

## Vernieuwing modelinstrumentarium waterverdeling

### Advies aan Rijkswaterstaat

Peter Gijsbers, Martijn Visser, Ivo Miltenburg, Timo Kroon  
Hans Korving

6 april 2021

# Inhoudsopgave

## Terugkijken traject 2016-2019

- Eisen
- Waterverdelingsalgoritmen (achtergrond)
- Advies
- Implementatie
- Lessons learned

## Hernieuwd traject 2021-2025 (?)

- Herbezinning vanuit Rijkswaterstaat
  - Besluitvormingsproces waterverdeling in Nederland
  - Eisen voor instrumentarium
- Voorgesteld modelleer aanpak:
- Advies t.a.v. codes
- Advies t.a.v. schematisatie aanpak

# Eisen vanuit Rijkswaterstaat

## Algemeen:

- vervang code DM en Mozart
- **open source**, onderhoud door **breed team**
- voldoende snel (niet langzamer dan huidig DM/Mozart)

## Eisen vanuit **waterverdeling**

- vraag- en prioriteit gestuurd
- sturing afhankelijk van externe (chloride) condities
- verdeelregels

## Eisen vanuit **waterkwaliteit**

- accurate fysische weergave, **geen kunstmatige menging** van water- en stromen in districten
- hydrologie representatief voor de huidige situatie
- binnen LSW onderscheid in doorgaand water en haarvaten met bijbehorende verschillende **verblijftijden**
- LSW begrenzing uit de tijd, sluit niet aan op **indeling KRW-lichamen**
- Bij voorkeur 1 hydrologische resultaat dataset voor gehele watersysteem (ter vervanging combinatie LSM + Mozart resultaten)

# Waterverdelingsalgoritmen: optimalisatie vs. heuristische simulatie

## Simulatie:

- alle **beslisvariabelen** (bv. verdeelsleutels) zijn **vastgelegd**, waarmee automatisch de oplossing is vastgelegd (deze moet alleen berekend door het stelsel vergelijkingen op te lossen)
- ruimtelijke verdeling, per tijdstap uitgerekend
- RIBASIM/DM: heuristisch bakjes schuiven op basis van if-then-else regels. Goed te combineren met prioritering
- D-HYDRO: St. Venant vergelijkingen oplossen met feedback control regels. Moeilijk te combineren met prioritering

## Optimalisatie:

- alle **bependingen** zijn **vastgelegd**, **doelfunctie** bepaalt de waarden van beslisvariabelen
- prioritering doormiddel van sequentieel oplossen van set optimalisatieproblemen (elke prioriteit verkleint beslisruimte)
- normalisatie/schaling nodig zodat 1cm peilverandering even zwaar meetelt bij grote en kleine wateren
- ruimtelijke optimalisatie per tijdstap (pywr, Modsim, WEAP, RTC-Tools)
- ruimtelijk-temporele optimalisatie over tijdshorizon (RTC-Tools, ...)

# Waterverdelingsalgoritmen: optimalisatie vs. heuristische simulatie

Sturing opties voor waterverdeling

- i. doorvoer/capaciteitsbeperking op waterloop
- ii. waterlevering aan gebruikers conform verdringingsreeks
- iii. spreidingspatroon op splitsingspunten volgens een verdeelsleutel en/of weegfactoren

**DM** hanteert op basis van **code** design de volgorde (i)-(iii)-(ii).

eerst verspreidingspatroon bepalen, dan watervraag leveren

**RTC-Tools** hanteert op basis van **data** de volgorde (i)-(ii)-(iii)

eerst watervraag leveren, dan verspreidingspatroon zo dicht mogelijk bij gewenst patroon brengen

RTC-Tools biedt m.b.v. prioriteitenwijziging de mogelijkheid tot (i)-(iii)-(ii)

→ mogelijkheid om te spelen tussen controle op verspreidingspatroon vs. levering

# Advies aan Rijkswaterstaat (2016)

## Advies code

- RTC-Tools voor vervanging DM
  - Mathematische aanpak is standaard in de wereld van waterverdelingssoftware
  - Heuristische aanpak DM en RIBASIM zijn uitzondering
- **Aparte** (simulatie) **code** voor vervanging **Mozart** (bv. Modflow-SWR)

## Advies schematisatie

- Maak de schematisatie van het waterverdeel model niet te groot/complex (max. enkele 1000'n elementen, ruim onder 10.000)
- Herziening schematisatie nodig i.v.m. verwijdering districten en wens tot onderscheid doorgaand water haarvaten

Vanwege **budgettaire redenen** gekozen voor:

- RTC-Tools voor zowel vervanging DM als Mozart
- Alles in één schematisatie laag
- Basis data: LSM en Mozart (want er is/was niets beters beschikbaar)



# Implementatie traject (2017-2018)

- 1 schematisatie laag samengesteld uit LSM-data en Mozart data (18333 elementen)
- **ongebalanceerd** model
  - taklengte 1.5 m - 30km
  - volumes  $10\text{m}^3$  –  $100\text{Mm}^3$
  - geen bruikbare normalisatie gegevens beschikbaar
- **inconsistentie** in onderliggende **datasets**
  - $0\text{m}^3$  tot  $1\text{Mm}^3$  in 5 cm waterschijf in het Gelderse achterland
- **Simulatie** algoritmen kunnen deze **fouten negeren**, **optimalisatie** algoritme **niet** (infeasible)
- Sturing verspreidingspatroon zeer **moeilijk** bij deze **model omvang**:
  - te veel onbekende verdeelsleutels
  - te veel takken voor eenduidige verdeelpatronen op basis van weeg/straffactoren



# Voorbeelden lessen van het landelijke traject

- 1. Het traject was gericht vervanging van alleen software, maar de **kwaliteit van schematisatie en data** voor het regionale watersysteem **was onvoldoende** om een plausibel model op te leveren;
  - bouw in de toekomst een nieuw model op, en sluit aan bij verzameling regionale basisgegevens NHI (HyDAMO)
- 2. Door vaste planning en budget **onvoldoende ruimte voor reflectie en heroverweging** van uitgangspunten in het ontwikkeltraject:
  - zorg voor een goede balans wensen voor waterverdeling en waterkwaliteit (i.p.v. toevoegen extra verfijningen t.b.v. waterkwaliteit)
  - denk goed na over onderscheid simulatie vs optimalisatie (bijv. landelijke optimalisatie waterverdeling en regionale simulatie)
- 3. Het **advies** voor toepassing van de nieuwe software RTC-tools voor zo'n groot en complex netwerk **was te optimistisch**.

Bouw in de toekomst het netwerk stapsgewijs op met verbeterde data.

begin met voorbeeldgebieden. Breid stapsgewijs uit en monitor de prestatie van de code en de schematisatie.



# Herbezinning: Waterverdeling in Nederland

Kenmerken besluitvorming:

- landelijke toekenning aan regio's (LCW)
- regionale verdeling over lokale systemen
- verdringingsreeks (landelijk en regionaal)

Kenmerken van het watersysteem:

- beperkt vrij afwaterend, meeste gebieden peilbeheerst (dus met een vorm van wateraanvoer)
- veelvuldig stroming in 2 richtingen (ring netwerken)
- wateraanvoer volgt vaak andere routing dan waterafvoer
- onderscheid te maken tussen landelijk hoofdwater, regionaal hoofdwater (primair) en lokaal doorgaand water (secundair) en haarvaten

# Herbezinning: eisen/wensen vanuit DPZW

Nr.	Water en chloride balans		Beleid	Operationeel	
1	Representatie relevante bergings- en vertragsprocessen		0D-Q	0D-QV	
2	Externe verzilting NDB, VZM, NZK-ARK, IJsselmeer		-	-	
3	Zoutbalans (en daarmee ook waterbalans) regionale oppervlaktewater		eis	eis	
Nr.	Waterverdeling		Beleid	Operationeel	
4	Prioritering in watervraag o.b.v. gebruiksfuncties in de landelijke (en regionale uitwerking) verdringsreeks i.p.v. de huidige prioritering o.b.v. oppervlaktewateraanvraag categorie (peilbeheer, doorspoeling en berekening)		eis	eis	
5	a	Ruimtelijke optimalisatie van de waterverdeling	Op landelijk niveau	eis	eis
			Op landelijk + regionaal niveau	-	-
b	Optimalisatie	Optimalisatie van de waterverdeling over een tijdshorizon (bijv. 46 dagen) t.b.v. tijdige buffering		eis	eis
		Optimalisatie van de waterverdeling over een ensemble van verwachtingen van neerslag, verdamping en rivierafvoer		-	-
c				-	
6	Binnen fysische grenzen (bijv. stroomrichting niet overal beide kanten op)		eis	eis	
7	Resultaten uitlegbaar		eis	eis	
Nr.	Ruimtelijk niveau schematisatie		Beleid	Operationeel	
8	Hoofdwateren		eis	eis	
	Middelgrote wateren		eis	eis	
	Haarvaten = sloten (gelumpt)		eis	eis	
	Haarvaten (niet-gelumpt)		-	-	
Nr.	Beschrijving		Beleid	Operationeel	
9	Centrale/overzichtelijke inbouw/aanpassing van maatregelen (niet in elke modelcode apart)		eis	eis	
10	Dezelfde modelcodes voor beleidsstudies en operationele waterbeheer		In de basis dezelfde modelcodes i.v.m. ontwikkelkosten en B&O-kosten, maar verschillende versies i.v.m. timing van releases		
11	Toepassingsbereik		analyses (KPA, MKBA)	verwachtingen	

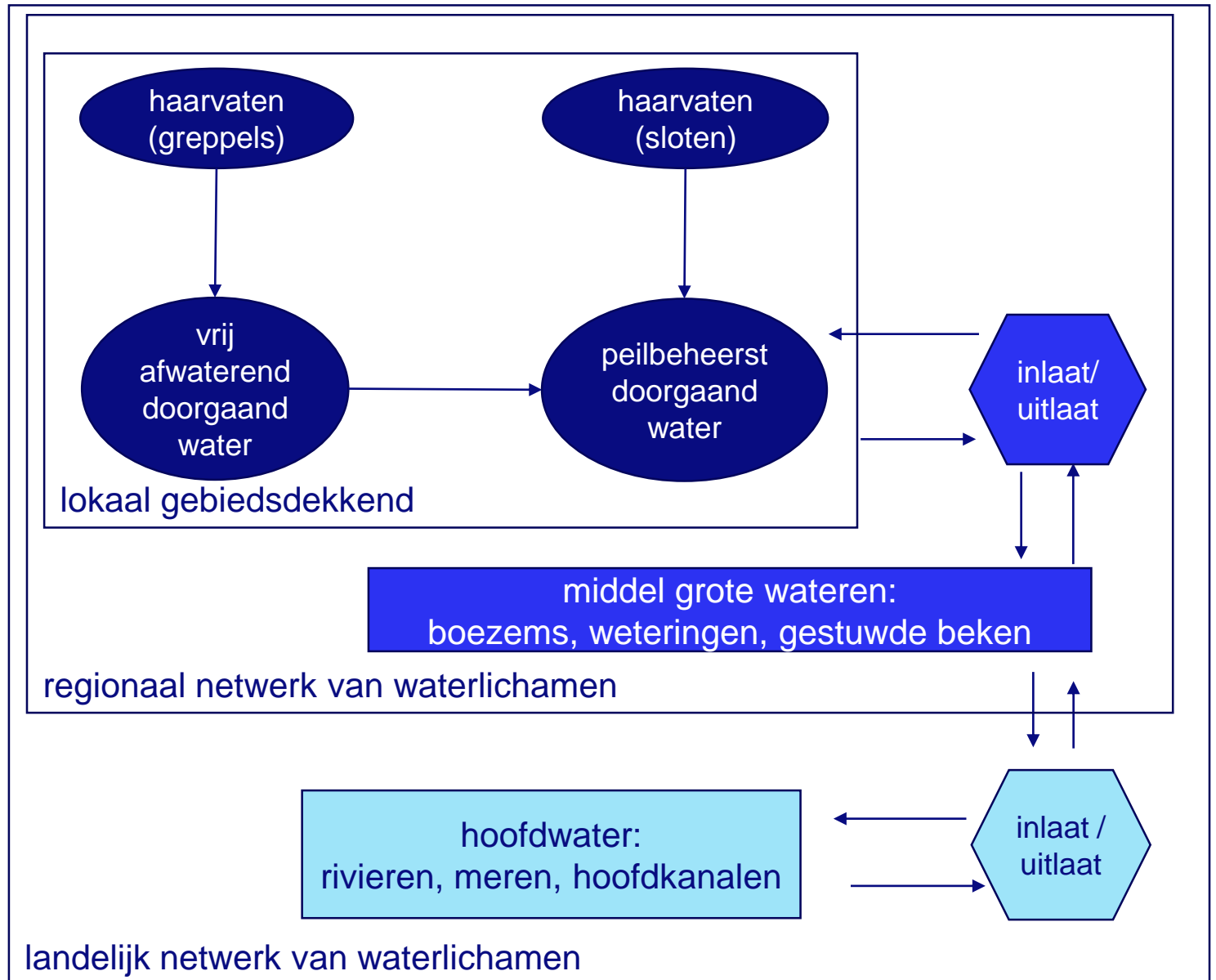
# Herbezinning: Aanvullende eisen waterkwaliteit, schematisatie en B&O (toegevoegd door Deltares)

Nr	Waterkwaliteit
WK1	Uitvoer van volumes, diepten en debieten op alle locaties met aandacht voor verschil in verblijftijden
WK2	Sluitende waterbalans zonder doublures
WK3	Accurate representatie van aan-, door- en afvoerroutes van stromen (geen kunstmatige menging of 'teleportatie' van water)
WK4	Heldere relatie tussen netwerk schematisatie en KRW lichamen
WK5	Scheiding van waterlichamen met verschillende verblijftijden
Nr.	Overig
O1	Ruimtelijk detailniveau aansluitend bij peilgebieden
O2	Acceptabele rekentijd
O3	Code openbaar beschikbaar met een voldoende breed ontwikkel/onderhoudsteam

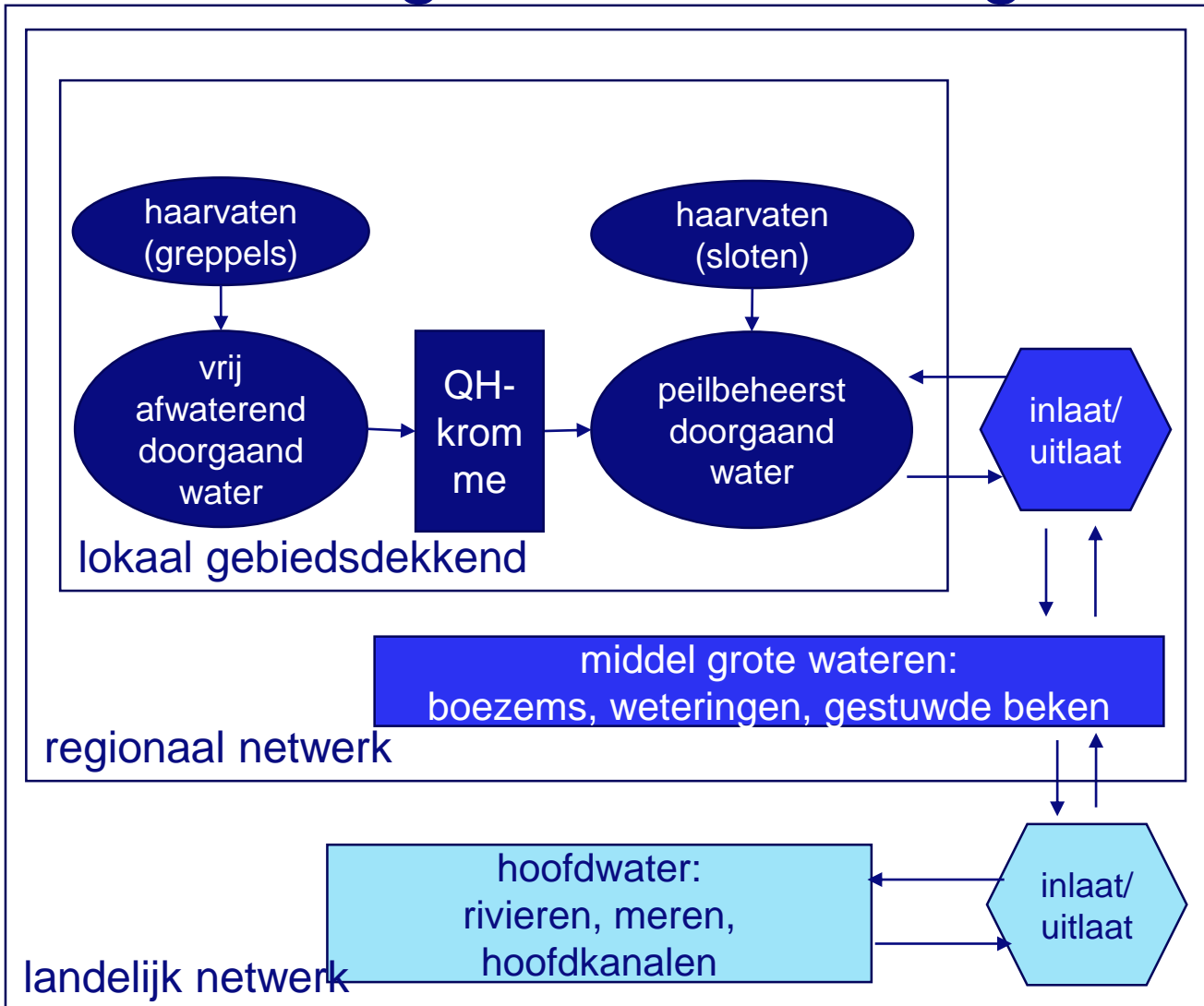
# Modellering Waterverdeling in Nederland (voorzien)

Schematisatie in 3 lagen:

- 1 landelijk netwerk voor waterlichamen landelijk hoofdwatersysteem
- n regionale netwerken voor waterlichamen regionale (primaire) systeem
- m lokale netwerk van bakjes voor gebiedsdekkende representatie van het lokale watersysteem (peilvak, waar nodig gesplitst in doorgaand water en haarvat)
- Koppeling op kunstwerklocaties



# Modellering Waterverdeling in Nederland (voorzien)



**LOK inventarisatie (tekort/overschot)**

**REG inventarisatie (vraag)**

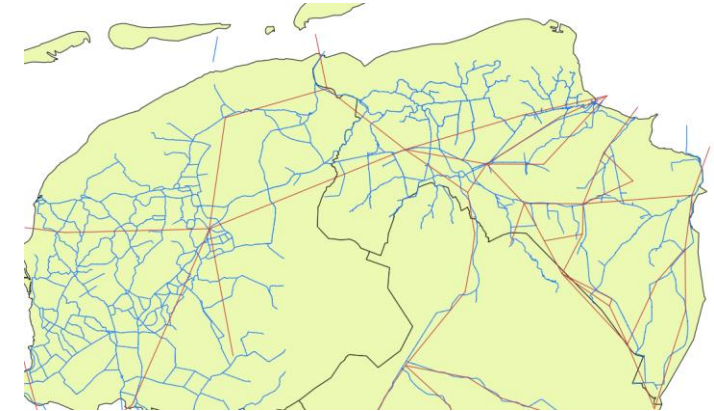
**LAN verdeling (ruimte en/of tijd)**

**REG verdeling**

**LOK simulatie (rule-based)**

# Waarom een drie-trapsraket voor waterverdeling ?

- Verdeling landelijk/regionaal netwerk past bij besluitvorming
- Regionale netwerken bieden mogelijkheid tot meer accurate representatie van ruimtelijke indeling waterlopen
  - waterstromen
  - lateralen (water & stoffen) stofstromen
- Lokale modellen met schematisatie-elementen op peilvak/perceel niveau sluiten het beste aan bij de praktijk en data beschikbaarheid (HyDAMO)
- Beperking complexiteit per waterverdeeld model
  - stabiel, normalisatie minder kritisch
  - beter controle over verspreidingspatroon
  - beter uitlegbaar
  - rekenkundig minder complex en daardoor optimum sneller gevonden
  - mogelijkheid tot gelijktijdig doorrekenen regionale modellen (parallelisatie)





# Rekencodes: kandidaten en advies

## Bakjes model simulatie (lokaal)

- **WFlow-framework** (Julia/Deltares): vereist toevoeging/uitbreiding bakjes modelconcept (& code) met vergelijkbare functionaliteit Mozart/SimRES (Sobek-RR)
- Modflow-SWR (fortran/USGS): uitgebreide concepten, geen USGS plannen voor opname in Modflow6
- SimRES (fortran/WEnR): code uitgefaseerd, maar interessante concepten voor hergebruik

## Allocatie model (Regionaal en Landelijk):

- **RTC-Tools-framework** (python, C / Deltares):
  - veel ervaring wat wel/niet werkt, waar bottlenecks zitten
  - grote brokken water-allocatie code (aggregatie, disaggregatie) beschikbaar (refactoring gewenst)
  - vereist taaloverbrugging van simulatie model (Fortran/Julia) naar allocatiemodel (python)
- WFlow-framework (Julia/Deltares):
  - vereist her implementatie wat RTC-Tools al biedt, maar dan aansluiting op Julia packages

## Koppeling tussen lokaal landsdekkend model en allocatiemodel (vraag inventarisatie en allocatie):

- Protocol: **BMI voor on-line koppeling per tijdstap**, File based (NetCDF) voor offline koppeling
- Koppelingscode:
  - **imod\_coupler** (python/Deltares/USGS): in gebruik voor Modflow-Metaswap koppeling, uitbreidbaar voor vraag/allocatie koppeling
  - DIMR (C++/Deltares): gebruikt voor D-HYDRO parallelisatie en koppelingen, moeizame uitbreiding voor vraag/allocatie koppeling

# Schematisatie aanpak: advies

## Landelijk netwerk model:

- **Gestandaardiseerde databases**
  - Baseline voor geometrie
  - Nieuw op te zetten database met (peil)beheer regels
- Model generatie scripts met slimme kennisregels t.a.v. modelabstractie

## Regionaal netwerk modellen en landelijk gebiedsmodellen:

- **Gestandaardiseerde database**
  - HyDAMO landsdekkend gevuld
- Model generatie scripts met slimme kennisregels t.a.v. modelabstractie

## Aanpak

- Pilot regionale applicaties voor hoog-NL en laag-NL
- Landelijk model gekoppeld aan LHM-district series of representatieve (proxie) tijdseries
  - totdat regionale/lokale modellen beschikbaar komen

# Contact

🏠 [www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)

🐦 [@deltares](https://twitter.com/deltares)

🌐 [linkedin.com/company/deltares](https://www.linkedin.com/company/deltares)

✉️ [info@deltares.nl](mailto:info@deltares.nl)

📷 [@deltares](https://www.instagram.com/deltares)

📘 [facebook.com/deltaresNL](https://www.facebook.com/deltaresNL)



Deltares