

# MEMO

**Aan:** Paul Strohschein, collega's van het Hoogheemraadschap van Delfland en andere geïnteresseerden  
**Van:** Laura de Vries, Bertus de Graaff  
**Datum:** Januari 2023  
**Projectnummer:** PR4449.10  
**Onderwerp:** Belangrijkste resultaten en conclusies van het project TKI Visualisatie

---

## Inleiding

### Aanleiding voor het onderzoek

In 2022 is D-HYDRO als opvolger van SOBEK2 beschikbaar gekomen. Rondom de ontwikkeling van D-HYDRO zijn diverse onderzoeksprogramma's uitgevoerd in het kader van Topconsortia voor Kennis en Innovatie (TKI) om de software geschikt te maken voor toepassing binnen waterschappen. Het Hoogheemraadschap van Delfland wilde daaraan bijdragen en eerste ervaringen opdoen met de nieuwe softwarelijn en heeft met HKV een pilot gedaan voor het TKI Visualisatie project. Hierin is gekeken naar het modelleren van glastuinbouwgebied, een belangrijk aspect binnen het beheergebied van Delfland.

### Onderzoeksvraag en uitwerking

De centrale onderzoeksvraag die ten grondslag ligt aan dit project is hoe glastuinbouwgebied het beste kan worden gemodelleerd in D-HYDRO (Deltares, 2022) en hoe deze resultaten het beste kunnen worden gevisualiseerd. Belangrijke aspecten hierin zijn voor Delfland dat de modelgeneratie automatisch kan, zoals voor SOBEK2, en dat inundaties beter kunnen worden gesimuleerd dan met SOBEK2.

Om de onderzoeksvraag te beantwoorden zijn voor een pilotgebied, de Vlietpolder, variaties in de modellering toegepast om de effecten hiervan op de simulatieresultaten te kunnen evalueren. Ook is geëxperimenteerd met visualisatietechnieken voor D-HYDRO simulatieresultaten via de D-HYDRO GUI en Python scripts om visualisatie mogelijkheden te verkennen. De mogelijkheden voor automatische modelgeneratie zijn verkend met D-HyDAMO (HKV & Deltares, 2022).

### Leeswijzer

Dit memo is bedoeld als samenvatting en verantwoording van het uitgevoerde onderzoek. Meer gedetailleerde informatie over de modelgeneratie is vastgelegd in Jupyter Notebooks (HKV, 2022) en een Powerpoint-presentatie van het eindresultaat van het onderzoek (HKV, 2022).

# Methode

De methode om van basisdata naar resultaten te komen is op te delen in drie stappen: 1) data voorbereiding, 2) modelgeneratie en simulatie en 3) visualisatie van simulatieresultaten. Deze stappen zijn deel van een proces van "circulair modelleren", waarin deze stappen als cyclisch proces worden doorlopen. Eventuele fouten in het model worden aangepast in de basisdata om hiermee een nieuw model te genereren. Zo wordt gewerkt aan de kwaliteit van de basisdata om dezelfde fout in de toekomst of in andere projecten te voorkomen.

## Data voorbereiding

De data voor de modellering is door Delfland klaargezet met FME scripts. Deze scripts zetten de basisdata om naar data in HyDAMO formaat. Dit is een bruikbare input voor het genereren van een D-HYDRO model. Voor elk objecttype is een FME script gebruikt om zo makkelijk de specifieke data per object klaar te zetten. In het cyclisch modelleringsproces is de basisdata gedurende het project waar nodig verbeterd en met de FME scripts opnieuw tot HyDAMO data omgezet.

## Modelgeneratie en simulatie

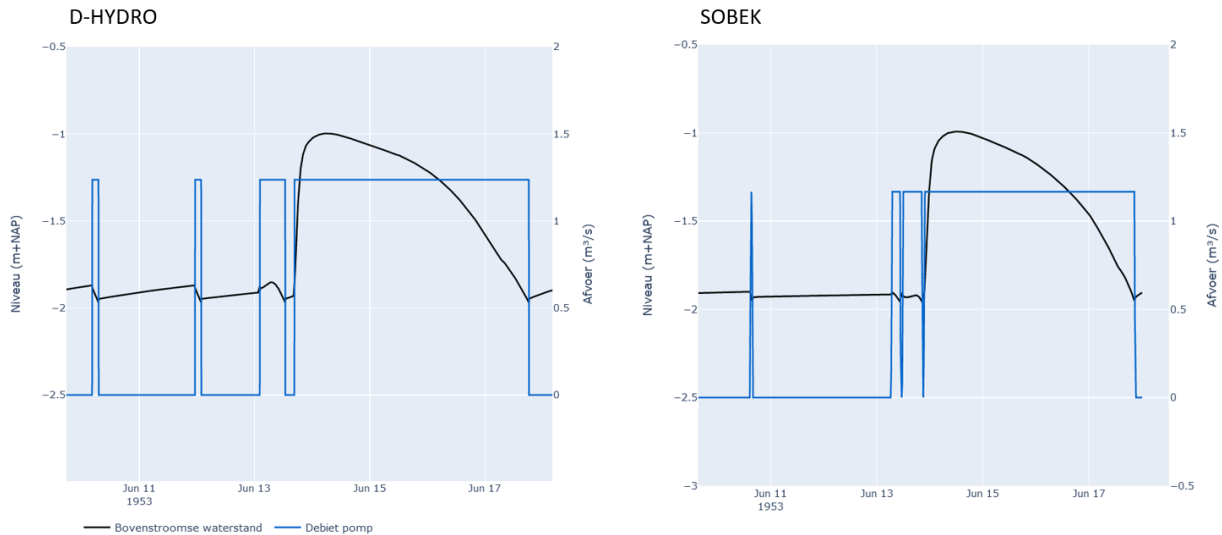
Gebruikmakend van de HyDAMO data zijn modellen gegenereerd met de D-HYDRO modelgenerator D-HyDAMO (versie 1.2.2). In de modelgeneratie is toegewerkt naar een steeds completer model (zie ook Figuur 1).



*Figuur 1 - Visualisatie van de schematisaties in de D-HYDRO GUI: van 1D schematisatie, naar een 2D model en tot slot de toevoeging van de RR modellering.*

Er is begonnen met het genereren van een 1D model met 1D waterlopen met dwarsprofielen, 1D randvoorwaarden, gemalen, stuwen en duikers. Dit model is uitgebreid tot een model met 2D grid, waarbij de grid resolutie een variabele is. De verbindingen tussen de 1D waterlopen en het 2D grid zijn laterale 1D2D koppelingen. In het 2D model is een verfijning in het grid toegepast richting de waterlopen en zijn de watervlakken rond de watergangen uitgeknipt om dubbele berging in het model te voorkomen. De hoogtes in het 2D rooster zijn bepaald op basis van het AHN4. Het hoogtemodel is opgevuld door te interpoleren voor gebieden zonder data (bijvoorbeeld gebouwen). Dit model is uitgebreid met het neerslag-afvoer concept voor onverhard gebied (Ernst), verhard gebied (SOBEK2-paved nodes) en glastuinbouw (SOBEK2-greenhouse nodes), zoals het hoogheemraadschap dat nu ook doet voor SOBEK2. Ten slotte zijn geautomatiseerde stuwen geschematiseerd via de D-HYDRO RTC-module.

Na het toevoegen van extra modelcomponenten zijn telkens controles uitgevoerd, zoals leegloopberekeningen en berekeningen met halve maatgevende afvoer om na te gaan of het model functioneert zoals verwacht. De resultaten van de meest uitgebreide modelversie zijn voor een hoogwaterperiode ook vergeleken met het SOBEK2 model van de Vlietpolder. De resultaten bleken goed vergelijkbaar (zie Figuur 2 en HKV (2022)) en op basis daarvan is besloten het D-HYDRO model te gebruiken voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag.



*Figuur 2 – Voorbeeld van de vergelijking van de modelresultaten tussen D-HYDRO en SOBEK2 voor de meest uitgebreide modelversie, doorgerekend voor een hoogwaterperiode. Hier wordt één locatie getoond: bij de benedenstroomse pomp. Meer vergelijkingen van de modelresultaten zijn te vinden in HKV (2022). Te zien is dat het gedrag van de pomp zeer vergelijkbaar is en dat de hoogwaterpeik nagenoeg gelijk verloopt en dezelfde maximale waarde heeft.*

In dit project zijn voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag vervolgens drie typen modellen opgezet, waarbij de resolutie van het 2D grid is gevarieerd (Tabel 1). Model A is voor vier herhalingstijden doorgerekend. Voor alle modellen zijn de korte buien (T10 t/m T100) van de watersysteemanalyse van Vlaardingen-Schiedam gebruikt, met een aanlooperperiode. De keuze voor een korte bui is gemaakt omdat het om een snel reagerend gebied met kassen gaat.

*Tabel 1 - Modelvarianties voor resolutie, herhalingstijden en nabewerkingsmethode.*

	1D	2D	2D verfijning	Herhalingstijden	Methode nabewerking
<b>A</b>	10m	10m	5m	T100, T50, T25, T10	D-HYDRO, SOBEK
<b>B</b>	10m	5m	2.5m	T100	D-HYDRO
<b>C</b>	10m	20m	5m	T100	D-HYDRO

De tijd van het genereren van de modellen en het runnen van de verschillende modellen is zeer afhankelijk van de complexiteit van de modellen (denk aan celgrootte, 1D rekenpunt afstand, verfijning, etc.). Ook is de rekentijd afhankelijk van looptijd, type bui, etc. De rekentijd van de modellen gebruikt in deze analyse varieert tussen 25 minuten en 2 uur 30 minuten, lokaal gerund.

## Visualisatie van de inundatieresultaten

Voor de visualisatie van D-HYDRO zijn de resultaten van D-HYDRO direct gebruikt, zonder verdere aanpassingen. De D-HYDRO nabewerking bevat de resultaten van de 2D berekening, met waterstanden en stroming in de waterlopen (1D) en op het maaiveld (2D), inclusief het verloop over de tijd. Deze resultaten zijn te analyseren in de D-HYDRO GUI of te exporteren naar bijvoorbeeld QGIS.

Om de verschillen met inundatiebeelden voor SOBEK2 te vergelijken, zijn de resultaten van model A ook met de "SOBEK2 methode" nabewerkt (Tabel 1). De SOBEK2 nabewerkingsmethode is de methode zoals deze eerder werd toegepast met SOBEK2 berekeningen. Voor dit project is voor deze methode de waterstand per afvoergebied berekend met D-HYDRO en geprojecteerd op het hoogtebestand (2D rekengrid zoals gebruikt in D-HYDRO) binnen dit afvoergebied. Waar de waterstand boven het maaiveld staat is het gebied geïnundeerd (diepte = maximale waterstand – maaiveldhoogte). Het kan voorkomen dat inundaties niet aan een waterloop raken. De op deze wijze geïnundeerde gebieden kunnen niet vanuit de waterloop zijn geïnundeerd. Hiervoor is gecorrigeerd door inundaties die niet aan een waterloop grenzen te verwijderen. De SOBEK2 nabewerkingsmethode bevat dus maximale waterstanden op de observatiepunten (hier: laterale knopen) en de maximale waterdieptes op het 2D grid. De methode levert geen ruimtelijke en temporele stromingsbeelden gedurende de inundatie.

# Resultaten van het onderzoek

## Onderzoek naar geschikte 2D resolutie voor Delfland

Zoals weergegeven in Tabel 1 zijn de D-HYDRO modellen gevarieerd op drie vlakken: resolutie, herhalingstijd en nabewerkingsmethode. De variatie in herhalingstijden is met name gebruikt om het gedrag van het model te valideren. Dit was zoals verwacht: bij hogere herhalingstijd is er meer inundatie, en de toenames en patronen van inundatie zijn zoals verwacht. De resultaten van de variaties in resolutie en nabewerkingsmethode worden in deze sectie toegelicht.

Uit de variaties in 2D modelresolutie en de daaruit volgende inundatiebeelden (hier niet getoond, zie HKV (2022)) kunnen we concluderen dat vooral de resolutie langs de watergangen het inundatiebeeld bepaalt. Een fijn grid van 2.5 m rond de watergangen resulteert in een ander, vermoedelijk nauwkeuriger, patroon van inundatie. Door deze fijnere resolutie wordt het maaiveld langs de waterlopen nauwkeuriger meegenomen en het maaiveld blijkt hier soms hoger te liggen dan verder in de percelen, waardoor er inundaties vanuit de watergangen niet of later optreden.

Tabel 2 presenteert het geïnundeerde oppervlak en volume voor de drie varianten in de T100 situatie. Opvallend is dat het inundatieoppervlak afneemt met een fijner grid en dat het inundatievolume toeneemt bij een fijner grid. Dit betekent dat de inundatiedieptes gemiddeld groter zijn. Dit is in dit project niet verder geanalyseerd, omdat de verschillen niet groot zijn en dit vermoedelijk aanvullende analyses en mogelijk simulaties vereist.

Tabel 2 – Inundatie oppervlak en volume voor de modelvarianties (allemaal T100).

	1D	2D	2D verfijning	Oppervlak	Volume
<b>C</b>	10m	20m	5m	397 106 m <sup>2</sup>	44 397 m <sup>3</sup>
<b>A</b>	10m	10m	5m	389 505 m <sup>2</sup>	44 830 m <sup>3</sup>
<b>B</b>	10m	5m	2.5 m	370 565 m <sup>2</sup>	46 174 m <sup>3</sup>

## Onderzoek naar voordelen van D-HYDRO ten opzichte van SOBEK2

De resultaten van de nabewerkingsmethodes zijn weergegeven in Tabel 3. De verschillen tussen beide methodes zijn aanzienlijk. Dit kan met name worden verklaard door een verschil in de fysica. Bij kortdurende hoge waterstanden treedt in D-HYDRO minder inundatie op dan in de SOBEK2 nabewerkingsmethode. Dit komt doordat er in de D-HYDRO door de korte duur van de hoogwaterstand relatief weinig water het maaiveld op stroomt. In de SOBEK2 nabewerkingsmethode wordt ervan uitgegaan dat deze waterstand eeuwig durend hoog blijft en inundeert een groter gebied. We concluderen dat de met D-HYDRO gesimuleerde inundaties plausibeler zijn.

Tabel 3 – Inundatie oppervlak en volume voor de nabewerkingsmethodes (beiden T100).

	1D	2D	2D verfijning	Oppervlak	Volume
D-HYDRO					
<b>A</b>	10m	10m	5m	389 505 m <sup>2</sup>	44 830 m <sup>3</sup>
D-HYDRO berekening met SOBEK2 nabewerkingsmethode					
<b>A</b>	10m	10m	5m	602 115 m <sup>2</sup>	86 092 m <sup>3</sup>

Een ander verschil tussen de twee methodes ontstaat door het gebruik van de afwateringsgebieden in de SOBEK2 methode voor nabewerking. In deze methode worden de waterstanden opgelegd per afwateringsgebied. Het water kan niet over de grenzen van deze gebieden heen stromen, waar dit fysisch gezien wel zou gebeuren. In D-HYDRO kan dit wel en we concluderen dat de met D-HYDRO gesimuleerde inundaties nauwkeuriger zijn.

Tenslotte merken we op dat het interpreteren van de inundatiebeelden met D-HYDRO eenvoudiger is. Door het visualiseren van de stroomsnelheden en -richtingen in de tijd, is snel inzichtelijk waar inundaties vanuit de watergang starten en ook hoe het inundatiepatroon zich ontwikkelt (hier niet getoond, zie HKV (2022)).

## Producten voor automatische modelgeneratie

In dit project zijn FME scripts opgezet die de basisdata van Delfland omzetten naar HyDAMO v12 gml format. Dit format is te gebruiken om geautomatiseerd modellen op te zetten met D-HyDAMO. Daarnaast heeft Delfland door dit project de beschikking gekregen over de D-HyDAMO V1.2.2 modelgeneratiescripts, die zijn toegespitst op de Vlietpolder. Met deze scripts kan vanuit de HyDAMO data geautomatiseerd een model worden gegenereerd voor deze polder. Voor andere gebieden kan dit script als basis worden gebruikt en verder uitgewerkt worden voor het specifieke gebied.

# Conclusies en aanbevelingen

Het uitgevoerde onderzoek leidt tot de volgende conclusies:

- Met het onderzoek heeft Delfland de beschikking gekregen over FME scripts en een Jupyter Notebook om vanuit basisdata geautomatiseerd modellen op te zetten met D-HyDAMO V1.2.2.
- Medewerkers van Delfland hebben kennisgemaakt met het D-HYDRO modelleringsproces. De medewerkers hebben zich de datavoorbereiding voor D-HyDAMO eigen gemaakt. Ook hebben ze kennisgemaakt met de modelgeneratie in D-HyDAMO en, in mindere mate, met werken in D-HYDRO zelf.
- Het bleek door beperkte ICT capaciteit bij Delfland niet mogelijk om de Python omgeving voor modelgeneratie bij Delfland te installeren. Hierdoor heeft het hoogheemraadschap niet zelf de modelgeneratie kunnen uitvoeren of kunnen reproduceren binnen de omgeving van Delfland.
- D-HYDRO simuleert het proces van inundatie nauwkeuriger dan de huidige methode die het hoogheemraadschap gebruikt met SOBEK2. Dit komt doordat in D-HYDRO de fysica van de inundatie meegenomen wordt bij het bepalen van de inundatiekaarten. In de SOBEK2 nabewerkingsmethode is voor elk observatiepunt het invloedsgebied vastgelegd (in deze studie de peilgebieden). Het water kan maximaal tot die grenzen stromen. In D-HYDRO is deze beperking er niet binnen het 2D rooster. Deze grenzen kunnen zo nodig wel worden geschematiseerd in D-HYDRO. Bij kortdurende hoogwaterstanden inundeert in D-HYDRO bovendien een kleiner gebied doordat de fysica van de korte hoge waterstand die het maaiveld op stroomt wordt meegenomen.
- Met D-HYDRO is door de visualisatie van waterstanden, stroomsnelheden en -richtingen over de tijd beter inzichtelijk hoe inundaties ontstaan en zich ontwikkelen.
- Door het verfijnen van het 2D grid richting de watergangen wordt de aansluiting tussen het 1D en 2D model nauwkeuriger. Daarnaast zien we dat de hoogteligging van het maaiveld direct naast de watergang een belangrijke invloed heeft op het al dan niet inunderen van gebieden. We verwachten dat het inundatiebeeld nauwkeuriger wordt als de maaiveldhoogte langs de watergangen nauwkeuriger (met fijner grid) wordt geschematiseerd. In plaats van verfijning, of als aanvulling op verfijning, kunnen fixed weirs (hoge lijnelementen) worden toegepast (niet onderzocht in dit project).

Het uitgevoerde onderzoek leidt tot de volgende aanbevelingen:

- De FME scripts zoals gebruikt voor het klaarzetten van de data in dit project zijn gebaseerd op HyDAMO v12 gml-format. Inmiddels is de overstap gemaakt naar de nieuwe standaard van Het Waterschapshuis (HWH): HyDAMO DAMO 2.2 gpk-format. Wij adviseren het hoogheemraadschap haar FME-scripts aan te passen en dit nieuwe formaat te genereren. Dit heeft als voordeel dat met nieuwe en verbeterde D-HyDAMO versies kan worden gewerkt. Daarnaast kan met dit formaat de Validatietool worden gebruikt om data voorafgaand aan modelleringen te valideren en verbeteren. Ten slotte merken we op dat het hoogheemraadschap het nieuwe formaat kan delen met andere waterbeheerders, bijvoorbeeld als er een datavraag komt voor nieuwe modellering voor het Landelijk Hydrologisch Model.
- We adviseren om de Python omgeving voor de modelgeneratie met D-HyDAMO bij Delfland te installeren en de modelgeneratie daarmee te reproduceren binnen Delfland, zodat Delfland ook binnen haar omgeving de mogelijkheid heeft om geautomatiseerd D-HYDRO modellen te genereren.

- Dit project heeft zich gericht op de modellering van landelijk gebied met glastuinbouw. Voor de modellering van het beheergebied van Delfland is de modellering van rioolssystemen ook van groot belang. We adviseren de mogelijkheden van het schematiseren en simuleren van rioolssystemen in D-HYDRO nader te onderzoeken in een pilotstudie.
- Het simulatiepakket D-HYDRO verschilt wezenlijk van SOBEM2, zowel de bediening via de gebruikersschil als ook de wijze van de 1D en 2D schematisatie. Wij adviseren bij de implementatie van D-HYDRO binnen Delfland voldoende aandacht te besteden aan de ICT-omgeving voor automatische modelgeneratie, trainingen voor medewerkers en het aan het aanpassen van de standaard werkwijze op basis van ervaringen met pilotprojecten.

## Referenties

Deltares. (2022). *D-Flow Flexible Mesh, User Manual*.

HKV. (2022). *Oplevering PR4449.10 - Jupyter Notebooks*.

HKV. (2022). *Oplevering PR4449.10 - Powerpoint Presentatie "TKI\_resultaten\_13okt"*.

HKV. (2022). *Oplevering PR4449.10 - Vergelijking Sobek met D-HYDRO*.

HKV, & Deltares. (2022). *D-HyDAMO wiki*. Retrieved from

<https://hkvconfluence.atlassian.net/wiki/spaces/DHYD/pages>