

IMPLEMENTATIEPLAN

D-HYDRO Suite voor Toekomstgericht Waterbeheer Rijnland

Modellering, kalibratie en scenarioanalyse op basis van
open data van Rijnland, Rijkswaterstaat en GeoNovum/PDOK

Water Natuurlijk Rijnland

Versie 1.0 — Februari 2026

Opgesteld door: Marc Minnee

1. Inleiding en context

1.1 Aanleiding

Het Hoogheemraadschap van Rijnland voert momenteel de studie Toekomstgericht Waterbeheer Rijnland (TGWR) uit, een visievormend traject dat een robuuste strategie moet opleveren voor het waterbeheer richting 2050–2100 en verder. De impactanalyse (fase 1, afgerond februari 2025) heeft de mogelijke gevolgen van klimaatverandering in kaart gebracht: verzilting, zeespiegelstijging, heftigere neerslag, langere droogteperioden en bodemdaling. In de opiniefase (fase 2, gestart april 2025) worden maatregelen onderzocht.

Om deze maatregelen kwantitatief te onderbouwen is een integraal hydrologisch-hydrodynamisch model van het Rijnlandse watersysteem noodzakelijk. Dit plan beschrijft de implementatie van de D-HYDRO Suite als modelinstrumentarium, gevoed met open data van Rijnland, Rijkswaterstaat, KNMI en het nationale geodataplatform PDOK/GeoNovum.

1.2 Doelstelling

Het opbouwen van een operationeel D-HYDRO 1D2D-model van het beheergebied van Rijnland dat:

- het volledige boezemstelsel en de belangrijkste polderwatersystemen representeert (watergangen, gemalen, stuwen, duikers, sluizen);
- het neerslag-afvoerproces simuleert inclusief kwel, infiltratie en verdamping;
- de sturing van kunstwerken (Real Time Control) modelleert;
- Klimaatscenario's (KNMI'23) kan doorrekenen voor het Rijnlandse gebied;
- beleidsopties uit de TGWR-studie kwantitatief vergelijkt op waterveiligheid, wateroverlast, watertekort en waterkwaliteit;
- input levert voor het komende Waterbeheerprogramma 7 (WBP7) en de waterschapsverkiezingen 2027.

1.3 Aansluiting bij de TGWR-visie

De TGWR-studie kent drie strategische pijlers waar het model op moet aansluiten:

1. **Water en Bodem Sturend:** ruimtelijke inrichting wordt getoetst aan watercondities — het model moet ruimtelijke scenario's kunnen doorrekenen.
2. **Klimaatadaptatie:** het model moet KNMI'23-scenario's doorvertalen naar effecten op het Rijnlandse watersysteem (hoekpunten Hd, Hn, Ld, Ln).
3. **Samenwerking en stakeholders:** resultaten moeten deelbaar zijn met gemeenten, provincie en burgers — open standaarden en transparante data zijn voorwaardelijk.

2. Modelarchitectuur en toolchain

2.1 D-HYDRO Suite 1D2D als kern

De D-HYDRO Suite is de door Deltares ontwikkelde opvolger van SOBEK en bevat het rekenhart D-Flow Flexible Mesh (D-Flow FM). Voor het regionale waterbeheer van Rijnland gebruiken we de 1D2D-configuratie:

- **1D-netwerk:** watergangen, boezemkanalen, duikers, gemalen, stuwen en sluizen als lijnmodel.
- **2D-maaiveld:** ongestructureerd rooster (Flexible Mesh) op basis van AHN4-hoogtegegevens voor overstromingsmodellering.
- **1D2D-koppeling:** laterale links tussen watergangen en het maaiveld voor inundatieberekeningen.
- **D-RTC (Real Time Control):** sturing van gemalen en stuwen (PID-controllers, intervalcontrollers).
- **D-Hydrology (RR):** neerslag-afvoermodule per afwateringsgebied (Ernst-concept of HBV).

2.2 D-HyDAMO als modelgenerator

D-HyDAMO is een open source Python-module (onderdeel van HYDROLIB) waarmee automatisch een compleet D-HYDRO 1D2D-RTC-RR model wordt gegenereerd uit brondaten in het HyDAMO DAMO 2.2 geopackage-formaat. Dit is de standaard die het Waterschapshuis stimuleert bij alle 21 waterschappen.

De workflow is:

- Brondaten Rijnland converteren naar HyDAMO DAMO 2.2 geopackage
- Validatie met de HyDAMO Validatietool
- Automatische modelgeneratie met D-HyDAMO (Jupyter Notebooks)
- Verrijking met 2D-rooster (AHN4), landgebruik (BGT) en meteorologie (KNMI)
- Kalibratie en validatie met meetdata van Rijnland en Rijkswaterstaat

2.3 Softwarestack (volledig open source)

Component	Software	Licentie
Rekenhart	D-HYDRO Suite 1D2D (D-Flow FM)	GNU AGPL (open source)
Modelgeneratie	D-HyDAMO via HYDROLIB	LGPL 3.0
Pre/postprocessing	HYDROLIB-core (Python)	MIT
Datavalidatie	HyDAMO Validatietool	Open source
GIS-verwerking	QGIS + Python (GeoPandas, Rasterio)	GPL / BSD
Dataopslag	GeoPackage (OGC-standaard)	Open standaard
Visualisatie	D-HYDRO GUI (Delta Shell) / QGIS	Deltares / GPL

3. Open databronnen en ontsluiting

3.1 Databronnen Hoogheemraadschap van Rijnland

Dataset	Inhoud	Formaat	Bron
Legger Watersysteem	Watergangen, keringen, kunstwerken met afmetingen en beheerinfo	ArcGIS / GeoPackage	rijnland.maps.arcgis.com
Peilbesluiten	Vastgestelde waterpeilen per peilgebied	PDF / GIS	rijnland.net
Meetdata telemetrie	Waterstanden, debieten, neerslag realtime	API / CSV	Rijnland waterbeheer
DAMO-data	Gestandaardiseerde objectdata watersysteem	HyDAMO DAMO 2.2	Waterschapshuis GkW
KRW-monitoring	Waterkwaliteitsmetingen 40 waterlichamen	CSV / database	Rijnland
Klimaateffectatlas	Wateroverlast, hitte, droogte risico's	WMS/WFS	klimaateffectatlas.nl

3.2 Nationale databronnen via PDOK / GeoNovum

Dataset	Gebruik in D-HYDRO	Service	Aanbieder
AHN4 (0,5m)	2D-maaiveldhoogtemodel, inundatiediepte	WCS / Download	PDOK
BGT	Landgebruik, verharding, wateroppervlak voor ruwheidskaart	OGC API / WFS	PDOK (Kadaster)
BRO	Bodemopbouw, grondwaterstanden, geohydrologie	REST API	PDOK (TNO)
Waterschapsdata	Landelijke waterschapsdata via GkW	WMS/WFS	PDOK (Waterschapshuis)
BAG	Gebouwlocaties, -functies voor schadeberekeningen	OGC API	PDOK (Kadaster)
TOP10NL	Topografie referentiekaart	WMS/WMPS	PDOK

3.3 Rijkswaterstaat en KNMI

Dataset	Gebruik	Toegang	Bron
Waterinfo RWS	Waterstanden, debieten grote wateren (Oude Rijn, Noordzeekanaal)	API waterinfo.rws.nl	Rijkswaterstaat

NWM data	Randvoorwaarden boezemmodel (zeewaterstanden, Rijnafvoer)	waterinfo-extra.rws.nl	Rijkswaterstaat
KNMI'23 scenario's	Klimaatprojecties neerslag, temperatuur, verdamping 2050/2100	KNMI Data Platform	KNMI
KNMI meetdata	Historische neerslag, verdamping (stations + radar)	KNMI Data Platform API	KNMI
Afvoerscenario's	Rijn/Maas afvoerrekenen bij KNMI'23 scenario's	Excel download	Deltares/RWS

4. Implementatiefasen

Fase 1: Data-inventarisatie en -voorbereiding (maand 1–2)

1a. Dataverzameling

- Ovragen DAMO 2.2 / HyDAMO-data van Rijnland via het Gegevensknooppunt Waterschappen (GkW)
- Downloaden AHN4 voor het beheergebied Rijnland (ca. 1.100 km²) via PDOK WCS
- Downloaden BGT-wateroppervlakken en verhardingsdata via PDOK OGC API Features
- Ophalen BRO-data: grondwaterstandsmetingen, bodemopbouw, geohydrologische profielen
- Downloaden historische KNMI neerslag-/verdampingsdata (uurwaarden, radardata)
- Ophalen Waterinfo RWS: waterstanden Katwijk, IJmuiden, Gouda, Bodegraven

1b. Dataconversie en validatie

- Conversie Rijnland-brondata naar HyDAMO DAMO 2.2 GeoPackage met Python/FME
- Validatie met de HyDAMO Validatietool (controle op ontbrekende attributen, topologische fouten)
- Aanvullen ontbrekende data: bodemprofelen watergangen, capaciteiten gemalen, stuurregels
- Kwaliteitscontrole meetreeksen: uitbijters, gaten opvullen, consistentiecheck

Fase 2: Modelopbouw met D-HyDAMO (maand 3–4)

2a. 1D-netwerk generatie

- Automatische schematisatie watergangen, stuwen, gemalen, duikers uit HyDAMO GeoPackage via D-HyDAMO Jupyter Notebooks
- Handmatige controle en aanpassing van kruispunten, bifurcaties en boezemverbindingen
- Schematisatie van het boezemstelsel als ruggengraat (Oude Rijn, Heimanswetering, Aarkanaal, Drecht)
- Selectie polderwatersystemen: start met 5–10 representatieve polders (veen, klei, stedelijk, glastuinbouw)

2b. 2D-rooster en maaiveld

- Generatie Flexible Mesh-rooster in D-HyDAMO met verfijning in stedelijk gebied en dijkzones
- Toekennen AHN4-maaiveldhoogten aan 2D-roostercellen
- Ruwheidskaart op basis van BGT-landgebruik (Manningcoëfficiënten per landgebruiksklasse)
- 1D2D-koppeling: laterale links tussen watergangen en maaiveldcellen

2c. Neerslag-afvoer en sturing

- Schematisatie afwateringsgebieden met Ernst-concept (neerslag-afvoer per deelgebied)
- Definiëren gewas-/bodemparameters per afwateringsgebied op basis van BRO en BGT
- Implementatie kunstwerksturing via D-RTC: PID-controllers op hoofdgemalen, intervalcontrollers op poldergemalen

- Schematiseren gebiedsregelingen (boezemgemaal Katwijk, Spaarndam, Halfweg)

Fase 3: Kalibratie en validatie (maand 5–7)

3a. Kalibratieaanpak

De kalibratie richt zich op drie niveaus:

- **Steady-state:** gemiddeld peilbeheer in zomer- en winterperiode. Toetsing aan vastgestelde peilen uit peilbesluiten.
- **Dynamisch (events):** nabootsen van bekende piekbuien (bijv. zomer 2021, voorjaar 2023) en droogteperioden (2018, 2022). Vergelijking met gemeten waterstanden en debieten.
- **Waterkwaliteit (optioneel):** chloride/zoutgehalten in boezem en polders als proxy voor verzilting.

3b. Kalibratieparameters

- Ruwheid watergangen (Manning n-waarden)
- Bergingscoëfficiënten afwateringsgebieden
- Capaciteiten en aan-/afslagpeilen gemalen
- Kwel-/infiltratiefactoren per bodemtype
- Initieel grondwaterstand en bodemvocht

3c. Validatie

- Onafhankelijke validatieperiode (andere jaren dan kalibratie)
- Statistische toetsing: Nash-Sutcliffe, RMSE, bias per meetlocatie
- Ruimtelijke validatie: inundatiekaarten vergelijken met historische overlastmeldingen

Fase 4: Scenario-analyse TGWR (maand 8–10)

4a. Klimaatscenario's doorrekenen

Doorrekenen van de vier KNMI'23-scenario's (Ld, Ln, Hd, Hn) voor de zichtjaren 2050 en 2100:

- Toepassen neerslagveranderingen en verdampingswijzigingen op de neerslag-afvoermodule
- Aanpassen zeewaterstanden en Rijnafvoeren als randvoorwaarden (uit RWS afvoerscenario's)
- Doorrekenen zeespiegelstijgingsscenario's op boezemafvoer via Katwijk en sluizen
- Verziltingsmodellering: zoutindringing via duinen en via inlaatpunten vanuit de Hollandsche IJssel

4b. Beleidsmaatregelen doorrekenen

Doorrekenen van mogelijke maatregelen uit de TGWR-studie:

- **Piekbergingen:** effect van extra bergingscapaciteit in aangewezen gebieden.
- **Peilverhogingen veenweide:** effect van hogere polderpeilen op bodemdaling, broeikasgasuitstoot en wateroverlast.
- **Zoetwateraanvoer:** capaciteitsvergroting inlaatpunten, alternatieve aanvoerroutes.
- **Waterkeringversterkingen:** effect hogere/bredere keringen op overstromingsrisico.
- **Stedelijke adaptatie:** effect vergroening, ontkoppeling hemelwater op lokale wateroverlast.
- **Slim sturen:** optimalisatie gemaal- en stuwssturing met real-time controllers.

4c. Rapportage

- Kaarten: waterdiepteverschillen, inundatieduurkaarten, zoutverspreidingskaarten per scenario
- Indicatoren per polder/deelgebied: overstromingsfrequentie, maximale waterdiepte, droogteschade, zoutconcentratie
- Kosten-batenratio's van maatregelenpakketten (in samenwerking met financieel team)
- Input voor routekaart WBP7 en WBS-programma

5. Planning en benodigde middelen

5.1 Tijdlijn

Fase	Activiteiten	Periode	Doorlooptijd
1	Data-inventarisatie, conversie HyDAMO, validatie	Maand 1–2	8 weken
2	Modelopbouw: 1D, 2D, RR, RTC via D-HyDAMO	Maand 3–4	8 weken
3	Kalibratie en validatie	Maand 5–7	12 weken
4	Scenario-analyse TGWR, rapportage	Maand 8–10	12 weken
5	Oplevering, kennisoverdracht, documentatie	Maand 11–12	8 weken

5.2 Benodigde expertise

- Hydroloog/modelleur:** ervaring met D-HYDRO Suite, D-HyDAMO, Python. Minimaal 0,5 FTE gedurende 12 maanden.
- GIS-specialist:** AHN, BGT, PDOK-ontsluiting, dataconversie. 0,2 FTE gedurende 4 maanden.
- Waterbeheerder Rijnland:** domeinkennis sturing, peilbeheer, gebiedskennis. 0,1 FTE als klankbord.
- Deltares/HKV ondersteuning:** technische support D-HYDRO/D-HyDAMO. Op afroep (10–20 dagen).

5.3 Hardware en software

D-HYDRO Suite is open source (GNU AGPL) en draait op een standaard Windows-werkstation. Voor grotere runs met 2D-modellering is een machine met minimaal 32 GB RAM en een snelle multi-core processor aanbevolen. De gehele toolchain (Python, QGIS, HYDROLIB, D-HyDAMO) is kosteloos.

Voor de D-HYDRO GUI (Delta Shell) is een Deltares-licentie nodig. Alternatief kan het model volledig via Python-scripts en QGIS worden beheerd.

6. Open data strategie en standaarden

6.1 GeoNovum-standaarden

Het project sluit aan op de Nederlandse geo-standaarden die GeoNovum beheert:

- OGC API Features:** nieuwe standaard (opvolger WFS) voor het ophalen van geodata van PDOK. De BGT, BAG en waterschapsdata worden hier steeds meer mee ontsloten.
- GeoPackage:** OGC-standaard voor opslag van geodata (vervangt shapefiles). HyDAMO DAMO 2.2 gebruikt dit formaat.
- INSPIRE-compliance:** het model en de outputdata voldoen aan INSPIRE-richtlijnen voor ruimtelijke data.
- Pas-toe-of-leg-uit:** alle gebruikte standaarden staan op de lijst van het Forum Standaardisatie.

6.2 Data-ontsluiting via PDOK

Alle invoerdata worden zoveel mogelijk via PDOK-services opgehaald, wat reproduceerbaarheid en actualiteit garandeert. De Python-scripts voor data-ophaling worden gedocumenteerd zodat het model eenvoudig kan worden geactualiseerd wanneer nieuwe data beschikbaar komt (bijv. AHN5, nieuwe KNMI-scenario's).

6.3 Resultaatdeling

Modelresultaten (scenario-kaarten, indicatoren) worden waar mogelijk als open data gepubliceerd, conform de Wet open overheid en het open-data-beleid van Rijnland. Dit ondersteunt de transparantie die nodig is voor de stakeholderdialoog in de TGWR-opiniefase.

7. Risico's en mitigatie

Risico	Impact	Kans	Mitigatie
HyDAMO-data Rijnland niet compleet of niet actueel	Hoog – modelkwaliteit	Middel	Vroegtijdig GkW-data opvragen; aanvullen met leggerdata
D-HYDRO 1D2D stabiliteitsproblemen bij grote modellen	Middel – vertraging	Laag	Deltares support; starten met deelmodel, opschalen
KNMI'23 data niet direct bruikbaar als modelinvoer	Middel – extra werk	Middel	Gebruik Deltares afvoerscenario's als vertaalslag
Gebrek aan kalibratiedata (debieten poldergemalen)	Hoog – modelonzekerheid	Middel	Gebruiken beschikbare telemetriedata; onzekerheidsanalyse
Capaciteitsgebrek modelleerexpertise	Hoog – vertraging	Laag	HKV/Deltares als onderaannemer; Deltares Software Dagen cursus

8. Aanbevelingen en vervolgstappen

Op basis van dit implementatieplan adviseren wij:

- **Start met een pilotgebied:** bouw eerst een gedetailleerd model voor 1–2 representatieve polders (bijv. een stedelijke polder in Leiden en een veenweidepolder bij Nieuwkoop). Valideer de werkwijze voordat het volledige beheergebied wordt geschematiseerd.
- **Sluit aan bij de HYDROLIB-community:** de landelijke samenwerking rond D-HyDAMO en HYDROLIB is actief. Door aan te sluiten profiteer je van gedeelde toolontwikkeling en ervaringen van andere waterschappen.
- **Volg de Deltares Software Dagen 2025:** de cursus 'D-HYDRO 1D2D oppervlaktewatermodellering voor waterschap toepassing' en de D-HyDAMO workshop zijn direct relevant.
- **Integreer met WBS-programma:** de TGWR-studie levert begin 2026 een robuuste strategie op. De modelresultaten dienen als kwantitatieve onderbouwing voor het programma Water en Bodem Sturend van Rijnland.
- **Digitale tweeling perspectief:** op termijn kan het D-HYDRO model worden doorontwikkeld tot een operationeel voorspelsysteem via Delft-FEWS, waarmee Rijnland real-time kan voorspellen en sturen.
- **Open source en soevereiniteit:** de volledige toolchain is open source en Europees ontwikkeld (Deltares, HKV). Dit past bij de digitale soevereiniteitsdoelstellingen en voorkomt vendor lock-in.

Dit document is opgesteld als werkinstrument voor Water Natuurlijk Rijnland en kan worden gedeeld met het Hoogheemraadschap van Rijnland en betrokken stakeholders ter ondersteuning van het traject Toekomstgericht Waterbeheer.