik gemalen). Bij sturing op energiekosten zal het een combinatie betreffen van voorgaande en de actuele en voorspelde energieprijzen.

Verreweg het grootste deel van dit TKI-project heeft zich gericht op het sturen op energie(kosten) en het implementeren van de benodigde code (RTC-Tools 2 modelcode en Python scripts) die dit mogelijk maakt. Hiervoor is vooral veel tijd gaan zitten in het ontwikkelen van de initialisatiemodule van RTC-Tools 2, zie paragraaf 2.4.

### 2.3 Mixed integer optimalisatie

Een derde verbetering betreft de 'mixed integer optimalisatie'. Hierbij wordt het mogelijk om continue sturingsbeslissingen (een gemaal dat traploos kan worden aangestuurd binnen een bepaalde range) te combineren met discrete sturingsbeslissingen (aan/uit) en logica (als schuif A aan staat, mag gemaal B niet worden ingezet).

Dit onderdeel is komen te vervallen. Op basis van de bevindingen en voortschrijdend inzicht met betrekking tot de rekentijd van RTC-Tools 2 bij de gewenste rekentijdstap en voorspellingshorizon is vastgesteld dat de resulterende rekentijd nu al (te) lang is voor real-time toepassing. Een mixed integer optimalisatiealgoritme zal deze rekentijd nog veel meer doen toenemen.

### 2.4 Initialisatie (aanvullend)

Als aanvullende werkzaamheid is de initialisatiemodule ontwikkeld. Deze module maakt het mogelijk om model states (beginwaterstanden) van niet-bemeten knopen (waar een waterstand wordt berekend) te

bepalen op basis van een beperkte set bemeten knopen. Deze module is in samenwerking met Deltares ontwikkeld en uitvoerig getest. De werkzaamheden en resultaten van dit onderdeel worden nader beschreven in hoofdstuk 3

### 3 STURING OP ENERGIEKOSTEN

In onderstaande paragrafen worden de uitgevoerde werkzaamheden en bevindingen van het onderdeel 'sturen op energiekosten' samengevat.

#### 3.1 Omzetting model naar RTC-Tools 2

Voor het TKI-project is het gekalibreerde model van het BOS 2.0 Delfland omgezet van RTC-Tools 1 naar RTC-Tools 2. Hierbij is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de informatie uit het RTC-Tools 1 model. De modellen verschillen echter behoorlijk op een aantal punten. De verschillen zitten zowel in de modelschematisatie (het hydraulisch model, opgezet in Open Modelica) als in de optimalisatie (Python). Om gevoel te krijgen bij de mogelijke verschillen tussen de twee modelpakketten bij vergelijkbare sturing zijn een aantal stationaire testen uitgevoerd. Voor de resultaten van deze modeltests wordt verwezen naar Bijlage 5I.

Het concept van penalties en een doelfunctie uit RTC-Tools 1 is losgelaten in RTC-Tools 2. Binnen de optimalisatie wordt gebruik gemaakt van goal programming. Dit is wiskundig gezien een wezenlijk andere opzet. Bij goal programming wordt een prioritering aangebracht in de verschillende doelen, waarbij een lager doel geen afbreuk kan doen aan een hoger doel. Zo wordt bijvoorbeeld gestuurd op het primaire doel (waterstanden binnen beheermarge houden) bij zo min mogelijk verandering van pompinzet (secundair doel). Bij optimalisatie wordt in meerdere iteratieslagen gezocht naar een optimale oplossing binnen de beschikbare oplossingsruimte. In het geval van extreme neerslag zal er weinig ruimte overblijven om energiezuinig te sturen.

Binnen de Python-optimalisatie is het script zo ingericht dat eenvoudig doelen aan en uit worden gezet (switches) en de prioriteit kan worden aangepast.

#### 3.2 Toevoegen van energy-goals

Om sturing op energiekosten mogelijk te maken voor alle gemalen die afvoeren naar het buitenwater zijn hiertoe extra goals gedefinieerd in de optimalisatie. Deze optimaliseren (minimalisatie) de energiekosten op basis van het product van de opvoerhoogte en pompdebiet. Hiertoe is de opvoerhoogte als extra variabele toegevoegd binnen het Python-optimalisatiescript. In de werkelijkheid zit er een relatie (afhankelijkheid) tussen het gemaaldebiet, de waterstand aan de boezemzijde en de opvoerhoogte. Om dit correct op te nemen zou middels simulatieruns de pompcapaciteit bij verschillende opvoerhoogtes moeten worden bepaald om vervolgens deze als constraint (randvoorwaarde) op te leggen aan de optimalisatie. Dit is echter nog niet zomaar te implementeren. Daarnaast varieert het peil aan de boezemzijde maar enkele centimeters, in tegenstelling tot de buitenwaterstand. De inzet om de beschreven sturing te implementeren weegt niet af tegen de verwachte modelverbetering voor de boezem van Delfland. Daarom is in overleg met Deltares besloten om de het boezempeil als boezemwaterstand aan te houden bij berekening van de opvoerhoogte.

De resultaten van de toevoegingen aan de optimalisatie staan beschreven in hoofdstuk 4.

### 3.3 Initialisatiemodus

Iedere optimalisatie run gebruikt initiële condities (zogenaamde model states) van waterstanden en (pomp)debieten. In het ideale geval is voor iedere knoop (waar een waterstand wordt berekend) een correcte<sup>1</sup> waterstandsmeting beschikbaar. De knopen binnen het netwerk van het BOS zijn zoveel mogelijk afgestemd op representatieve meetpunten, echter is niet ieder rekenpunt gekoppeld aan een meetpunt.

Deltares heeft hiertoe de initialisatie van RTC-Tools 2 mogelijk gemaakt waarbij het onderhavige TKI-project als proef heeft gediend. Hierbij wordt voor tussengelegen rekenpunten zonder meting een gebalanceerde begintoestand bepaald. Dit wordt weggeschreven in een geïnitieerde `timeseries_import`. Het resultaat hiervan is dat pendelgedrag en/of initiële juttering van waterstanden wordt tegengegaan.

Het opzetten van de initialisatiemodus heeft nogal wat voeten in de aarde gehad. Een aanzienlijk deel van de aan TKI besteedde tijd is in het ontwikkelen van de RTC-Tools code (Deltares) en het testen (Witteveen+Bos) initialisatie gaan zitten.

## 4 MODELTESTEN

### 4.1 Beschrijving modeltesten

In onderstaande afbeeldingen zijn resultaten van enkele modeltesten weergegeven, als *proof of concept*. De modeltesten hadden als doel om te onderzoeken of de sturing werkt zoals bedoeld. Hierbij zijn de drie onderstaande situaties beschouwd:

#### Situatie 1: sturing vergelijkbaar met het BOS 2.0

Deze aansturing is gelijk aan de sturing zoals deze in BOS 2.0/RTC-Tools 1 is geïmplementeerd: sturing op waterstanden op de sturingsknopen binnen een bandbreedte rondom het boezempeil en beperking van de verandering van pompinzet.

#### Situatie 2: sturing op energiegebruik

Dit is gelijk aan de bovenstaande situatie, met aanvullend sturing op energie op basis van de verwachte opvoerhoogte als functie van de verwachte buitenwaterstand. Hierbij wordt gestreefd naar zoveel mogelijk gemaalinzet bij laagwater.

#### Situatie 3: sturing op energiekosten

Dit is gelijk aan bovenstaande situatie, met de toevoeging van een fictieve tijdreeks ( $C_e$ ) van energietarieven in de berekening van het energiegebruik. Hierbij wordt gestreefd naar zoveel mogelijk pompinzet bij laagwater en bij een daltarief (een fictief tarief tussen 12 uur 's nachts en 12 uur 's middags dat tweemaal zo laag is als het dagtarief).

### 4.2 Resultaten modeltesten

In afbeelding 4.1 zijn de resultaten van bovenstaande situaties weergegeven. Hierbij zijn de totale 'kosten' van alle afvoerende gemalen (dus zonder Winsemius en Westambacht) gesommeerd. Hierbij is situatie 1 de blauwe lijn, situatie 2 de oranje lijn en situatie 3 de groene lijn. De som van het product van het debiet ( $Q$ ) en opvoerhoogte ( $\Delta h$ ) voor alle tijdstappen kan worden gezien als een maat voor het energiegebruik. De som van het product van het debiet ( $Q$ ), het gewogen gemiddelde van de opvoerhoogte ( $\Delta h$ ) en de energiekosten ( $C_e$ ) voor alle tijdstappen kan worden gezien als een maat voor de energiekosten. In de onderste figuur is de fictieve energieprijzen en de totale laterale instroming (neerslag) weergegeven.

---

<sup>1</sup> Bij een foutieve/slechte meting zou pendelgedrag kunnen ontstaan omdat bij iedere run een niet aanwezige verstoring (initiële waterstand) ervoor zorgt dat er een golfbeweging gaat lopen door de boezem.

Voor de leesbaarheid is in afbeelding 4.5 de schematisatie van het BOS weergegeven.

Ten opzichte van de sturing zoals in het BOS valt op bij situaties 2 en 3 de pompinzet wordt verplaatst naar de periodes met laagwater. Bij sturing op energiekosten (groene lijn) wordt met name gepompt bij laagwater, maar wordt ook nog eens meer verpompt bij het lagere tarief (ten opzichte van sturing op energie). In dit voorbeeld wordt bij sturing op energiegebruik en energiekosten een circa 30 % lager energiegebruik en circa 25 % lagere energiekosten berekend ten opzichte van situatie 1.

Omdat energiegebruik en energiekosten aan elkaar gerelateerd zijn, is het niet vreemd dat de resultaten vergelijkbaar zijn. Echter zoekt de sturing op energiekosten nog naar de marge om zuiniger te kunnen pompen. Bij sturing op energiekosten (situatie 3) vallen het energiegebruik en de energiekosten daarom nog net iets lager uit ten opzichte van sturing op energiegebruik (situatie 2).

Tabel 4.1 Resultaten modeltesten

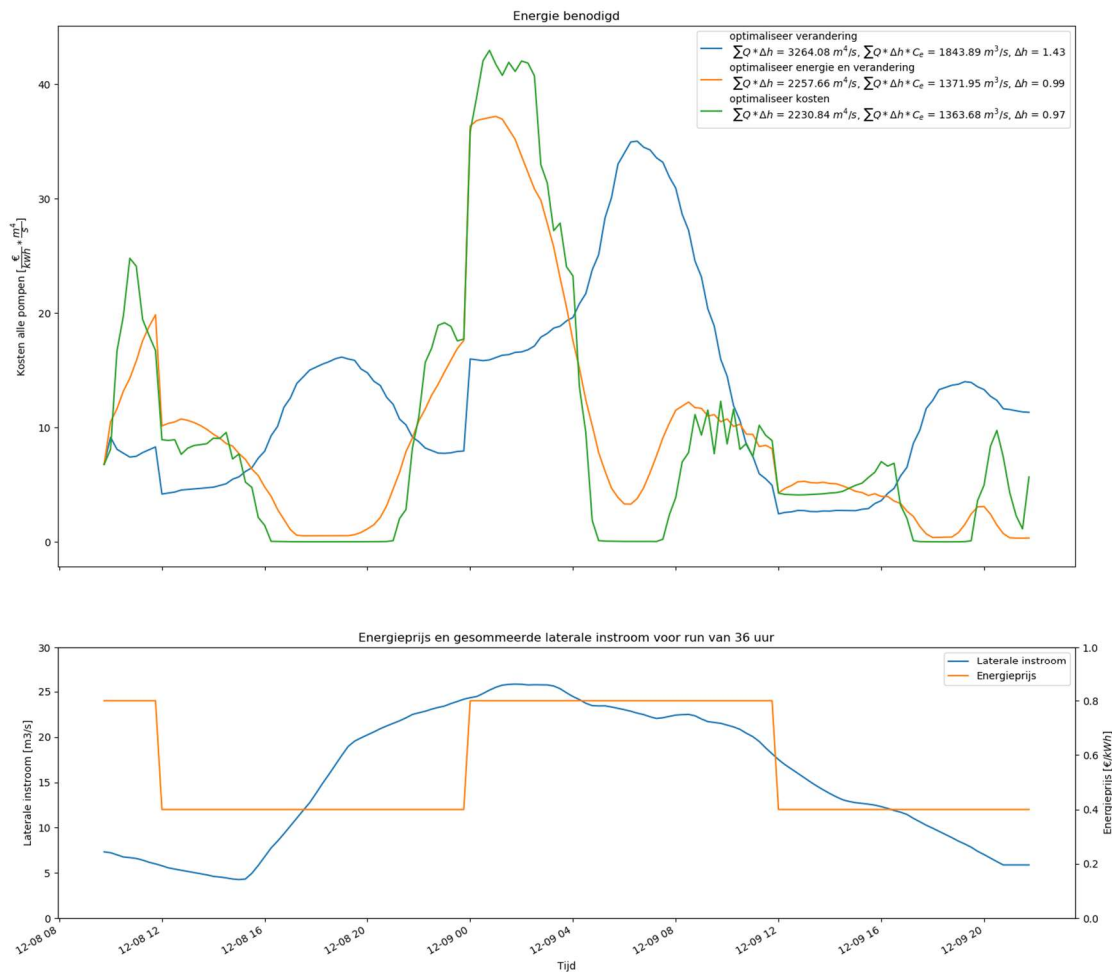
Situatie	"Energiegebruik" = $\sum Q \cdot \Delta h$	"Energiekosten" = $\sum Q \cdot \Delta h \cdot C_e$
1 (waterstanden, verandering gemaalinzet)	3264.08 (100 %)	1843.89 (100 %)
2 (energiegebruik)	2257.66 (69.2 %)	1371.95 (74.4 %)
3 (energiekosten)	2230.84 (68.3 %)	1363.68 (74.0 %)

In afbeelding 4.2 worden de berekende waterstanden op de knopen bij de gemalen (aan de boezemzijde) weergegeven. De rode gestreepte lijn geeft de buitenwaterstand weer. Bij situatie 1 wordt minder fluctuatie van waterstanden berekend, dit komt doordat er wordt gestuurd op beperkte verandering van gemaalinzet.

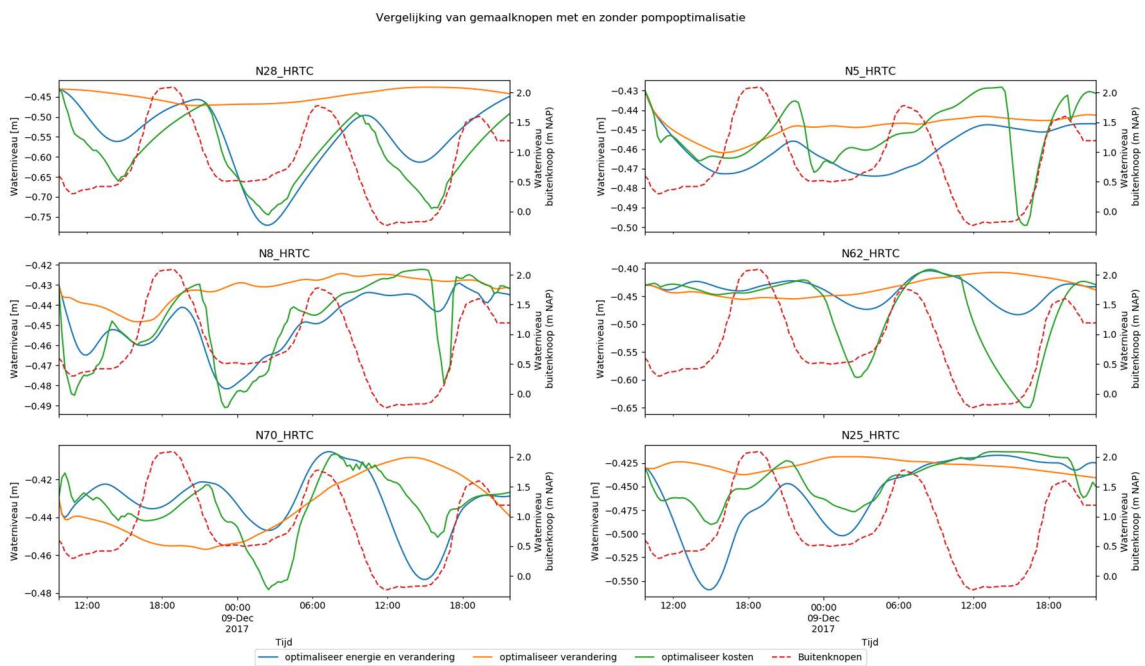
In afbeelding 4.3 staan de berekende gemaaldebieten per gemaal. Bij gemaal Westland is duidelijk te zien dat bij verschillende laagwaterperiodes afwisselend 'anders' wordt gestuurd bij sturing op energiegebruik en sturing op energiekosten. Dit komt vermoedelijk doordat bij de ene laagwaterperiode het daltarief geldt en bij de andere niet.

In afbeelding 4.4 zijn de waterstanden op de sturingsknopen weergegeven, deze blijven allen binnen de beheermarge (tussen NAP -0,46 m en NAP -0,40 m).

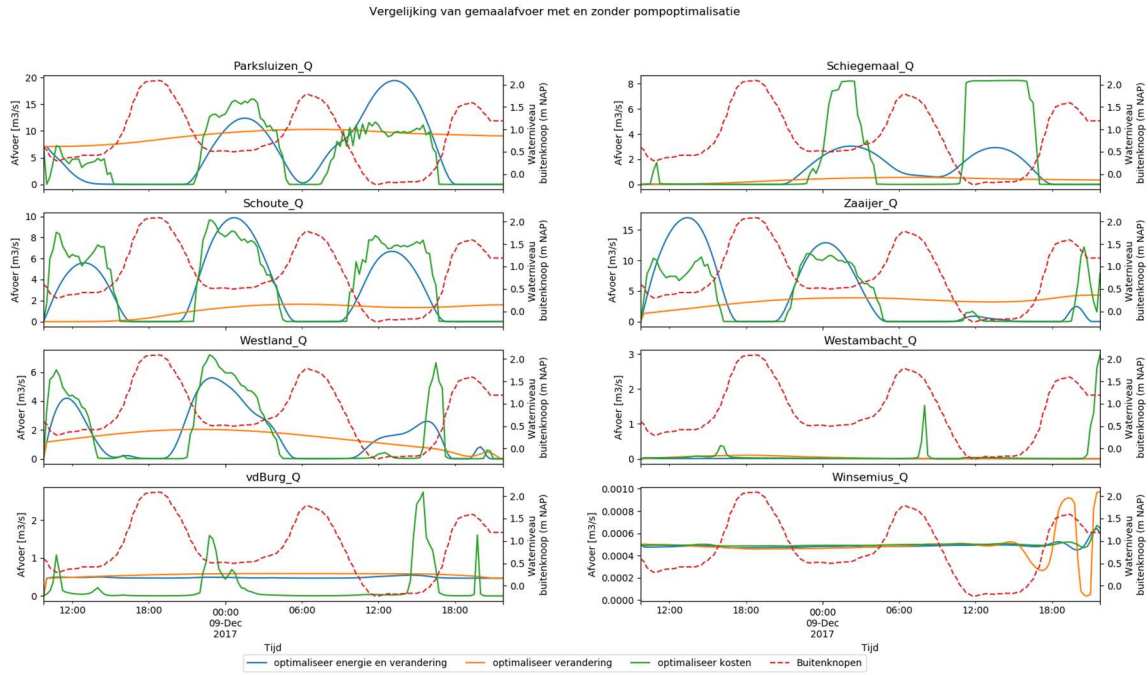
Afbeelding 4.1 Resultaten verschillende sturingsstrategieën



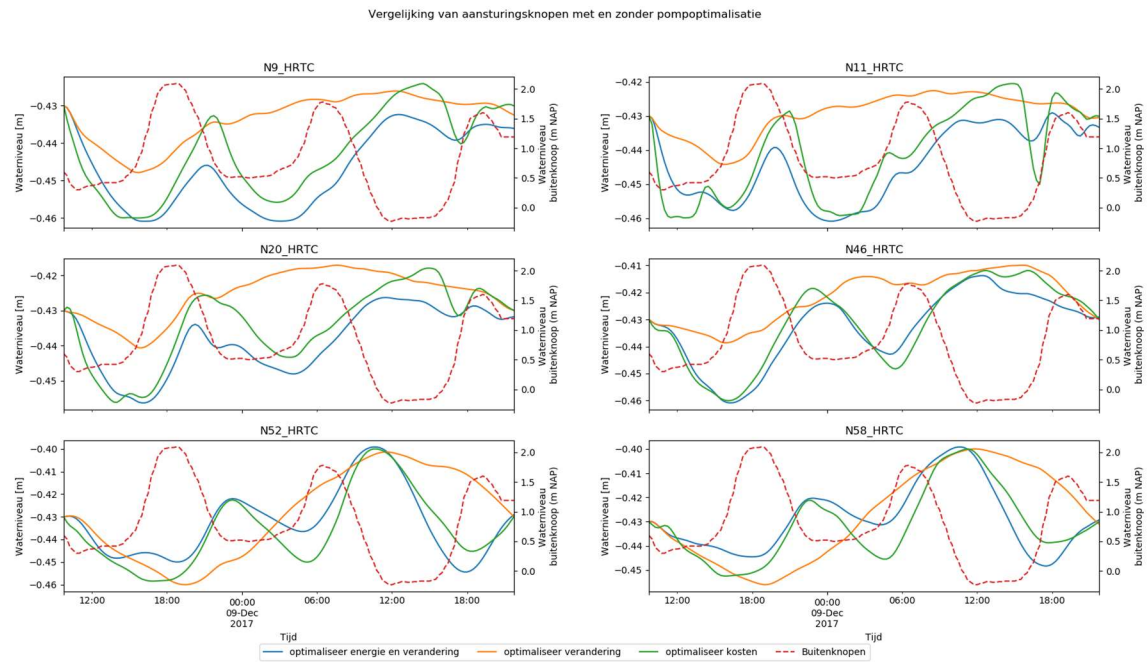
Afbeelding 4.2 Resultaten waterstanden aan bovenstroomse zijde van gemalen



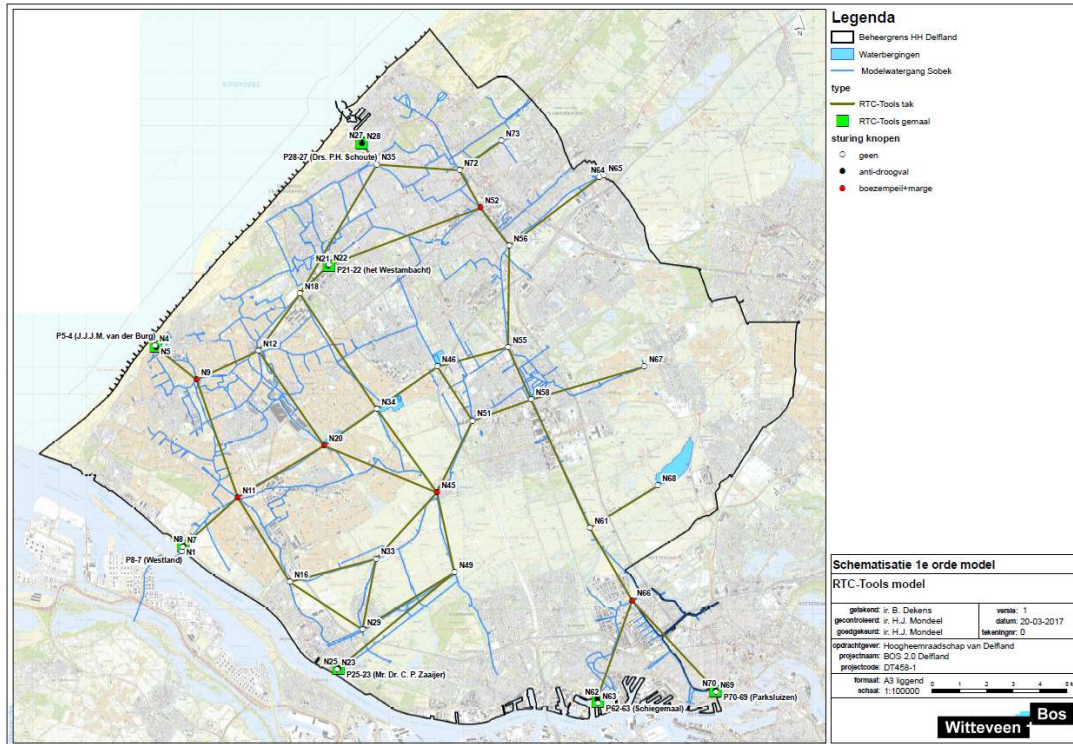
### Afbeelding 4.3 Resultaten gemaaldebieten



### Afbeelding 4.4 Resultaten waterstanden op sturingslocaties



Afbeelding 4.5 Schematisatie RTC-Tools 2



### 4.3 Rekentijd

Bij de modeltesten kwam naar voren dat de runs met een voorspellingshorizon van 36 uur bij een rekentijdstep van 5 of 15 minuten een onacceptabel lange rekentijd hebben (een tot meerdere uren, per situatie verschillend). De optimalisatie kwam echter wel tot de gepresenteerde oplossingen. Uit overleg met Deltares kwam naar voren dat het theoretisch mogelijk zou moeten zijn om de rekentijd te versnellen door toepassing van tijdstapvergroving (korte rekentijdstep voor de eerste paar rekentijdstappen, daarna een grotere tijdstap). Dit zou echter verregaande aanpassingen van zowel RTC-Tools als de optimalisatiescripts vergen. Het toevoegen van deze functionaliteit paste niet binnen de scope van dit project. Bovendien is dit nog niet eerder toegepast en daardoor niet zeker of dit werkelijk goed functioneert.

Om toch tot acceptabele rekentijdstappen te komen is aanvullend onderzocht of het langzame 36-uurs model kan wordt toegepast als 'voorspeller' van een model met een korte voorspellingshorizon (zeg 6 uur). Het idee is dan dat het 36-uurs model (dat bijvoorbeeld 1x per uur wordt gerund) een bui voorbij  $t=6$  uur ziet aankomen en het mogelijk maakt dat het 6-uurs model (dat iedere 5 of 15 minuten runt) hierop anticipeert doordat het 36-uurs model berekend wat de waterstanden na 6 uur moeten zijn om ook binnen 36 uur binnen de marges te blijven. Door de berekende waterstand op  $t=6$  uur op de sturingsknopen als setpoint op te leggen aan het einde van het 6-uursmodel, zal dit model zodanig gaan sturen dat de waterstanden op  $t=6$  overeenkomen met het 36-uurs model.

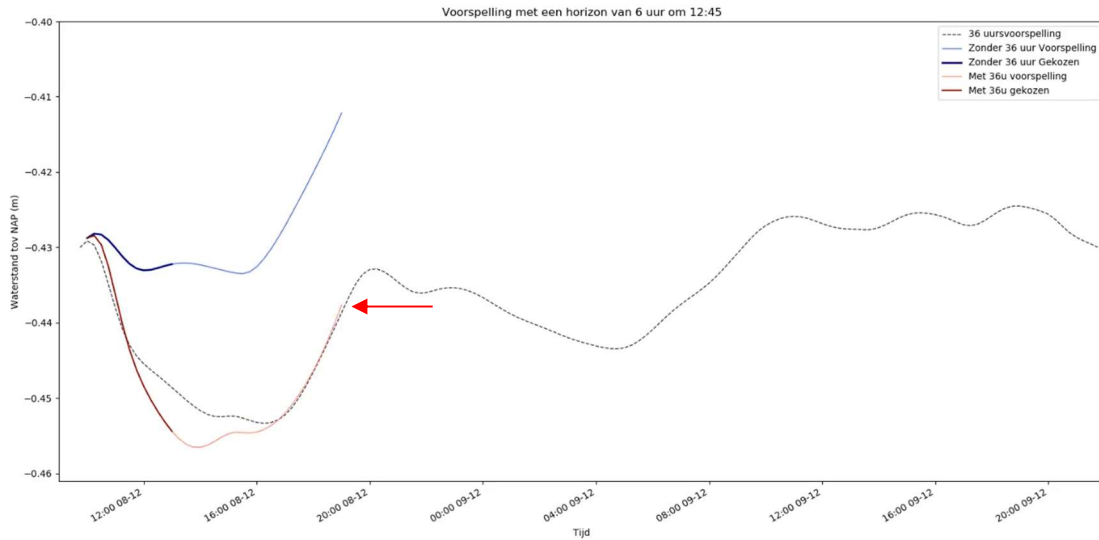
Om deze modeltrein mogelijk te maken is het 'korte' RTC-Tools 2 model enigszins aangepast. De sturingsknopen krijgen in het 36-uursmodel de setpoints vanuit 2 tijdreeksen (boven- en ondergrens beheermarge). In het 6-uurs model wordt verwezen naar de setpoints per individuele sturingsknoop.

In onderstaande afbeeldingen zijn de resultaten van de twee modellen te zien voor opeenvolgende runs. De gestippelde lijn is de resulterende waterstand van knoop N20 op basis van de 36-uurs run. In blauw de 6-uurs run zonder voorspelling. De overgang tussen de donkerblauwe en lichtblauwe lijn markeert het punt tussen wat is uitgevoerd en de voorspelling. In rood de resulterende waterstand voor de 6-uurs run met voorspelling. De optimalisatie probeert uit te komen op de waterstand aan het einde van de lichtrode lijn (bij

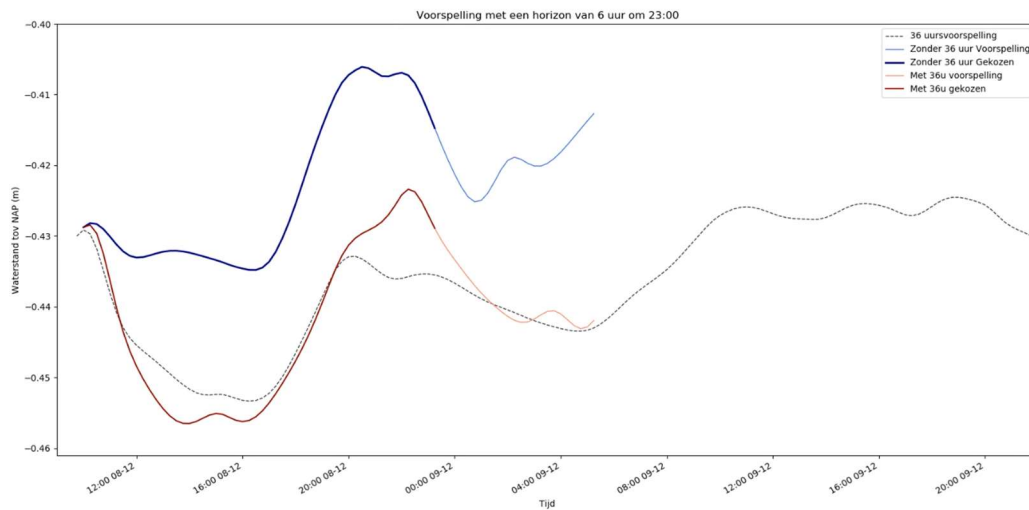


de rode pijl). In afbeelding 4.7 de resultaten voor enkele tijdstappen verder. Hierbij valt te zien dat de run met voorspeller inderdaad op het gewenste punt is uitgekomen. Het verloop van de waterstand lijkt op die van de 36 uren run.

Afbeelding 4.6 Optimalisatie met 'voorspeller'



Afbeelding 4.7 Optimalisatie met 'voorspeller', enkele tijdstappen verder



## 5 CONCLUSIE

Binnen dit TKI-project is de het BOS Delfland omgezet van RTC-Tools 1 naar RTC-Tools 2 en is de uitbreiding naar sturing op energie en energiekosten gemaakt. In testruns is aangetoond dat de sturing naar verwachting functioneert. Echter is wel snel duidelijk geworden dat de lange rekentijd bij een systeemmodel met hydraulica en de gevraagde voorspellingshorizon en rekentijdstep een issue is. Dit maakt dat het huidige RTC-Tools 2 model nog niet erg bruikbaar is voor in het BOS.

In aanvullende tests is nagegaan of het mogelijk is om eens in de zoveel tijd een lange run te draaien, waarbij de output van deze run wordt gebruikt als richtpunt voor een korte run. Deze methode werkt modelmatig. Mogelijk is dit een manier om zonder tijdstapvergroffing de informatie vanuit een lange run te benutten die in werkelijkheid buiten de voorspellingshorizon van de korte modelrun ligt.





## BIJLAGE: NOTITIE VERGELIJKING MODEL RTC-TOOLS 1 EN RTC-TOOLS 2

## NOTITIE

---

Onderwerp	Vergelijking hydraulisch model RTC-Tools 1 en 2
Projectcode	DT458-3
Datum	15 mei 2018
Referentie	DT458-3/19-008.717
Auteur(s)	ir. B. Dekens
Bijlage(n)	-
Aan	P. Izeboud MSc
Kopie	-

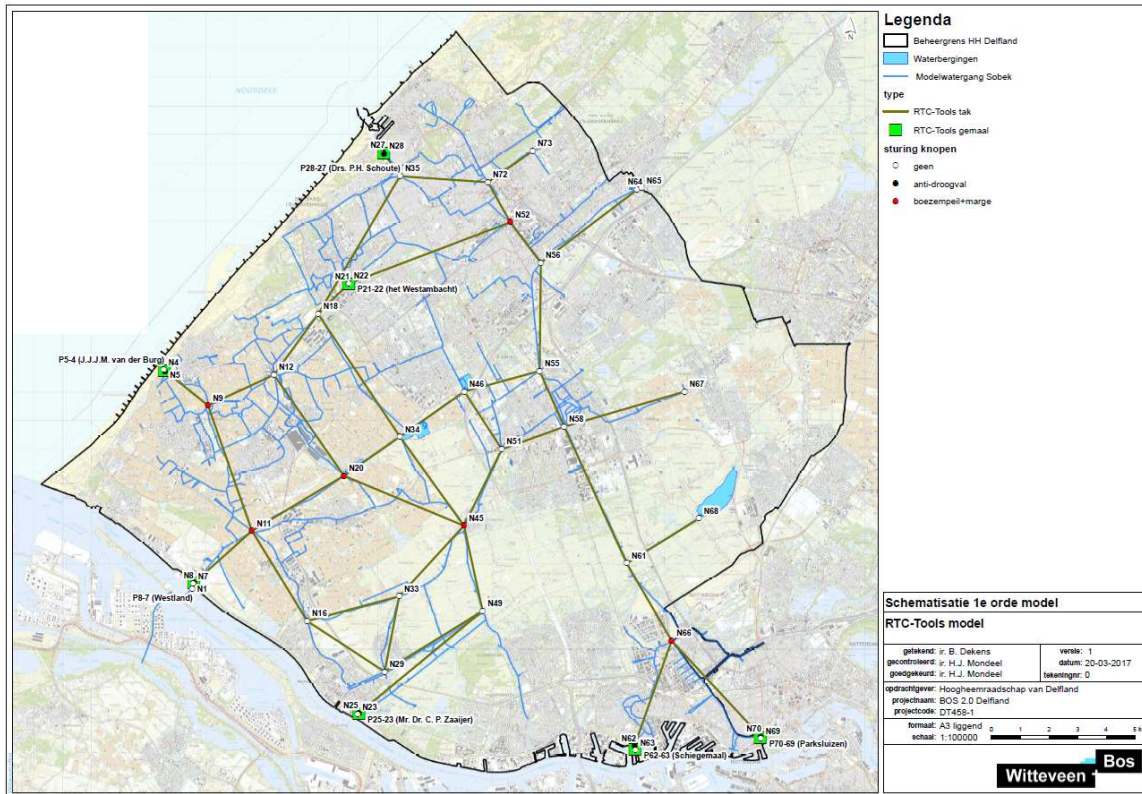
---

## 1 INLEIDING

De ontwikkeling en ondersteuning van RTC-Tools 1 zal worden uitgefaseerd door Deltares. Inmiddels is RTC-Tools 2 beschikbaar als beoogde opvolger van RTC-Tools 1. Omdat de twee modelpakketten op een aantal vlakken verschillen (o.a. het hydraulisch model en optimalisatie vanuit Python) is niet duidelijk hoe een naar RTC-Tools 2 omgebouwd RTC-Tools 1 model zal presteren en of deze 1-op-1 kan worden vervangen in een beslissingsondersteunend systeem (BOS).

Witteveen+Bos heeft de afgelopen jaren voor Delfland de modellen van het BOS Delfland 2.0 ontwikkeld, in RTC-Tools 1 (zie afbeelding 1.1). Er is (en wordt) veel tijd besteed aan het testdraaien en finetunen van het huidige RTC-Tools 1 model. Binnen het TKI project Slim Watermanagement Delfland is een volledige RTC-Tools 2 schematisatie van het BOS 2.0 Delfland opgezet in RTC-Tools 2. De basis hiervoor was het RTC-Tools 1 model uit het BOS. Omdat de hydraulische modellen in de basis op elkaar lijken biedt dit de kans om een modelvergelijking van de twee RTC-Tools versies uit te voeren.

Afbeelding 1.1 Netwerk RTC-Tools model BOS 2.0 Delfland



Door het runnen van een aantal testsituaties is een vergelijking opgesteld tussen de modellen. De vergelijking focust zich met name op de performance van de hydraulische modellen bij gelijke belasting en pompbeschikbaarheid. Een eenduidige vergelijking van de optimalisatiealgoritmes is lastiger te maken, omdat de opzet van de optimalisatie veel verschilt. Er wordt wel een check gedaan of beide optimalisatiealgoritmes een kunstmatige blokbelasting ongeveer gelijk reageren (moment van aanzetten en bijschakelen pompen).

## 2 VERSCHILLEN TUSSEN MODELOPZET

### 2.1 Hydraulisch model

In RTC-Tools 1 wordt bij de knopen wordt een berging gedefinieerd als functie van de waterstand, in tabelvorm. Hiermee kan een niet lineaire relatie tussen waterstand en volume worden opgegeven. Bij dwarsprofielen in de takken de breedte en (Chézy) bodemweerstand gedefinieerd als functie van de waterstand, ook in tabelvorm.

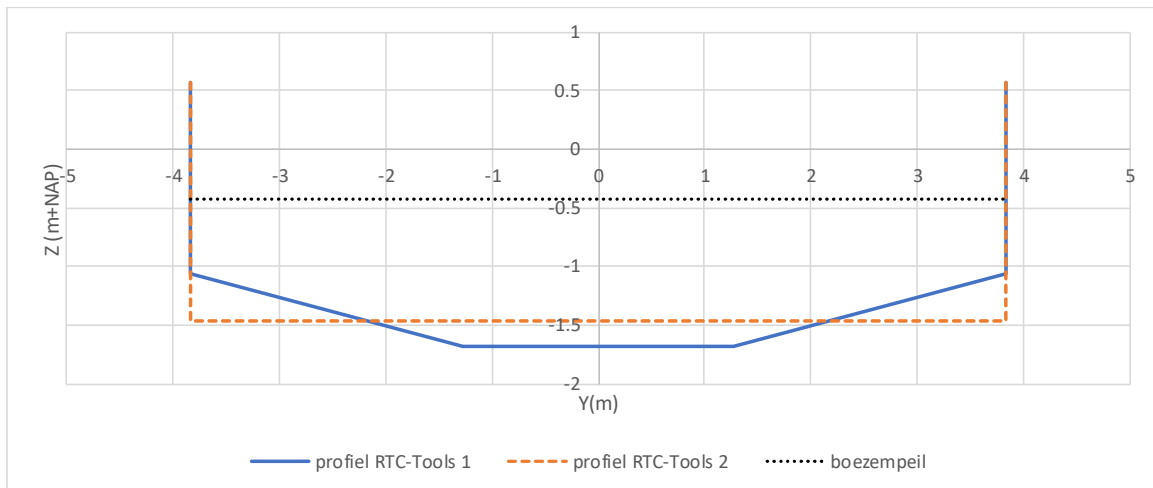
Voor de modelknopen in RTC-Tools 2 wordt per knoop een bodemhoogte en een oppervlak gedefinieerd. Hiermee is er altijd een lineair verband tussen waterstand en volume. Voor de omzetting naar RTC-Tools 2 is de bodemhoogte uit het RTC-Tools 1 model aangehouden. Het volume behorend bij het boezempeil van NAP -0,43 m is afgeleid uit het RTC-Tools model. De waterstands-volume relatie is bij benadering lineair rondom het boezempeil. Door het volume bij boezempeil te delen door de waterdiepte bij boezempeil is het knooppoppervlak berekend voor RTC-Tools 2.

In RTC-Tools 2 wordt bij de dwarsprofielen in de takken en boven- en benedenstroomse bodemhoogte en een breedte en een vaste waarde voor de bodemweerstand gedefinieerd. Een dwarsdoorsnede uit een tak is dus een rechte bak, in tegenstelling tot een 'tabulated' profiel uit RTC-Tools 1. Bij de dwarsprofielen van het

BOS Delfland is het de breedte constant rond het boezempeil. Bij het RTC-Tools 2 model is daarom de breedte bij boezempeil uit het RTC-Tools 1 model overgenomen. Om tot een gelijk doorstroomoppervlak te komen (en geen overschatting van de hydraulische straal en hieruit berekende bodemweerstand) bij beide modellen is een fictieve bodemhoogte teruggerekend door het doorstroomoppervlak bij boezempeil gelijk te stellen aan RTC-Tools 1. Voor de bodemweerstand binnen RTC-Tools 2 is de Chézy-waarde bij boezempeil bepaald.

Het verschil tussen de dwarsprofielen in RTC-Tools 1 en 2 is weergegeven in onderstaande afbeelding.

Afbeelding 2.1 Dwarsprofielen in RTC-Tools 1 en RTC-Tools 2 (met aangepaste bodemhoogte)



### 3 TESTOPZET

Er zijn een aantal testruns uitgevoerd met RTC-Tools 1 en 2 waarbij dezelfde periode is doorgerekend, met gelijke initial states, randvoorwaarden en gelijke laterale belasting. Uit eerdere tests kwam naar voren dat de optimalisatiehorizon in RTC-tools 2 niet al teveel tijdstappen mag beslaan omdat de runtime anders onacceptabel groot wordt. Daarom zijn slechts enkele uren doorgerekend, met een tijdstap van 15 minuten.

Helaas bestaat er nog niet mogelijkheid om RTC-Tools 2 in simulatiemodus te runnen. Om het hydraulisch model te kunnen vergelijken is daarom in een aantal gevallen getracht de optimalisatie te forceren (opdrukken randvoorwaarden van pompcapaciteit) zodanig dat de pompinzet gelijk moet zijn.

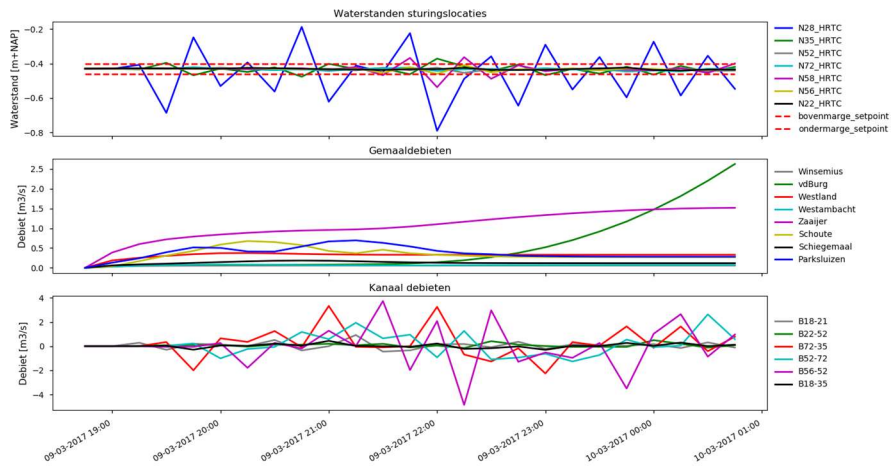
#### 3.1 Test 1

De testopzet van deze test is al volgt:

- alle initiële boezemwaterstanden gelijk aan het boezempeil;
- geen latere input op knopen;
- alle pompen initieel uit.

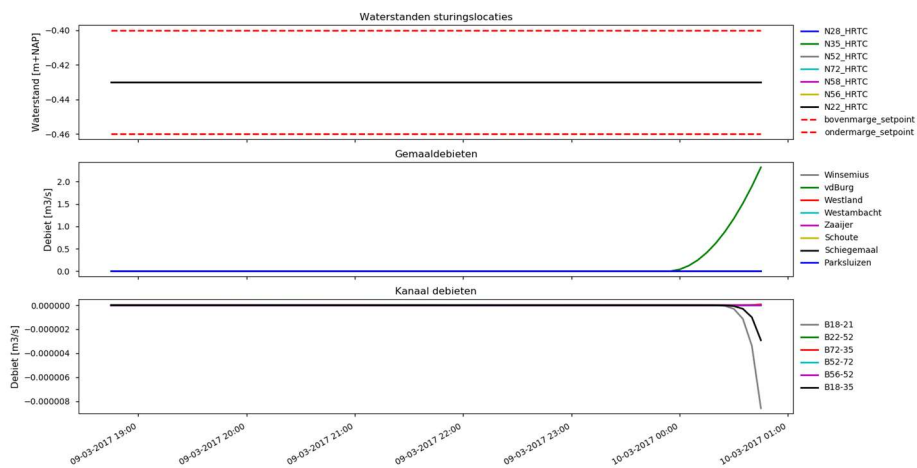
Doel van deze test is nagaan of de pompen uit blijven en de waterstanden stabiel op boezempeil blijven. in een eerste test is voor RTC-Tools 1 een rekentijdstap van 15 minuten aangehouden. Dit resulteert in een onstabiel model, waarbij waterstanden jutteren en gemalen aan- en afslaan. Zie ook onderstaande afbeelding. Hierin zijn de waterstanden weergegeven van de knopen waarop BOS Delfland stuurt, de gemaaldebieten en de debieten van een aantal takken.

Afbeelding 3.1 Resultaat test 1, RTC-Tools 1, rekentijdstep 15 min

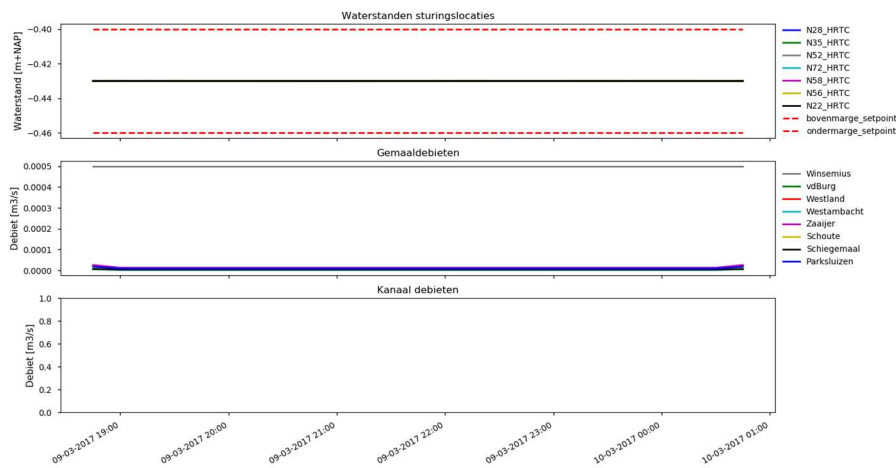


Vanwege dit resultaat is de rekentijdstep van RTC-Tools 1 voor deze en opvolgende tests op 5 minuten ingesteld. De resultaten van de test is weergegeven in onderstaande afbeeldingen.

Afbeelding 3.2 Resultaat test 1, RTC-Tools 1



Afbeelding 3.3 Resultaat test 1, RTC-Tools 2



Wat opvalt is dat RTC-Tools 1 een 'zwieper' laat zien aan het einde van de optimalisatiehorizon. Dit is een artefact vanuit de optimalisatie die ook al vaak is waargenomen tijdens het testdraaien van het BOS Delfland. Verder is het resultaat zoals verwacht.

Het resultaat van RTC-Tools 2 is logisch; pompen blijven uit en de waterstanden blijven op boezempeil. RTC-Tools 2 schrijft de debieten op de takken niet als output weg.

### 3.2 Test 2

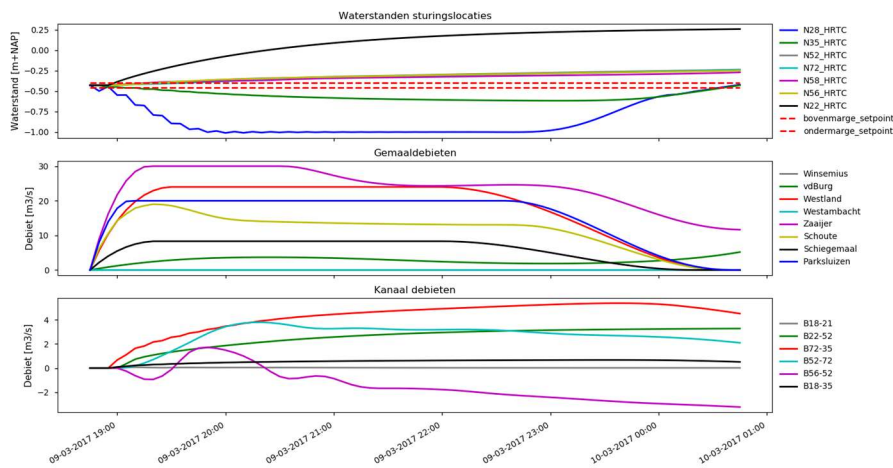
De testopzet van deze test is al volgt:

- alle initiële boezemwaterstanden gelijk aan het boezempeil;
- stationaire laterale input op de knopen gelijk aan som van capaciteit afvoerende boezemgemalen (debiet gelijk verdeeld over alle laterals);
- capaciteit afvoerende boezemgemalen vrij instelbaar tussen 0 en maximale capaciteit.

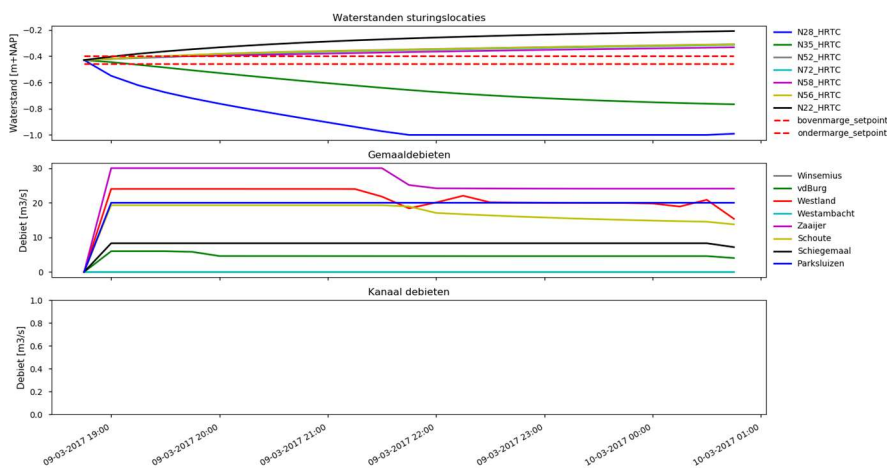
Doel van deze test is het testen van de modelstabiliteit (vrij grote laterale belasting), het vergelijken van (de timing van) het aanslaan van de pompgemalen (verschillende optimalisatiealgoritmes) en het vergelijken van de optredende waterstanden.



Afbeelding 3.4 Resultaat test 2, RTC-Tools 1



Afbeelding 3.5 Resultaat test 2, RTC-Tools 2



Het aanslaan van de pompen verloopt qua timing vergelijkbaar. Er wordt opgeschakeld naar de maximale capaciteit. Na enige tijd wordt terugtoerd. Het verloop van het gemaaldebiet is geleidelijker in RTC-Tools 1, echter wordt hier ook gerekend met een tijdstap van 5 minuten (in plaats van 15 min in RTC-Tools 2).

Een aanwijsbaar verschil is gemaal Schoute, hier wordt in RTC-Tools 1 eerder terugtoerd omdat het bovenstroomse afslagepeil (N28) eerder bereikt wordt. Later wordt in RTC-Tools 1 nog meer terugtoerd, waardoor de waterstand weer stijgt tot binnen de beheermarge aan het einde van de optimalisatiehorizon. In RTC-Tools 2 blijft het gemaal langer afvoeren op maximale capaciteit. Van gemaal Schoute is bekend dat de waterstand in de praktijk snel uitzakt waardoor moet worden terugtoerd. Het RTC-Tools 1 model is hier uitvoerig op gekalibreerd. Mogelijk pakt de andere opzet van het hydraulische model hier anders uit, waardoor verschillen ontstaan. Bij dergelijke extreem lage waterstanden zouden de verschillen in de dwarsprofielen en weerstand (trapezium versus rechte bak) parten kunnen gaan spelen.

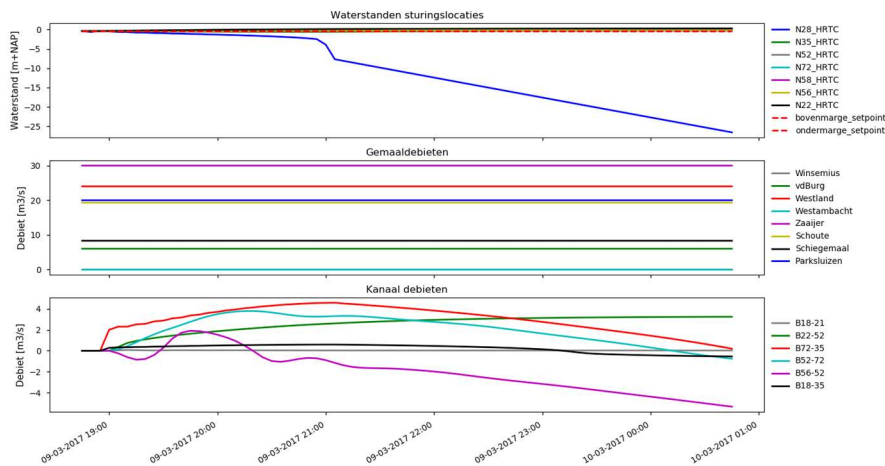
### 3.3 Test 3

De testopzet van deze test is al volgt:

- alle initiële boezemwaterstanden gelijk aan het boezempeil;
- stationaire laterale input op de knopen gelijk aan som van capaciteit afvoerende boezemgemalen (debiet gelijk verdeeld over alle laterals);
- capaciteit afvoerende boezemgemalen gelijk aan de maximale capaciteit.

Deze test neemt de invloed van sturing weg, omdat alle gemalen maximaal aan staan vanaf  $t=0$ . Zo kan worden vergeleken hoe de waterstanden zich instellen bij deze (hoge) stationaire belasting.

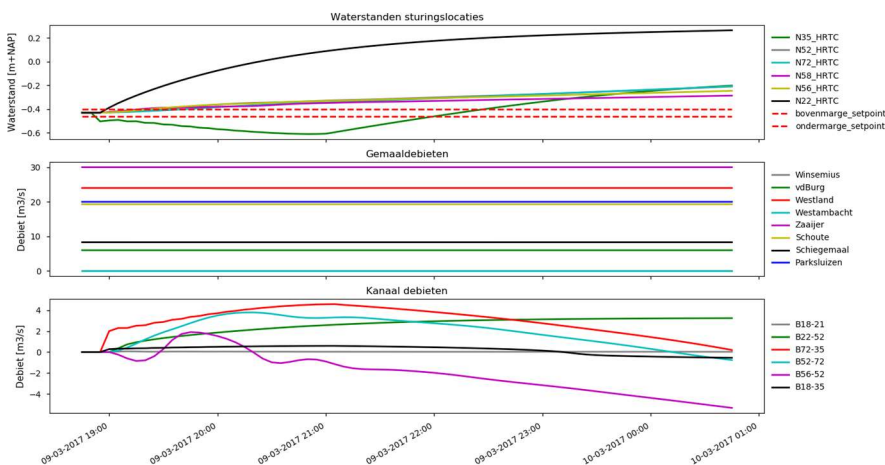
Afbeelding 3.6 Resultaat test 3, RTC-Tools 1



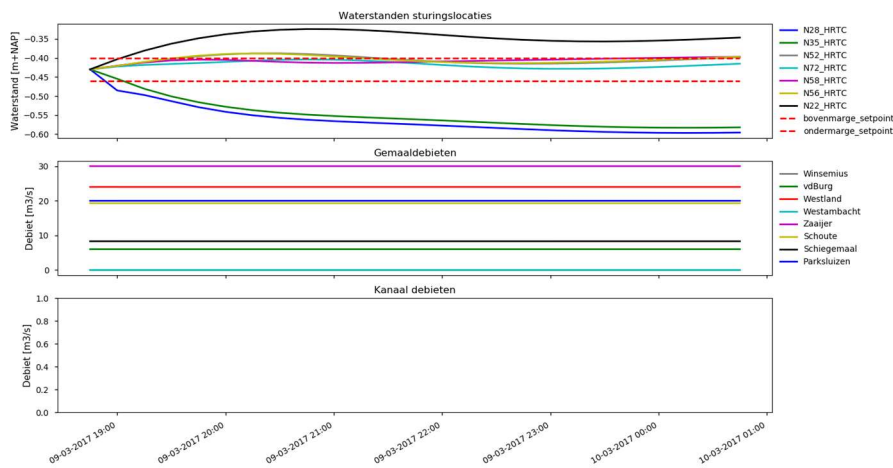
In RTC-Tools 1 zakt het peil bijemaal Schoute uit tot een onrealistisch lage waarde. Door de aanwezigheid van een Preissmann slot kan deze waterstand optreden (zonder zou het model in dit geval crashen). Een knoop verder bovenstrooms (N35) is het peil hoger dan de beheermarge. Dit geeft een onrealistisch groot verhang over deze tak. Deze resultaten worden in twijfel getrokken.

Om de resultaten van de overige sturingslocaties beter te kunnen vergelijken, is het resultaat van knoop N28 weggelaten in afbeelding 3.7.

Afbeelding 3.7 Resultaat test 3, RTC-Tools 1 (zonder knoop N28)



Afbeelding 3.8 Resultaat test 3, RTC-Tools 2



De berekende waterstanden komen niet goed overeen. In RTC-Tools 2 wordt nog een enigszins stationaire situatie bereikt, terwijl de waterstanden in RTC-Tools 1 door blijven stijgen. In de aanvoerende tak van gemaal Schoute wordt een onrealistisch groot verhang berekend. Hiermee worden de resultaten van RTC-Tools 1 in twijfel getrokken.

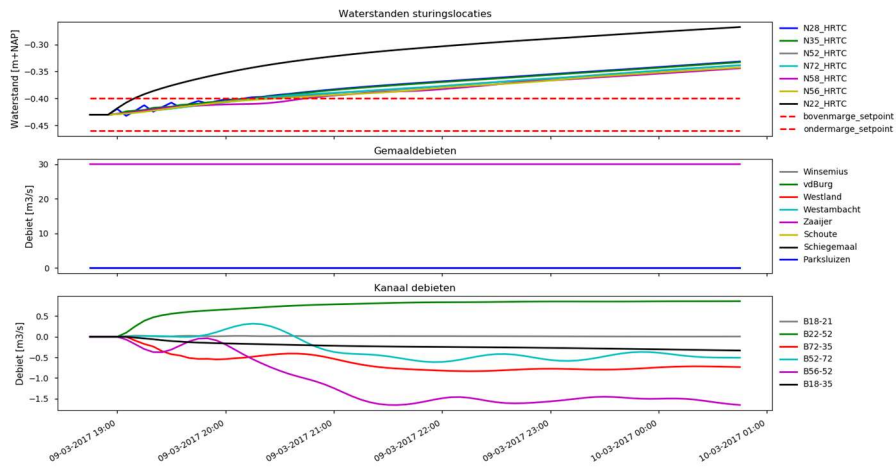
### 3.4 Test 4

De testopzet van deze test is al volgt:

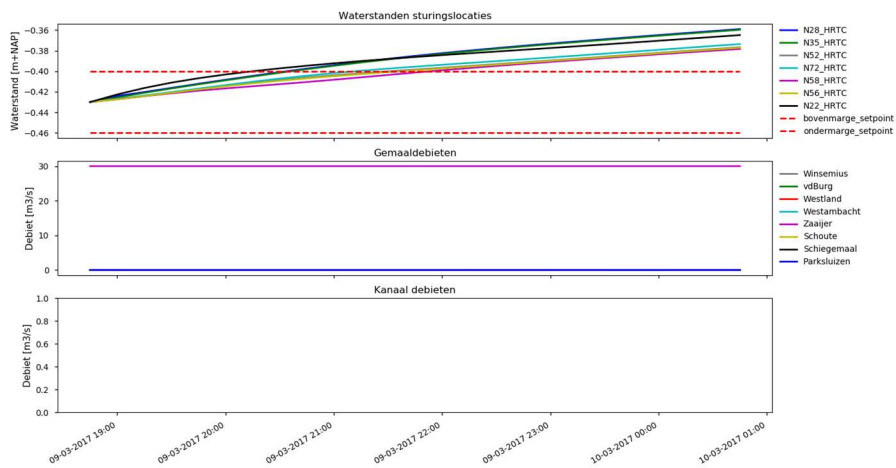
- alle initiële boezemwaterstanden gelijk aan het boezempeil;
- stationaire laterale input op de knopen gelijk de capaciteit van gemaal Zaaier (debiet gelijk verdeeld over alle laterals);
- gemaal Zaaier voert maximaal af vanaf  $t=0$ .

Door op deze manier de boezem te belasten zal uiteindelijk een stationaire situatie ontstaan waarbij scheefstand optreedt in de richting van het gemaal. Dit is ook zo gedaan bij stationaire kalibratie van het RTC-tools 1 model. Met deze test kan de waterstand en verhang van een geïsoleerde aanvoerende tak naar een gemaal worden vergeleken.

Afbeelding 3.9 Resultaat test 4, RTC-Tools 1

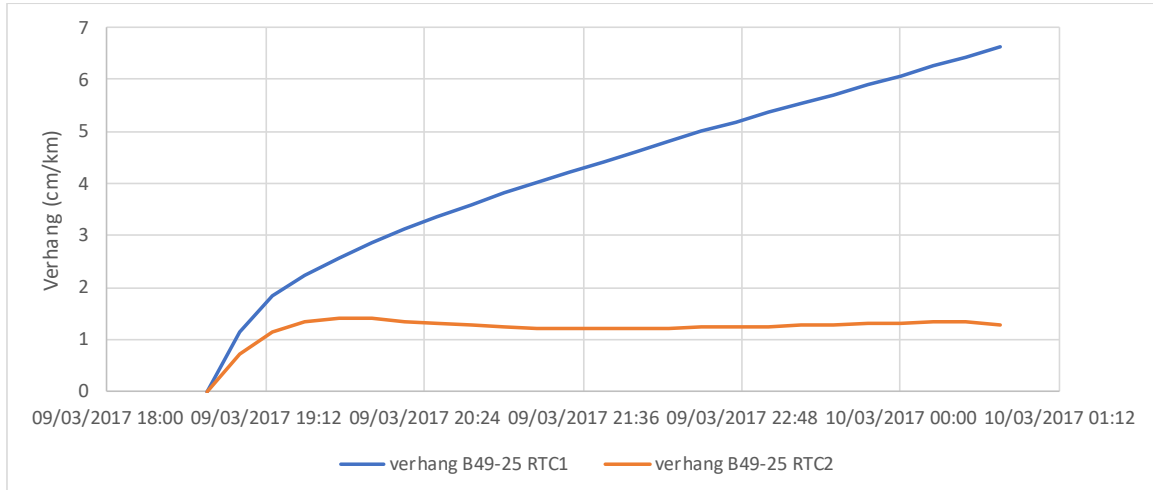


Afbeelding 3.10 Resultaat test 4, RTC-Tools 2



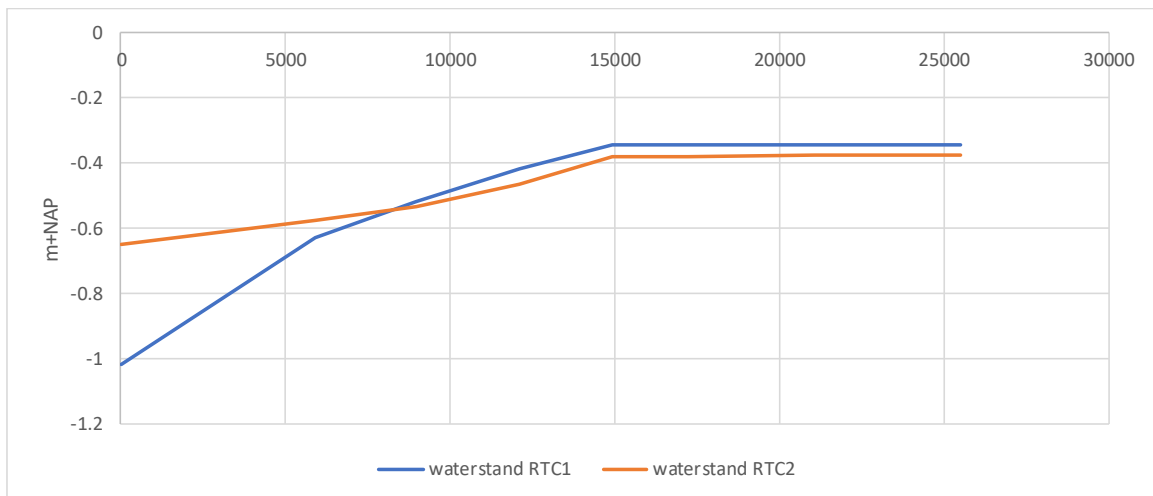
In beide modellen treedt er nog geen stationaire situatie op aan het einde van de berekening. In afbeelding 3.11 is weergegeven hoe het verhang zich instelt in de tak naar gemaal Zaaier toe. Ondanks dat de waterstanden nog niet naar een stationaire situatie zijn gegaan, valt te zien dat het verhang in de aanvoerende tak naar het gemaal al wel naar een stationaire waarde gaat in RTC-Tools 2.

Afbeelding 3.11 Verhang bovenstrooms gemaal Zaaier (tak B49-25)

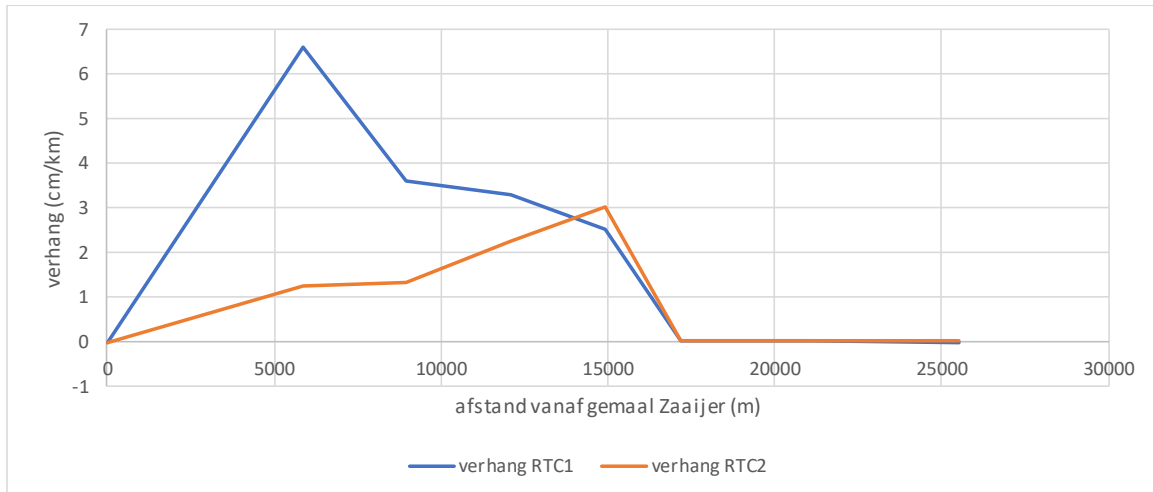


Afbeelding 3.12 toont de waterstanden op de knopen op een traject van het gemaal naar bovenstrooms, op de laatste rekentijdstap (nog geen stationaire situatie). Bij RTC-Tools 1 wordt een lager peil bij het gemaal bij het gemaal gerekend. Verder weg van het gemaal zijn de waterstanden vergelijkbaar. Een zelfde geldt voor het verhang op hetzelfde traject (afbeelding 3.13).

Afbeelding 3.12 Waterstanden traject N25-N49-N45-N51-N58-N55-N56-N64 op laatste rekentijdstap



Afbeelding 3.13 Verhang traject N25-N49-N45-N51-N58-N55-N56-N64 op laatste rekentijdstep



Een conclusie die uit test 2 t/m 4 getrokken kan worden is dat het hydraulisch model van de beide RTC-Tools modellen anders reageert bij extreme testsituaties. Ondanks dat het RTC-Tools 2 model volgt uit het RTC-Tools 1 model, zijn de modellen voorsnog niet 1-op-1 om te zetten zonder aanvullende kalibratie. Kalibratie van het RTC-Tools 2 model is op dit moment lastig door het ontbreken van de simulatiemodus.