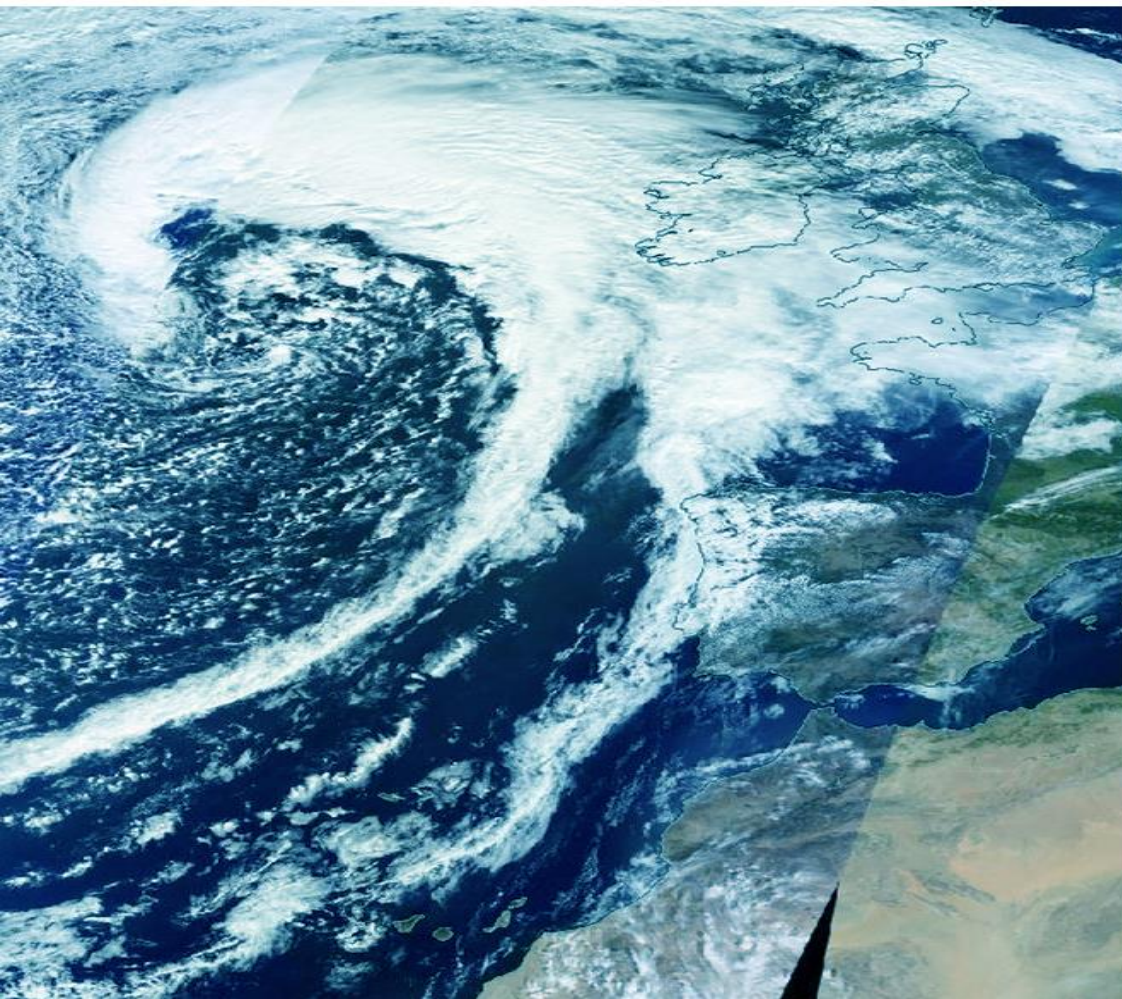




imprex

Learn from today to anticipate tomorrow



IMPROVING PREDICTIONS AND MANAGEMENT OF HYDROLOGICAL EXTREMES



www.imprex.eu

 @imprex_eu



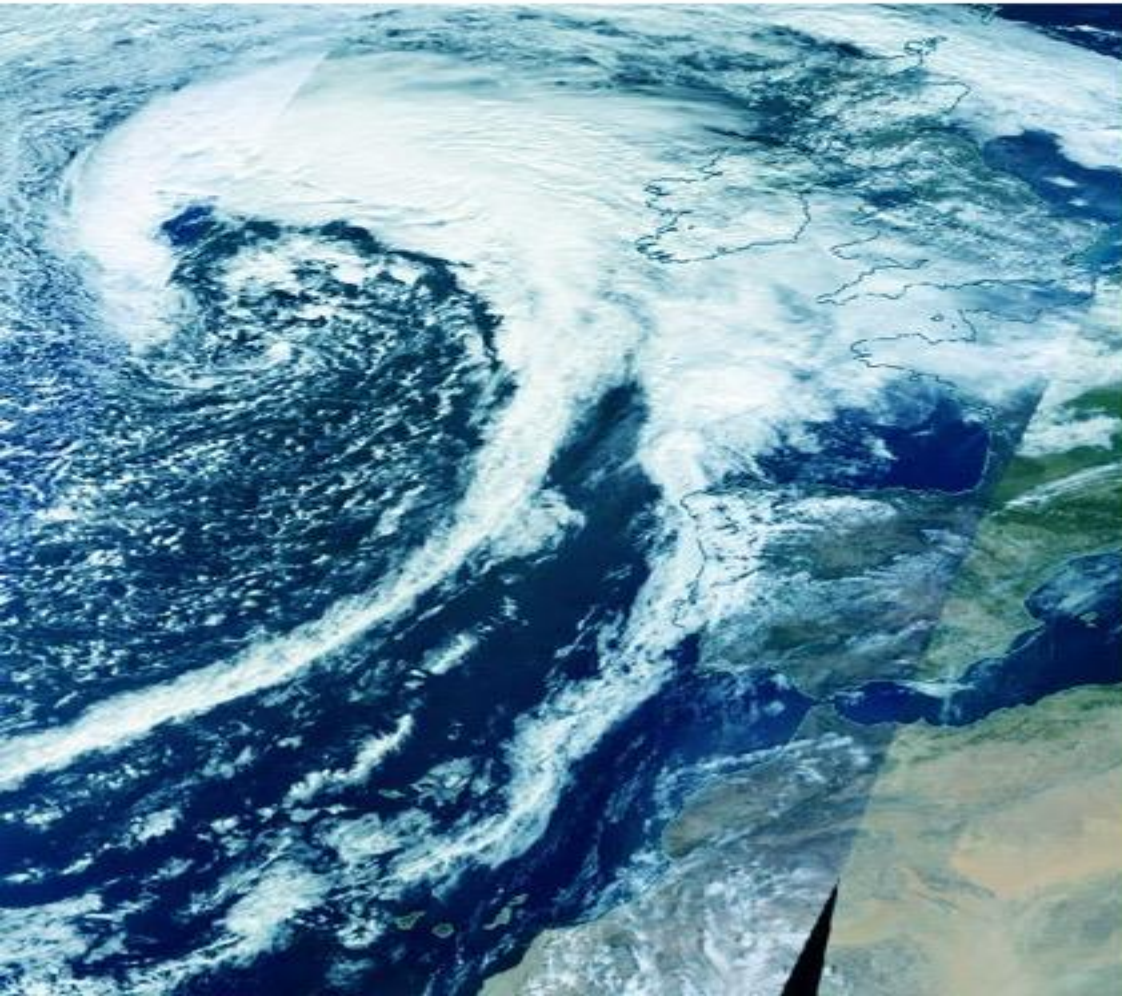
Funded under the Horizon 2020
Framework Programme of the
European Union

Grant Agreement No 641811



impres

Learn from today to anticipate tomorrow



IMPRES: Naar een nieuw hydrologisch model voor het Rijnstroomgebied



Bart van Osnabrugge, Mark Hegnauer
Ruben Imhoff, Maarten Smoorenburg, Willem van Verseveld,
Hélène Boisgontier, Dirk Eilander, Pieter Hazenberg, Albrecht
Weerts

Deltares

24 September 2019



Inhoud

- Waarom een nieuw model?
 - Wat is de wetenschappelijke context?
 - wflow: wie doet er mee?
- Transitie Rijnmodel naar wflow
 - wflow voor de Rijn: wat kan je er mee?
- wflow_sbm: het nieuwe modelconcept voor de toekomst?
 - Kernprincipes
 - Resultaten voor de Rijn
- Is het nu beter?
- Discussie

Inhoud

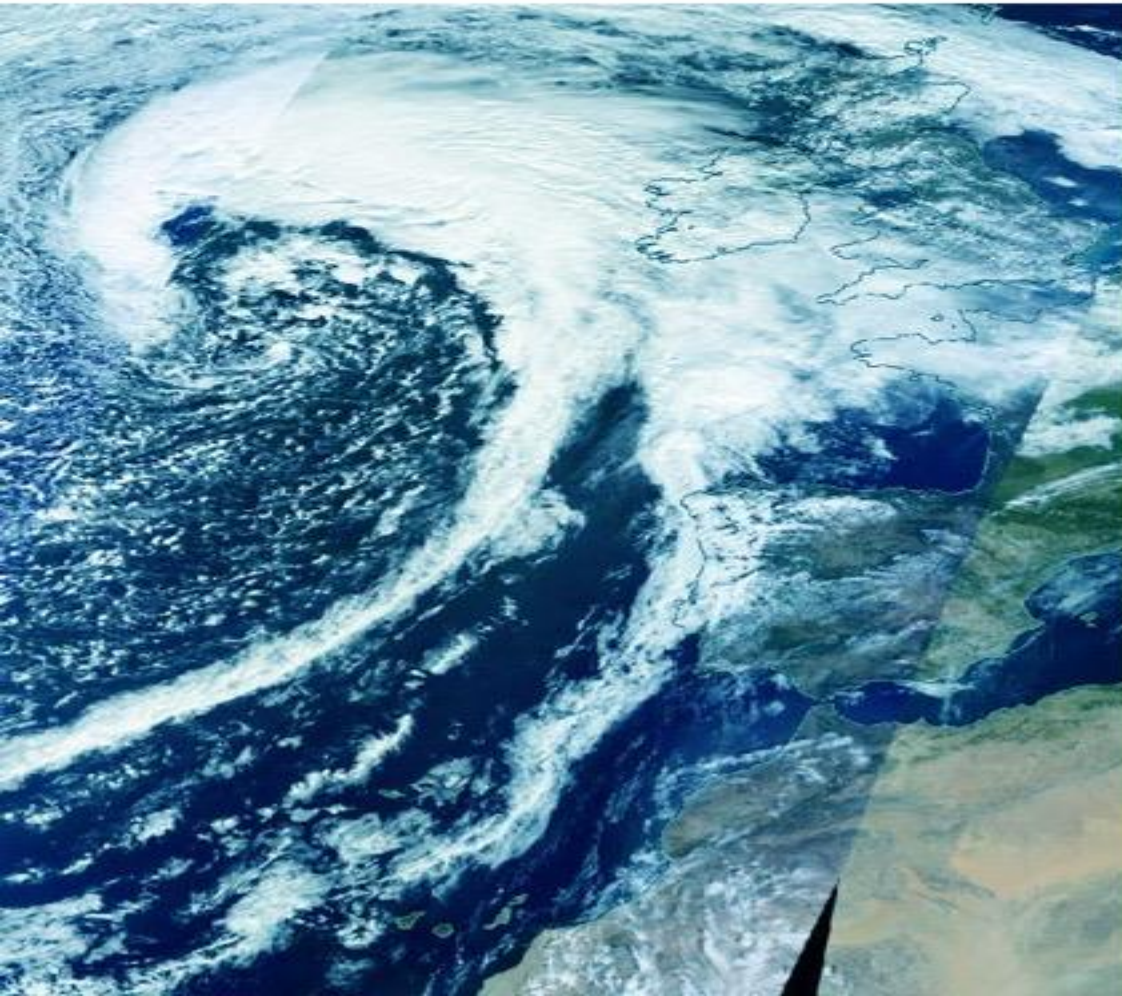
Discussievragen

- Wat geeft vertrouwen in een hydrologisch model?
- Wat is er nodig voor jullie om te kunnen zeggen: hier durf ik beslissingen op te baseren?



impres

Learn from today to anticipate tomorrow



IMPRES: Naar een nieuw hydrologisch model voor het Rijnstroomgebied

Deel 1: Waarom en context



Bart van Osnabrugge, Mark Hegnauer
Ruben Imhoff, Maarten Smoorenburg, Willem van Verseveld,
Hélène Boisgontier, Dirk Eilander, Pieter Hazenberg, Albrecht
Weerts

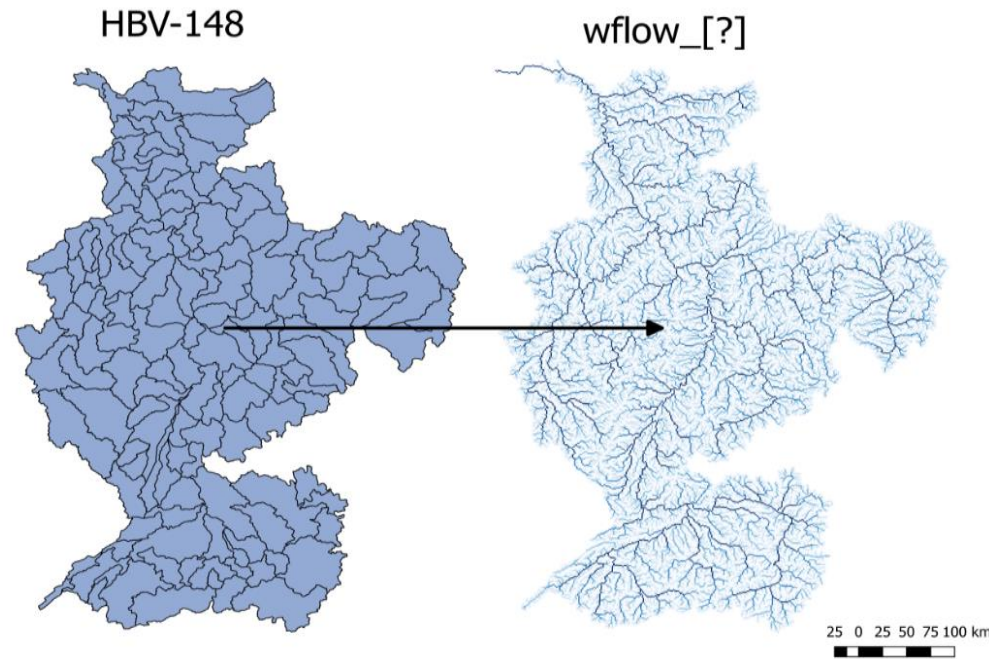
Deltares

09 April 2019



Waarom een nieuw model?

- Vaste routines
bv. verdamping
- Spagetti aan
correctiefactoren
- Geen verdere
ontwikkeling
- Niet meer te
onderhouden



- Ruimtelijke
informatie
- Koppelingen
 - openDA
 - FEWS
 - Ribasim
- Inzichtelijkheid
- Flexibiliteit

Wetenschappelijke context

Hydrologisch modelleren

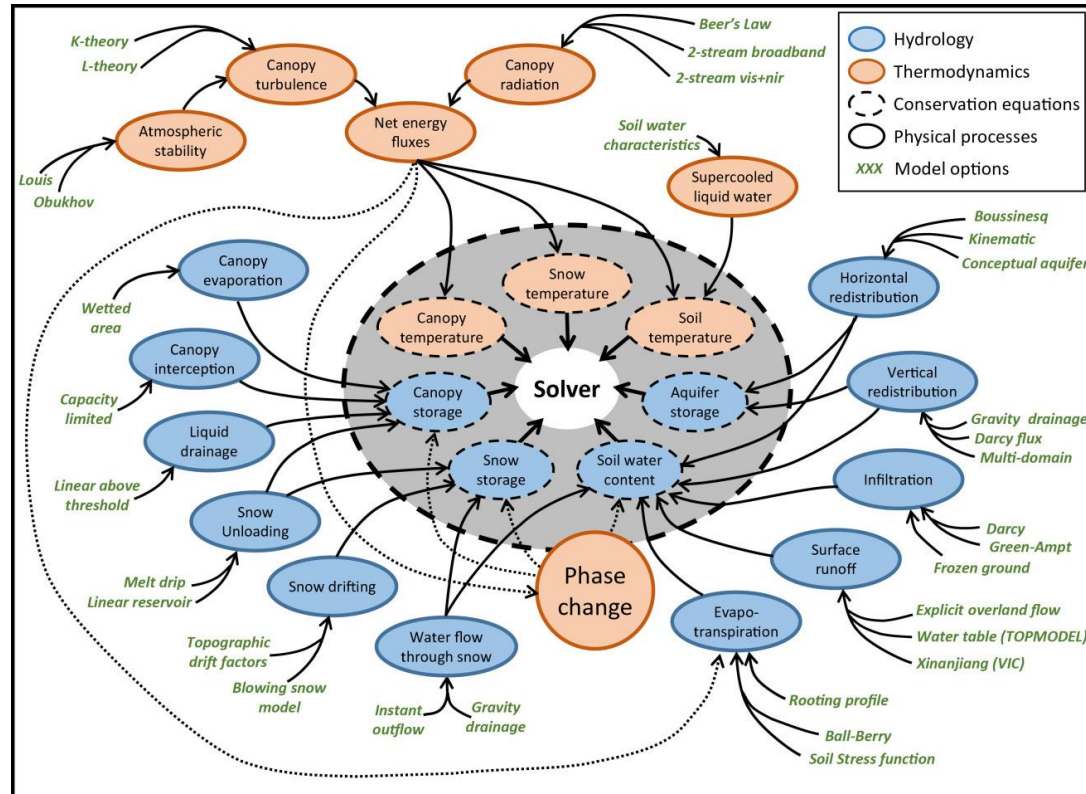
- Proces gericht modelleren
- Gedistribueerd modelleren
- Community hydrological model
- Global modelling

Hydrologisch voorspellen

- Ensembles
- Data assimilatie
- Onzekerheid en Betrouwbaarheid
- Eisen aan modellen

Wetenschappelijke context

Hydrologisch modelleren

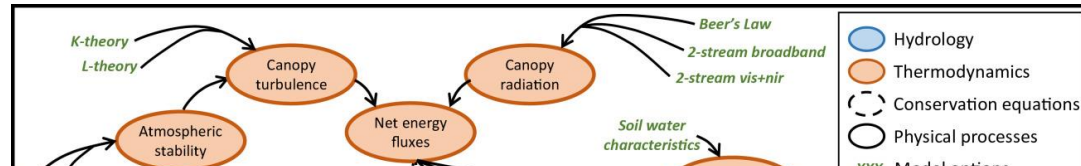


- Proces gericht modelleren
- Gedistribueerd modelleren
- Community hydrological model
- Global modelling

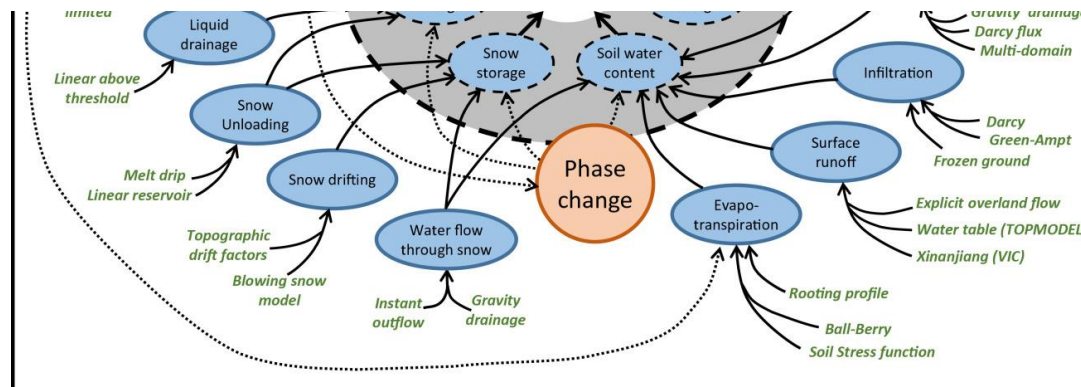
Clark, Martyn P., et al. "A unified approach for process-based hydrologic modeling: 1. Modeling concept." *Water Resources Research* 51.4 (2015): 2498-2514.

Wetenschappelijke context

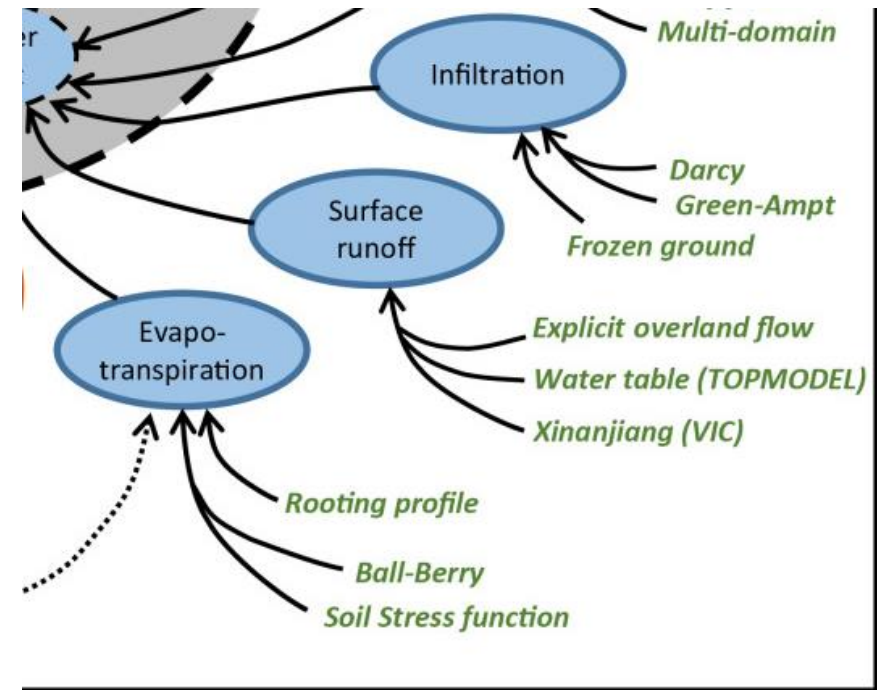
Hydrologisch modelleren



Model concept: specifieke combinatie van hydrologische processen en formulering daarvan, als hypothese van de werkelijkheid



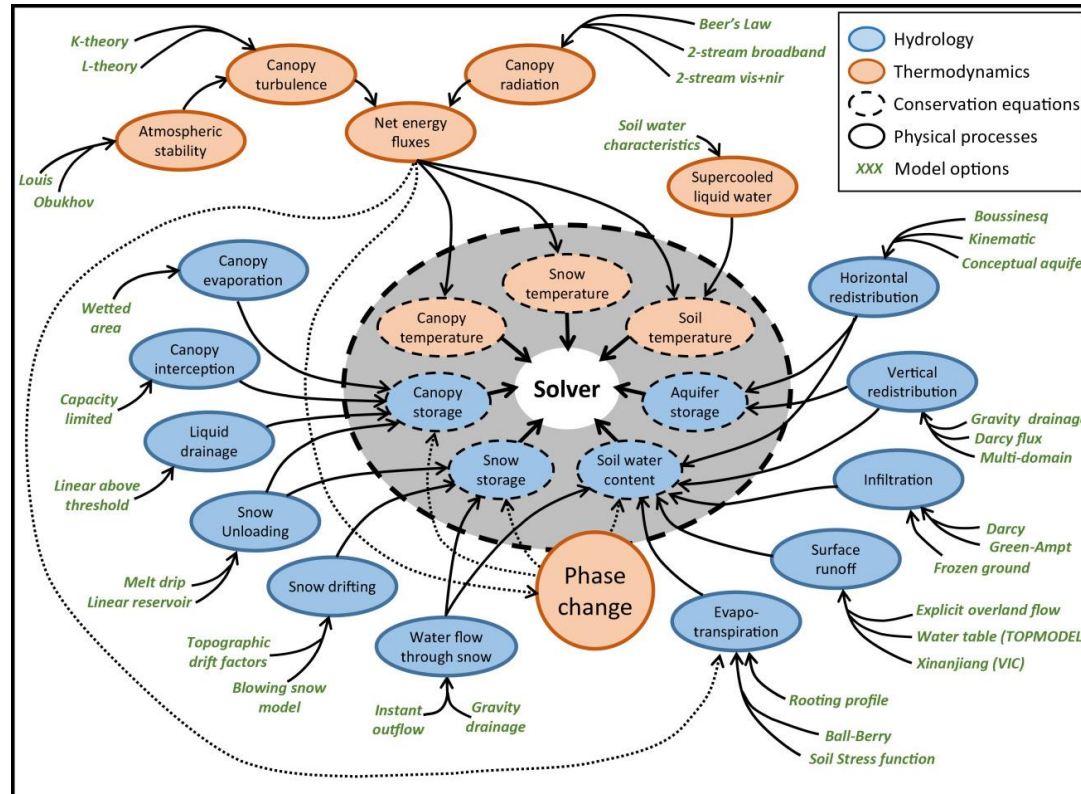
• Proces gericht modelleren



Clark, Martyn P., et al. "A unified approach for process-based hydrologic modeling: 1. Modeling concept." *Water Resources Research* 51.4 (2015): 2498-2514.

Wetenschappelijke context

Hydrologisch modelleren



• Proces gericht modelleren

Model concept: specifieke combinatie van hydrologische processen en formulering daarvan, als hypothese van de werkelijkheid

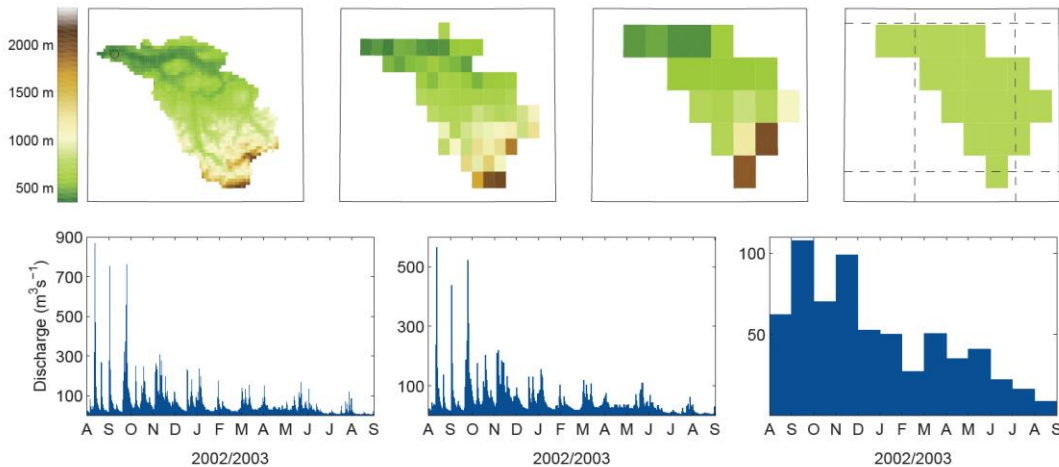
Model framework: manier om model concepten te bouwen en te draaien (programmeertaal, numerieke solvers, koppelingen, invoer, uitvoer, etc.)

Clark, Martyn P., et al. "A unified approach for process-based hydrologic modeling: 1. Modeling concept." *Water Resources Research* 51.4 (2015): 2498-2514.

Wetenschappelijke context

Hydrologisch modelleren

Ruimtelijke resolutie



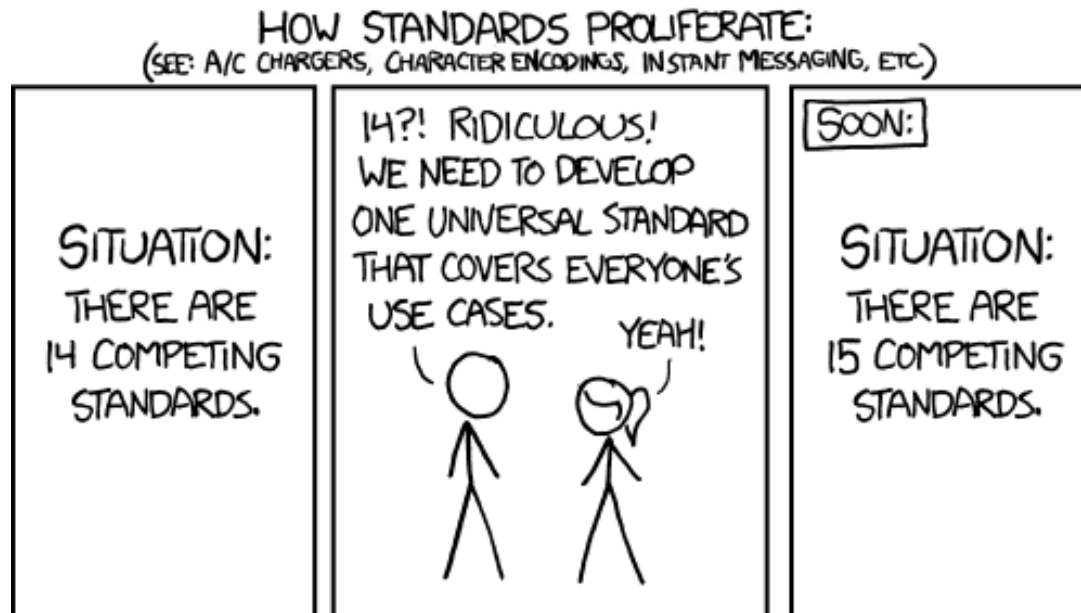
Tijdsresolutie

- Proces gericht modelleren
- **Gedistribueerd modelleren**
- Community hydrological model
- Global modelling

Melsen, Lieke, et al. "Representation of spatial and temporal variability in large-domain hydrological models: case study for a mesoscale pre-Alpine basin." *Hydrology and Earth System Sciences* 20.6 (2016): 2207-2226.

Wetenschappelijke context

Hydrologisch modelleren



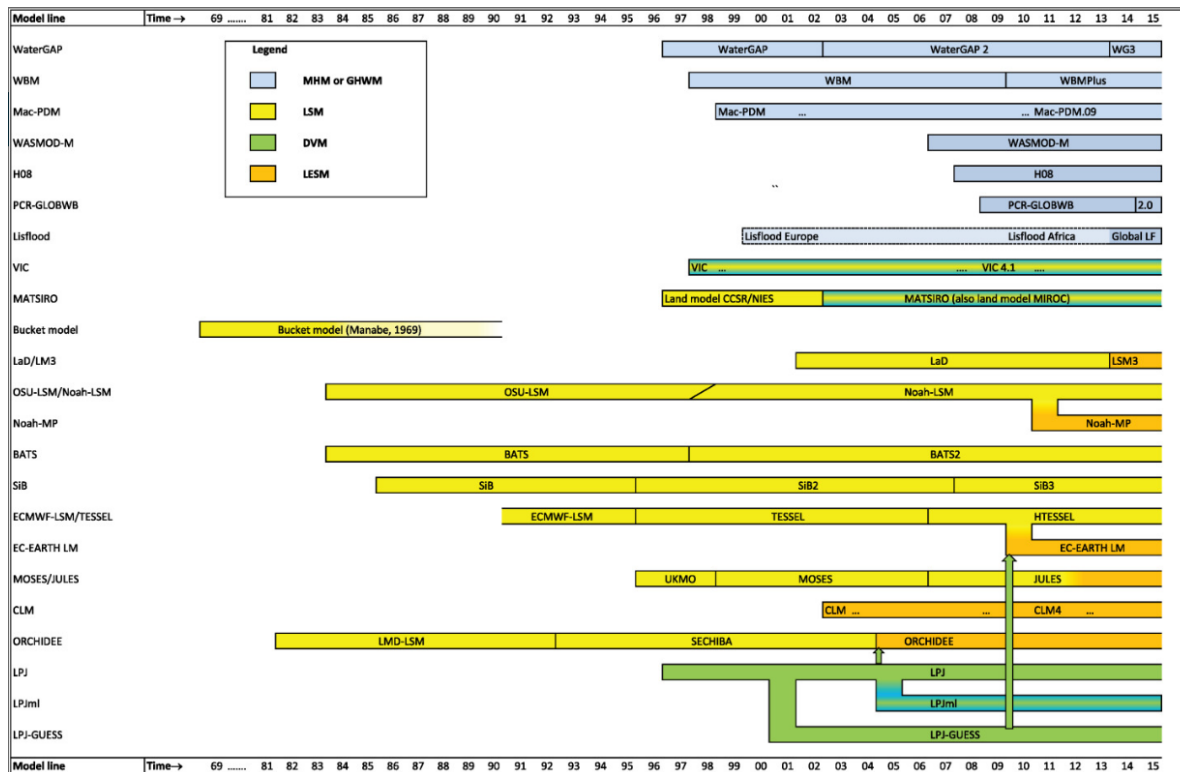
<https://xkcd.com/927/>

Take a look at eWaterCycle <https://www.ewatercycle.org/Landscape.html>

- Proces gericht modelleren
- Gedistribueerd modelleren
- **Community hydrological model**
- Global modelling

Wetenschappelijke context

Hydrologisch modelleren

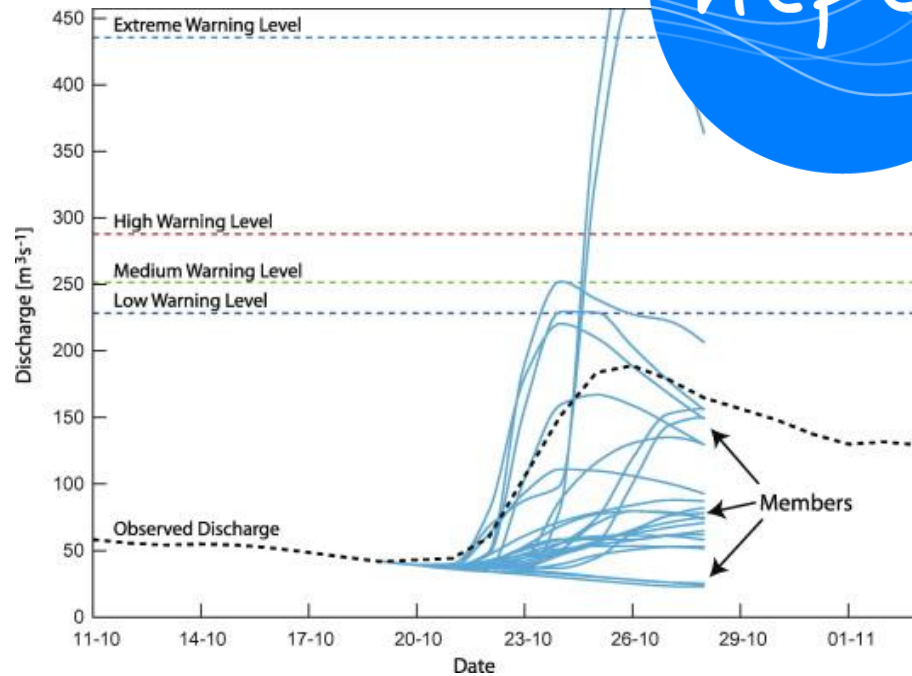


- Proces gericht modelleren
- Gedistribueerd modelleren
- Community hydrological model
- **Global modelling**

Bierkens, Marc FP. "Global hydrology 2015: State, trends, and directions." *Water Resources Research* 51.7 (2015): 4923-4947.

Wetenschappelijke context

Hydrologisch voorspellen

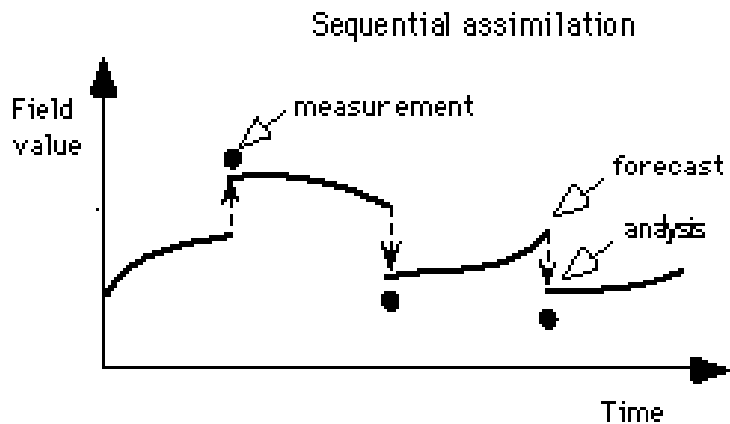


- Ensembles
- Data assimilatie
- Onzekerheid en Betrouwbaarheid
- Eisen aan modellen

Cloke, H. L., and Florian Pappenberger. "Ensemble flood forecasting: A review." *Journal of hydrology* 375.3-4 (2009): 613-626.
HEPEX: <https://hepex.irstea.fr>

Wetenschappelijke context

Hydrologisch voorspellen

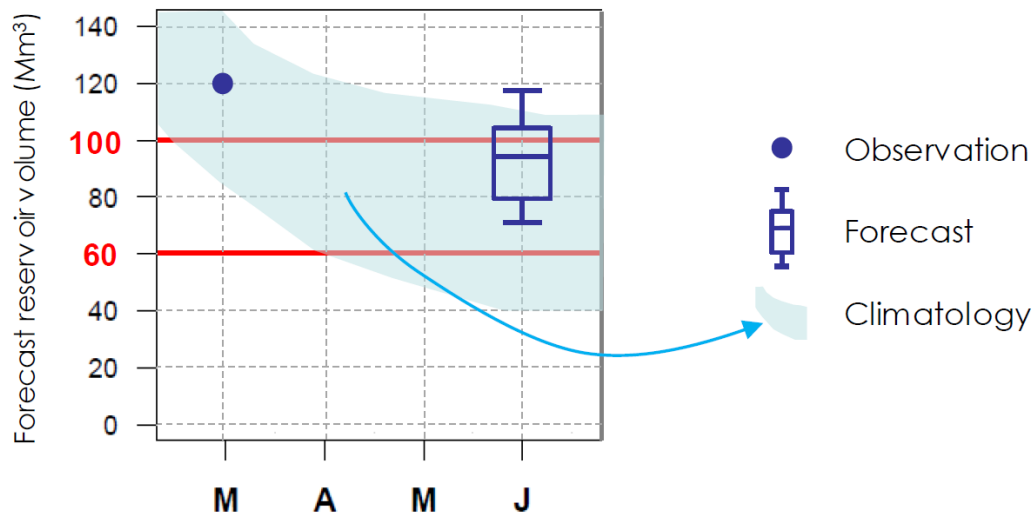


- Ensembles
- **Data assimilatie**
- Onzekerheid en Betrouwbaarheid
- Eisen aan modellen

Rakovec, O., et al. "Operational aspects of asynchronous filtering for flood forecasting." *Hydrology and Earth System Sciences* 19.6 (2015): 2911-2924.

Wetenschappelijke context

Hydrologisch voorspellen



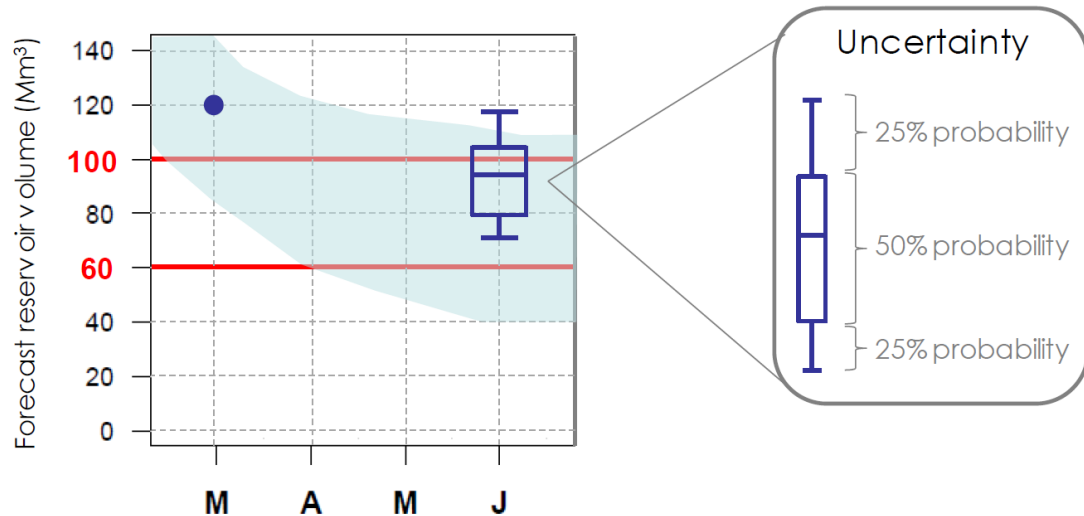
- Ensembles
- Data assimilatie
- **Onzekerheid en Betrouwbaarheid**
- Eisen aan modellen

Crochemore, L., Photiadou, C., Cantone, C., Pechlivanidis, I. (SMHI) "Call For Water" Serious Game.

Zie ook: Crochemore, Louise, et al. "An experiment on risk-based decision-making in water management using monthly probabilistic forecasts." *Bulletin of the American Meteorological Society* 97.4 (2016): 541-551.

Wetenschappelijke context

Hydrologisch voorspellen



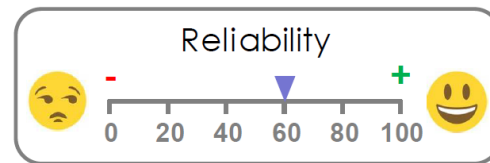
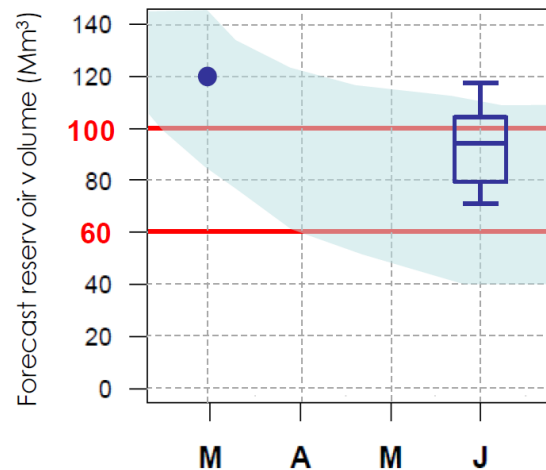
- Ensembles
- Data assimilatie
- **Onzekerheid en Betrouwbaarheid**
- Eisen aan modellen

Crochemore, L., Photiadou, C., Cantone, C., Pechlivanidis, I. (SMHI) "Call For Water" Serious Game.

Zie ook: Crochemore, Louise, et al. "An experiment on risk-based decision-making in water management using monthly probabilistic forecasts." *Bulletin of the American Meteorological Society* 97.4 (2016): 541-551.

Wetenschappelijke context

Hydrologisch voorspellen



- Ensembles
- Data assimilatie
- **Onzekerheid en Betrouwbaarheid**
- Eisen aan modellen

Crochemore, L., Photiadou, C., Cantone, C., Pechlivanidis, I. (SMHI) "Call For Water" Serious Game.

Zie ook: Crochemore, Louise, et al. "An experiment on risk-based decision-making in water management using monthly probabilistic forecasts." *Bulletin of the American Meteorological Society* 97.4 (2016): 541-551.

Wetenschappelijke context

Hydrologisch voorspellen

- Availability of code
 - User community
 - Input requirements
 - Flexibility to grid structure
 - Possibility of calibration
 - Flexibility in resolution
 - Facility to introduce discharge observation stations
 - Pan-European model set up?
- Ensembles
 - Data assimilatie
 - Onzekerheid en Betrouwbaarheid
 - **Praktische eisen**

mHM

(L. Samaniego, pers. comm., 19 Mar 2014)

✓ Open source

<http://www.ufz.de/index.php?en=31389>

Developers and users at UFZ and partner organisations, developments ongoing

netCDF4/ASCII
1h/D, 1–100km²
P, T, PET

✓ Runs with grid structure at three res. levels

✓ MCMC, SCE, SA, DDS, sensitivity analysis

✓ Flexible, can be changed without recalibration.

✓ each basin can have as many as needed (internal or outlet)

○ Set up for >280 pan-EU basins



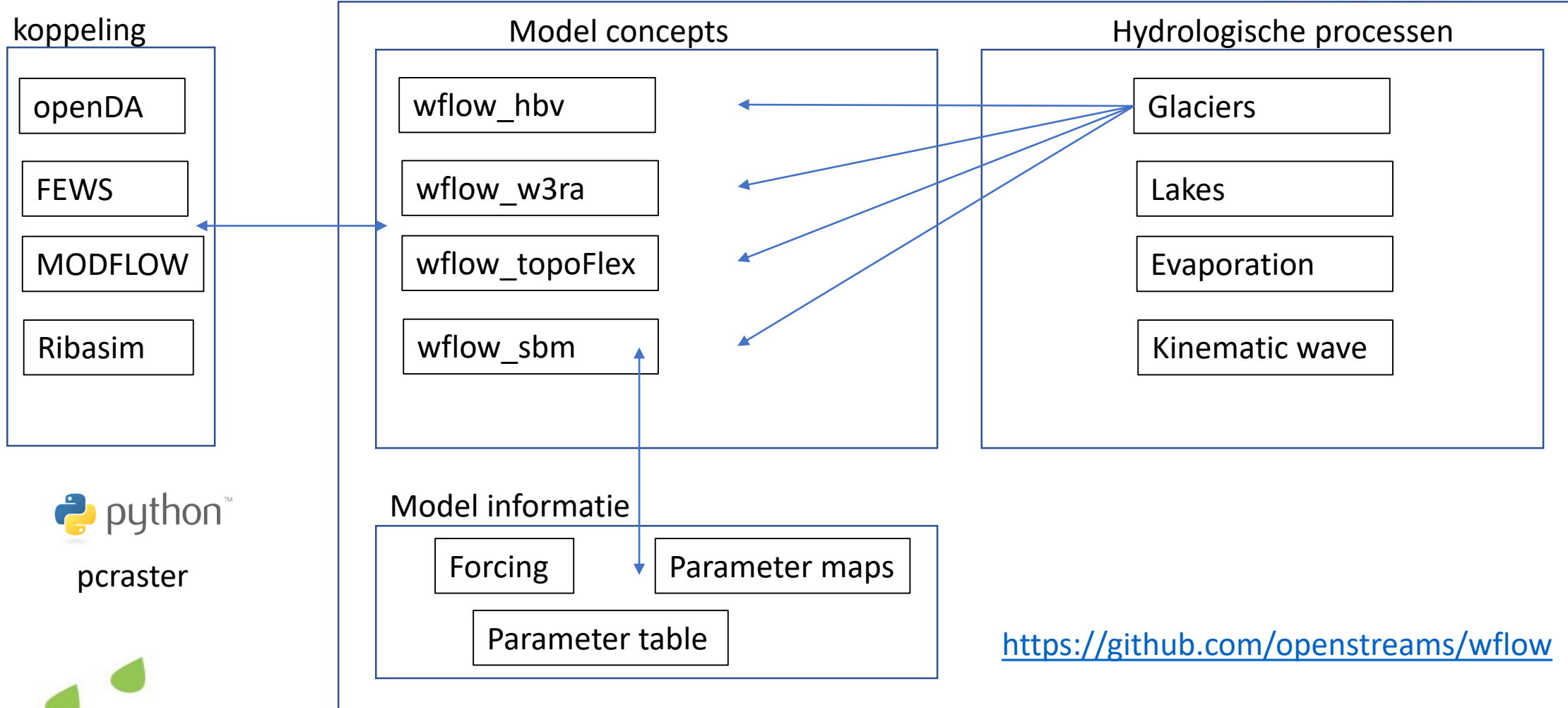
Kauffeldt, Anna, et al. "Technical review of large-scale hydrological models for implementation in operational flood forecasting schemes on continental level." *Environmental Modelling & Software* 75 (2016): 68-76.



@impres_eu

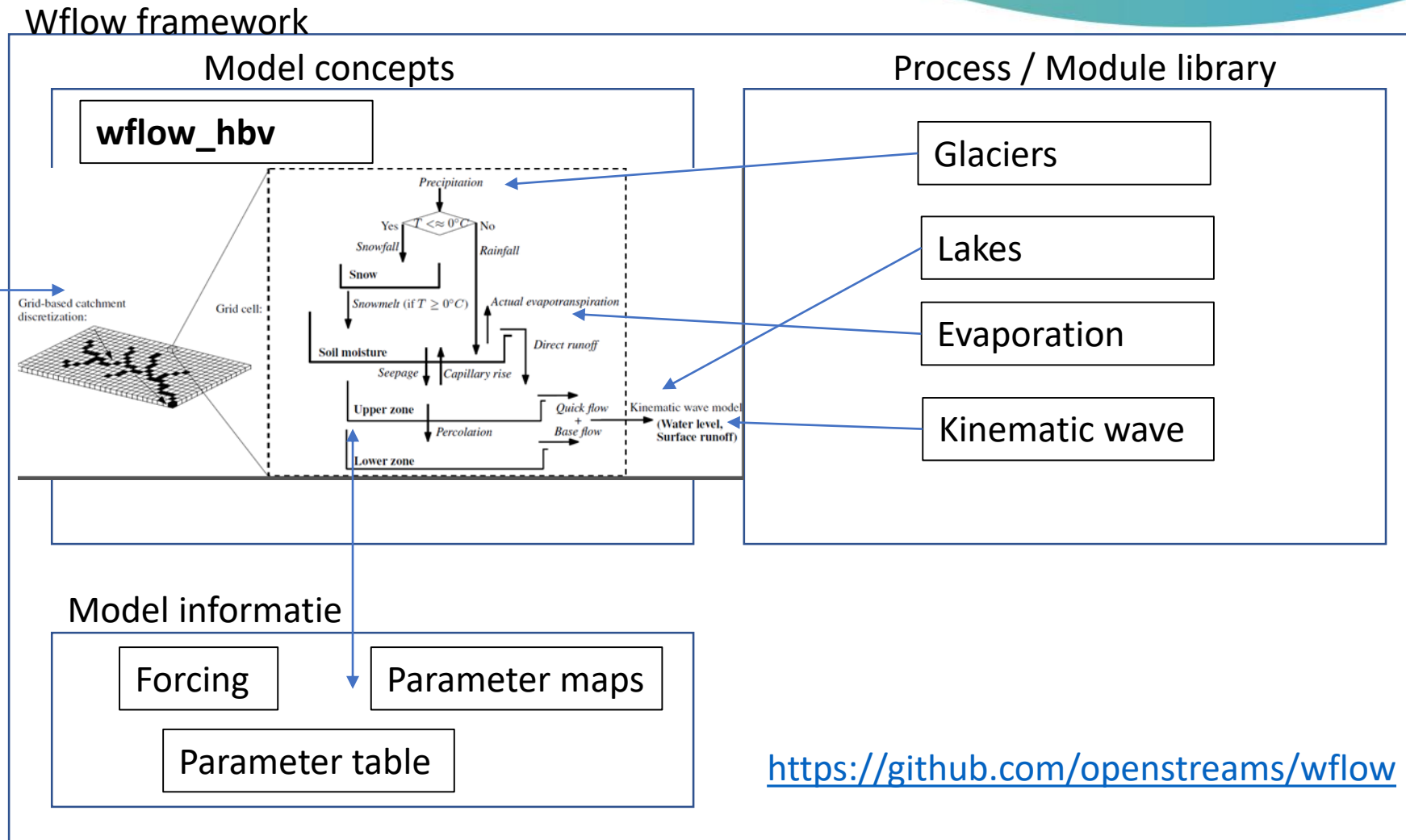


wflow framework



<https://github.com/openstreams/wflow>

HBV in wflow: wflow_hbv



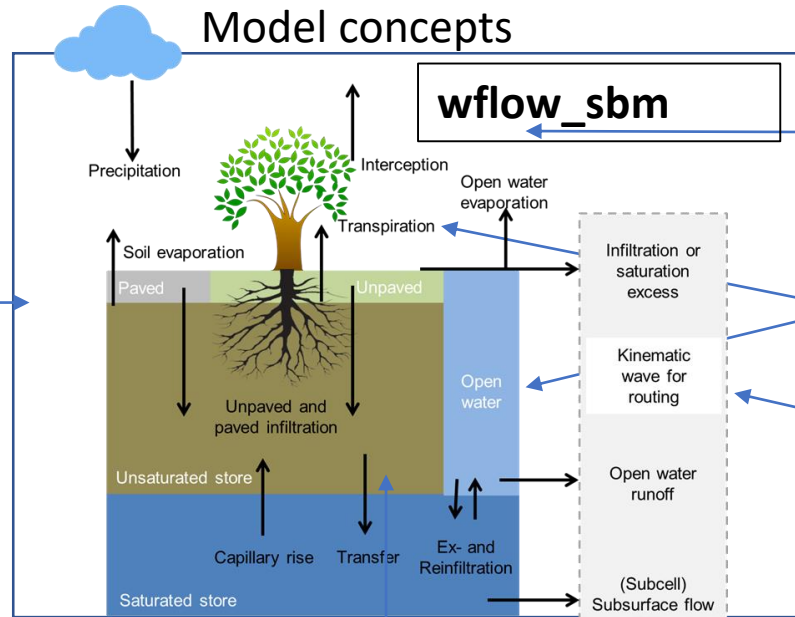
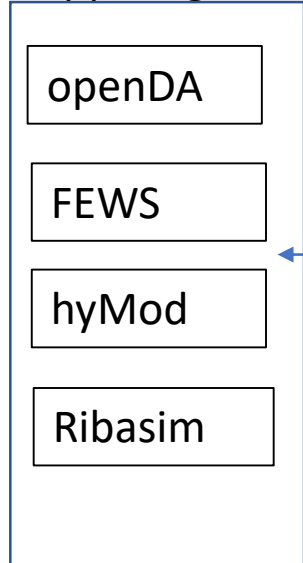
pcraster



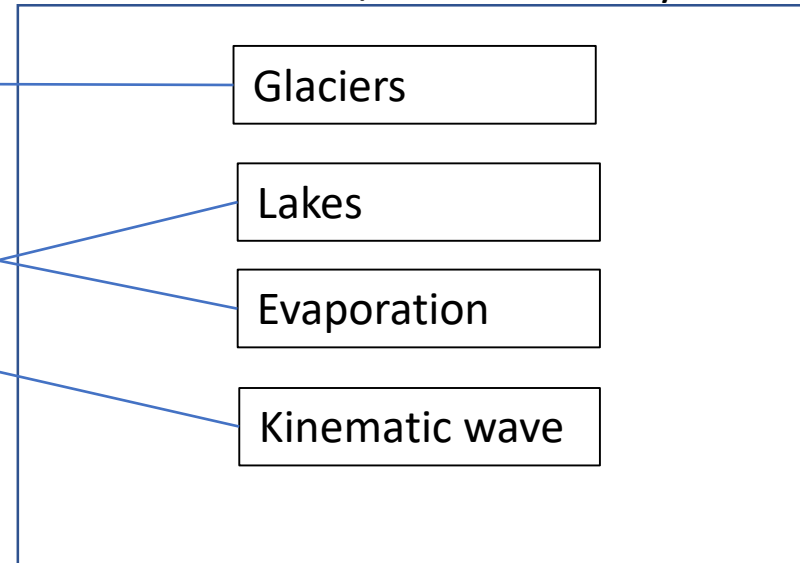
wflow_sbm: model voor de toekomst ?

Wflow framework

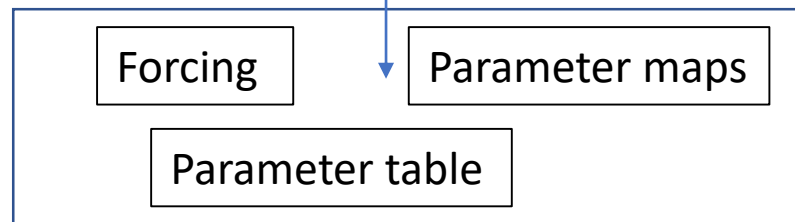
koppeling



Process / Module library



Model informatie



<https://github.com/openstreams/wflow>



impres

Learn from today to anticipate tomorrow



IMPRES: Naar een nieuw hydrologisch model voor het Rijnstroomgebied

Deel 2: experimenten met wflow_hbv



Bart van Osnabrugge, Mark Hegnauer
Ruben Imhoff, Maarten Smoorenburg, Willem van Verseveld,
Hélène Boisgontier, Dirk Eilander, Pieter Hazenberg, Albrecht
Weerts

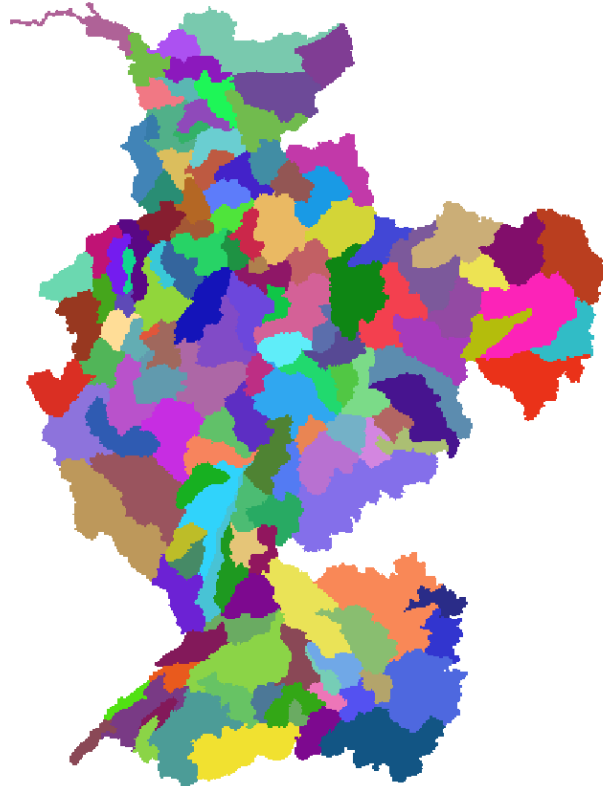
Deltares

09 April 2019



Transitie Rijnmodel naar wflow framework

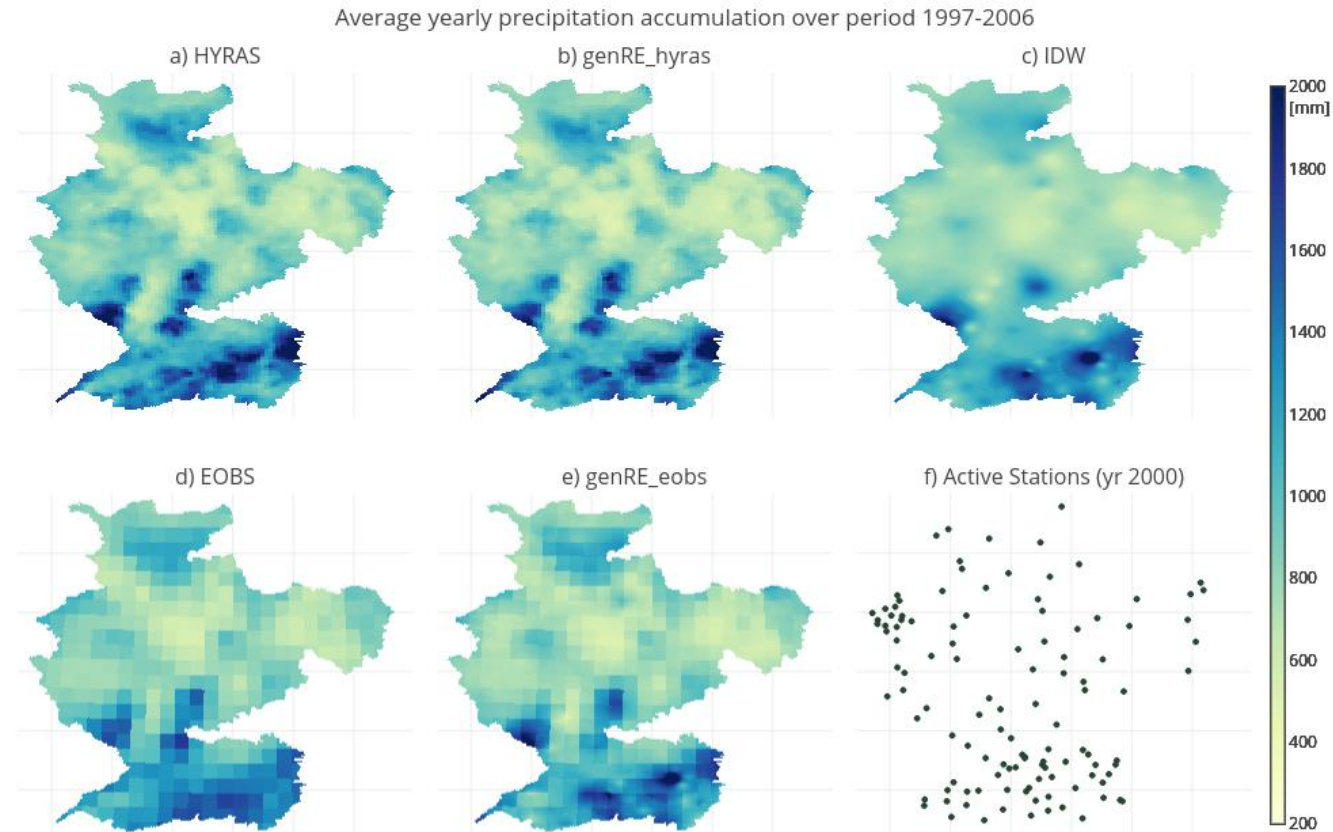
Lappendeken



- Directe overzetting van HBV96 parameters naar wflow_hbv
- Nagenoeg exact dezelfde model uitkomsten

Experimenten met wflow_hbv

Verbeterde ruimtelijke neerslaginterpolatie

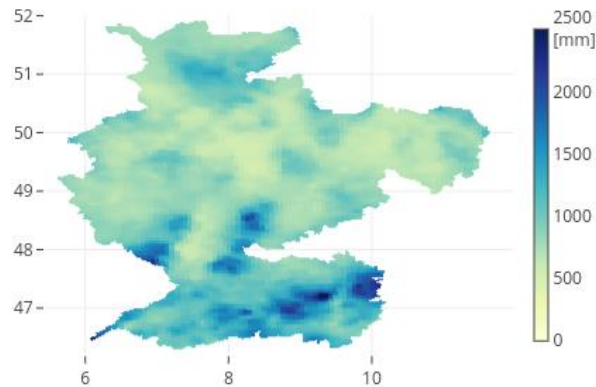


van Osnabrugge, B., A. H. Weerts, and R. Uijlenhoet. "genRE: A Method to Extend Gridded Precipitation Climatology Data Sets in Near Real-Time for Hydrological Forecasting Purposes." *Water Resources Research* 53.11 (2017): 9284-9303.

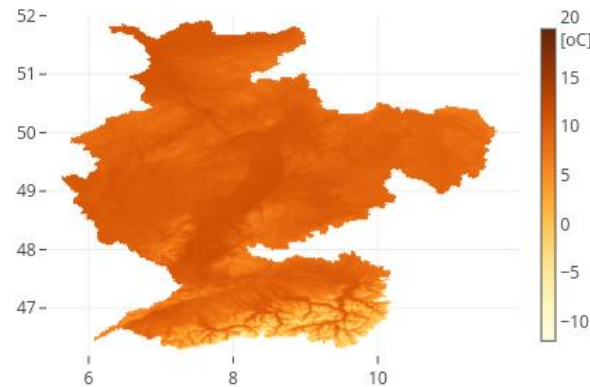
Experimenten met wflow_hbv

Uurlijkse en ruimtelijke (1.2kmx1.2km) forceringsdata

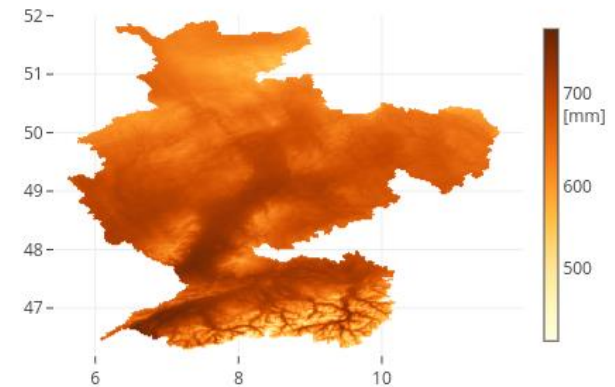
Avg. yearly precipitation sum



Avg. daily mean temperature



Avg. yearly PET sum

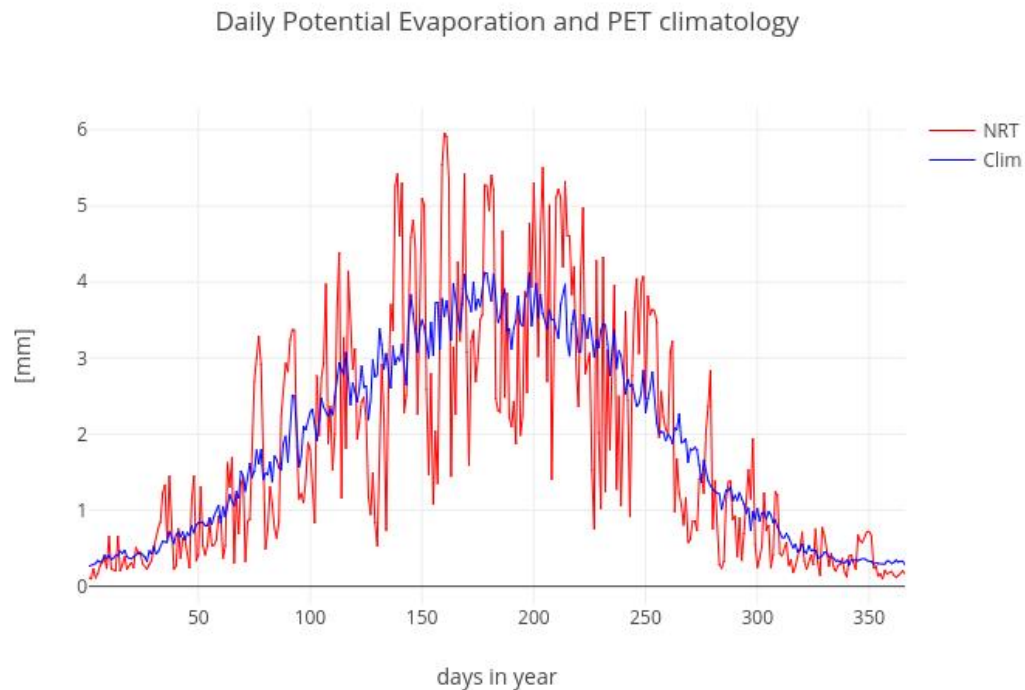


van Osnabrugge, B. (Bart) (2017) Gridded precipitation dataset for the Rhine basin made with the genRE interpolation method. Deltares. Dataset. <https://doi.org/10.4121/uuid:c875b385-ef6d-45a5-a6d3-d5fe5e3f525d>

van Osnabrugge, B. (Bart) (2018) Gridded Hourly Temperature, Radiation and Makkink Potential Evaporation forcing for hydrological modelling in the Rhine basin. Wageningen University & Research. Dataset. <https://doi.org/10.4121/uuid:e036030f-c73b-4e7b-9bd4-eebc899b5a13>

Experimenten met wflow_hbv

Verdamping uit sateliet data

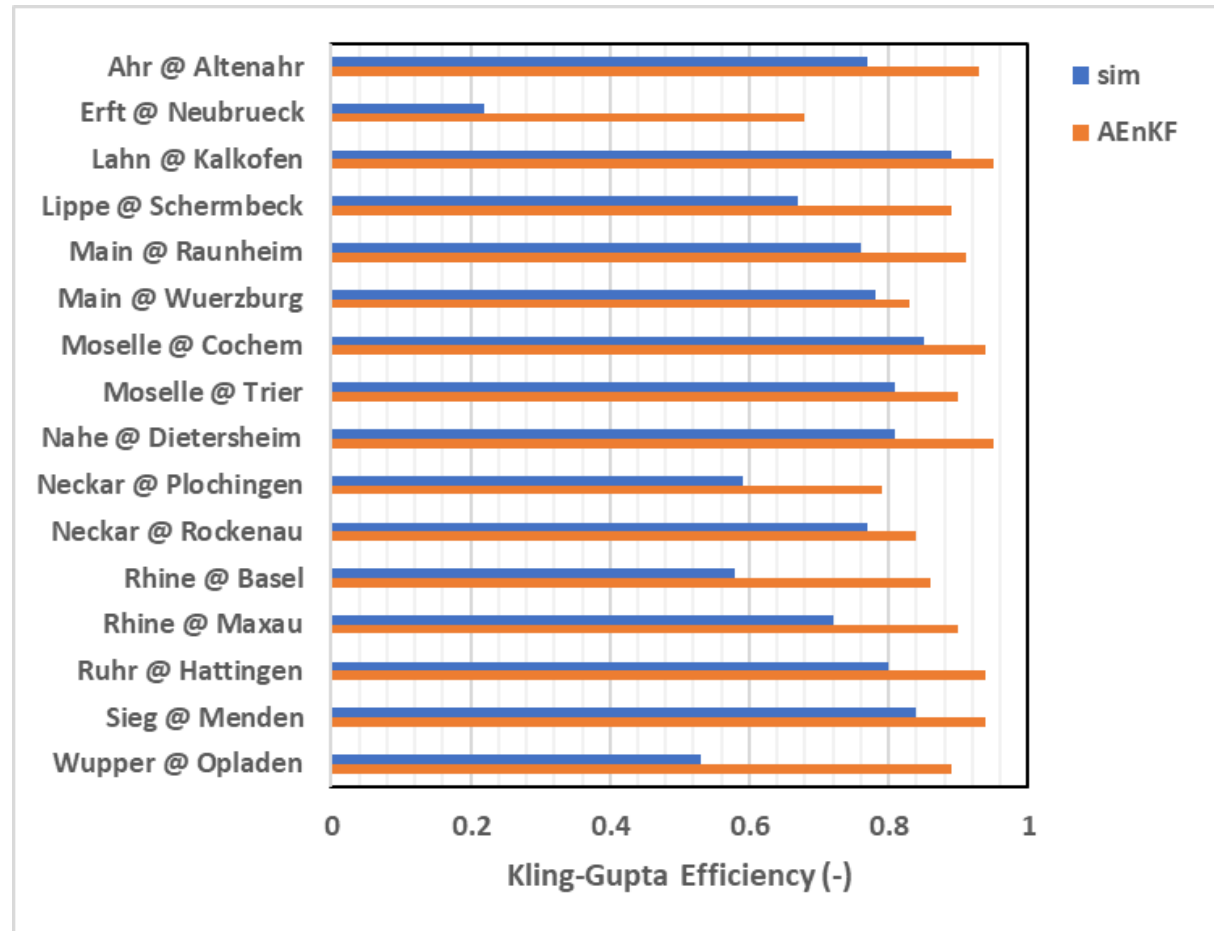
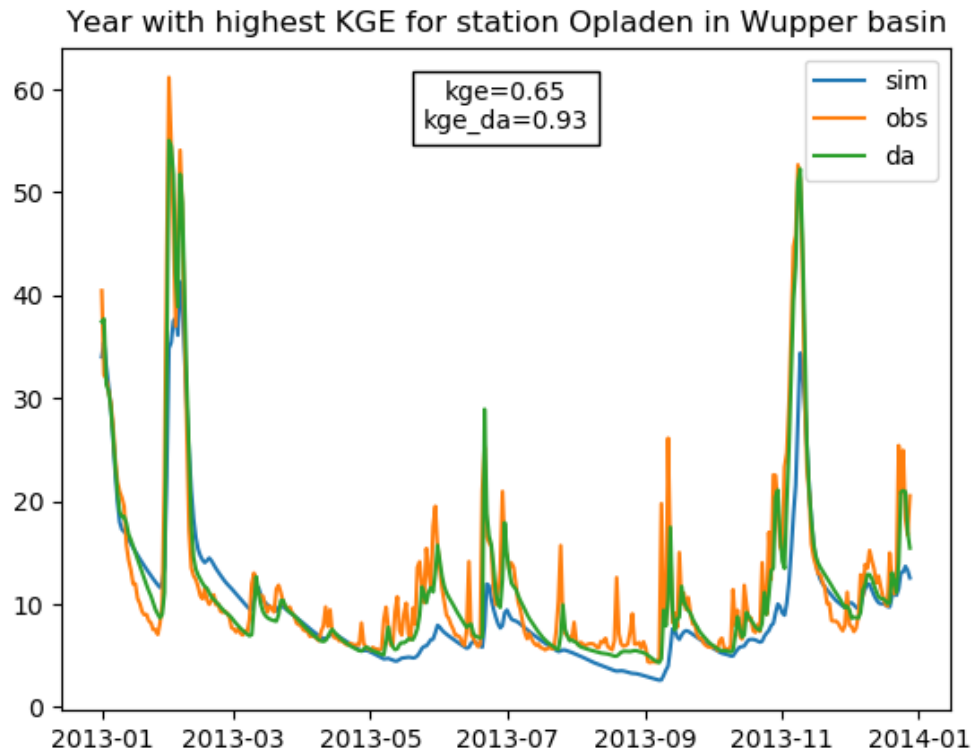


- Ruimtelijke berekening van PET
- De invloed van verdamping op 10d afvoervoorspelling is nooit dominant
- Betere laagwater modelering?
Focus op het model

van Osnabrugge, B., R. Uijlenhoet, and A. Weerts. "Contribution of potential evaporation forecasts to 10-day streamflow forecast skill for the Rhine River." *Hydrology and Earth System Sciences* 23.3 (2019): 1453-1467.

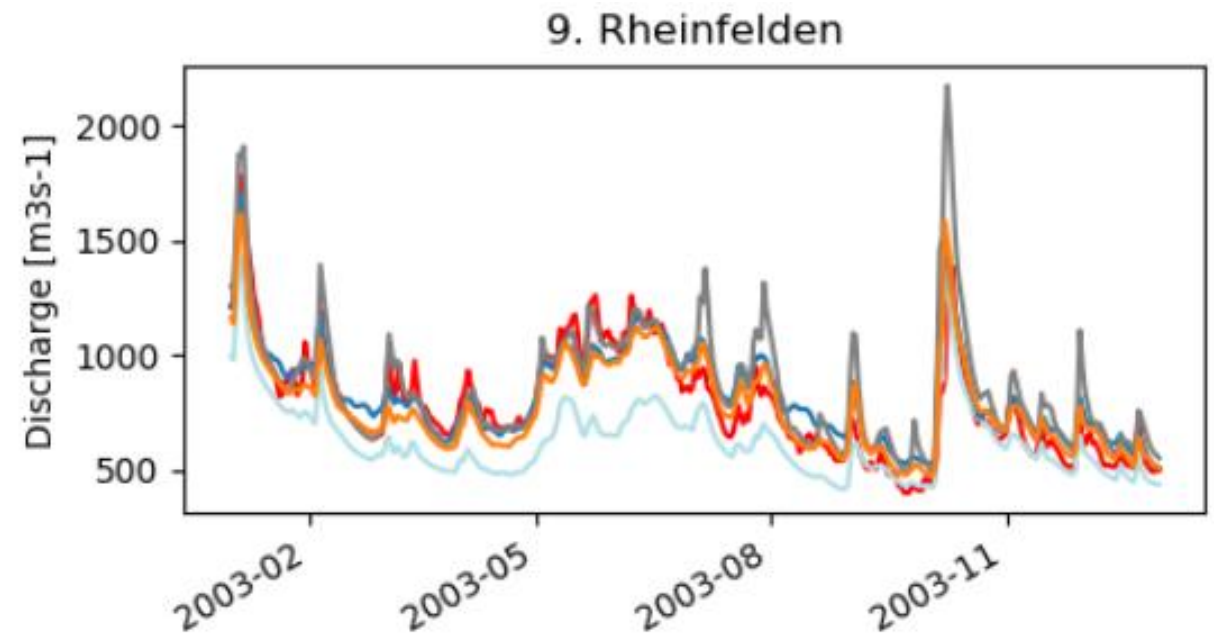
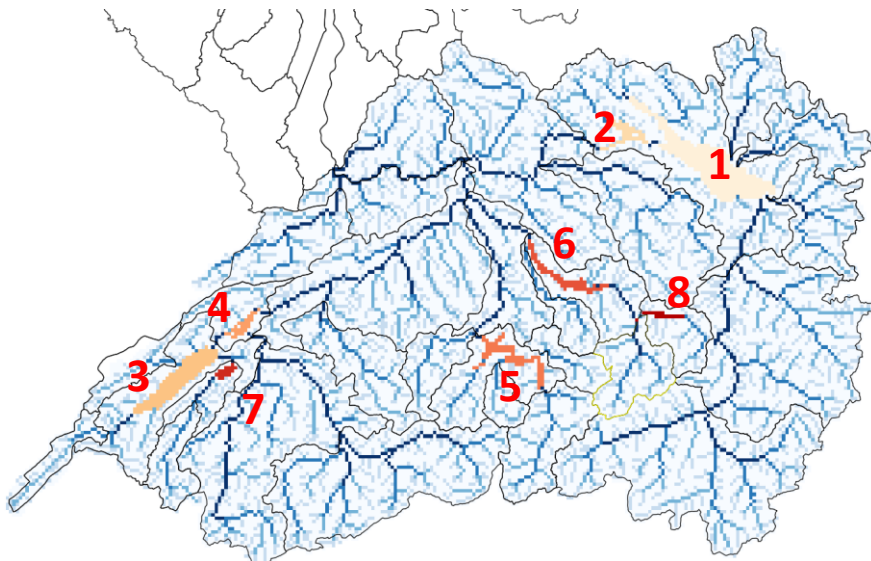
Experimenten met wflow_hbv

Data assimilatie van afvoer



Experimenten met wflow_hbv

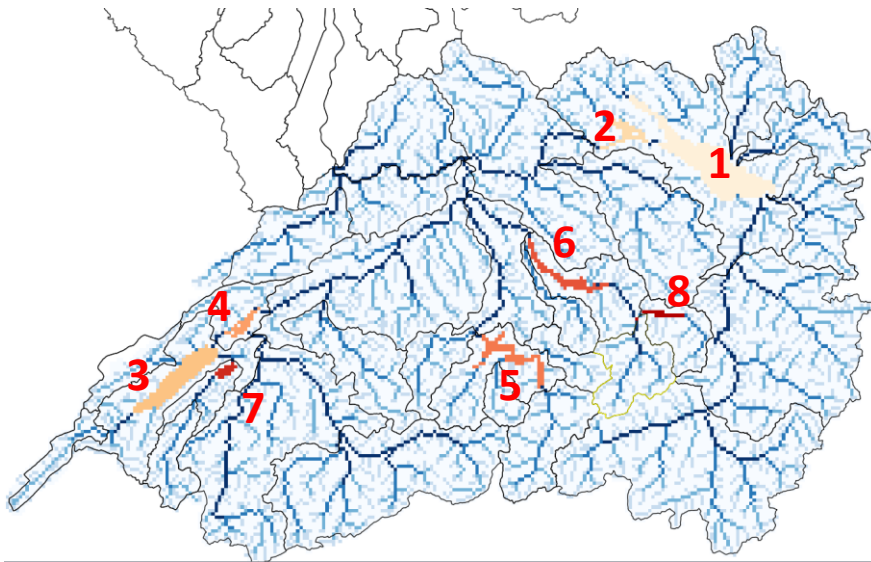
Data assimilatie met waterstanden van meren in Zwitserland



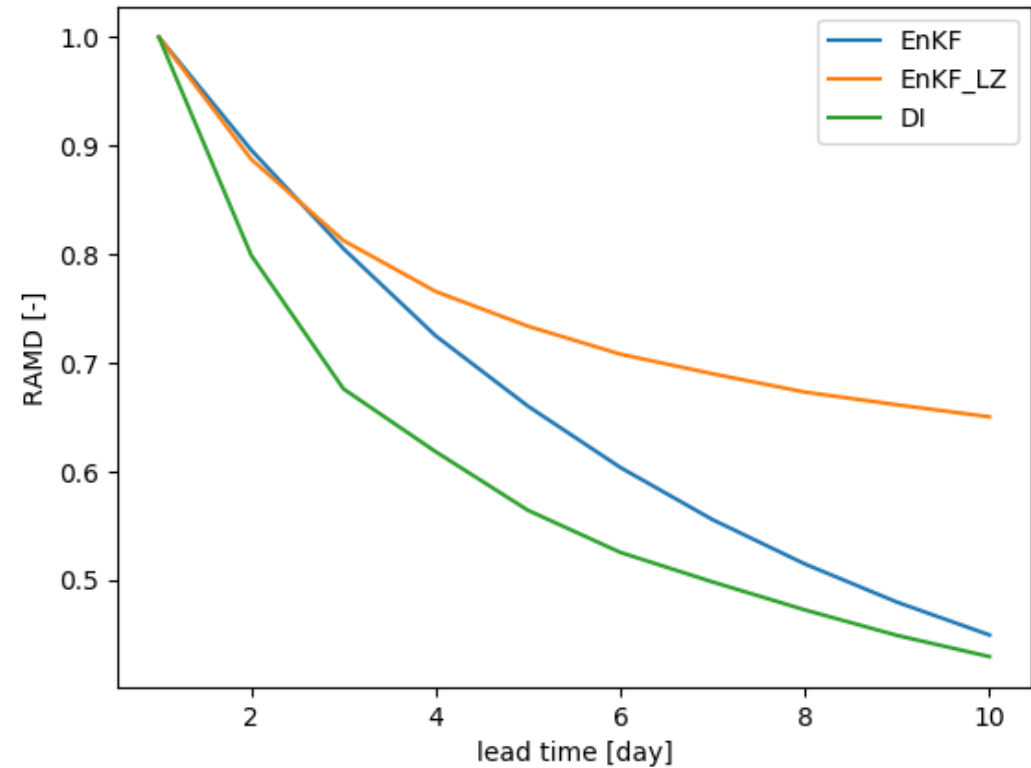
van Osnabrugge, B., et al. "Assimilation of multiple lake levels in an operational integrated catchment model of the Swiss Rhine basin." *Journal of Hydrology* (Manuscript, planned late 2019) .

Experimenten met wflow_hbv

Data assimilatie met waterstanden van meren in Zwitserland



Relative absolute mean distance to open loop as function of lead time



van Osnabrugge, B., et al. "Assimilation of multiple lake levels in an operational integrated catchment model of the Swiss Rhine basin." *Journal of Hydrology* (Manuscript, planned late 2019) .



impres

Learn from today to anticipate tomorrow



IMPRES: Naar een nieuw hydrologisch model voor het Rijnstroomgebied

Deel 3: wflow_sbm: het modelconcept voor de toekomst?



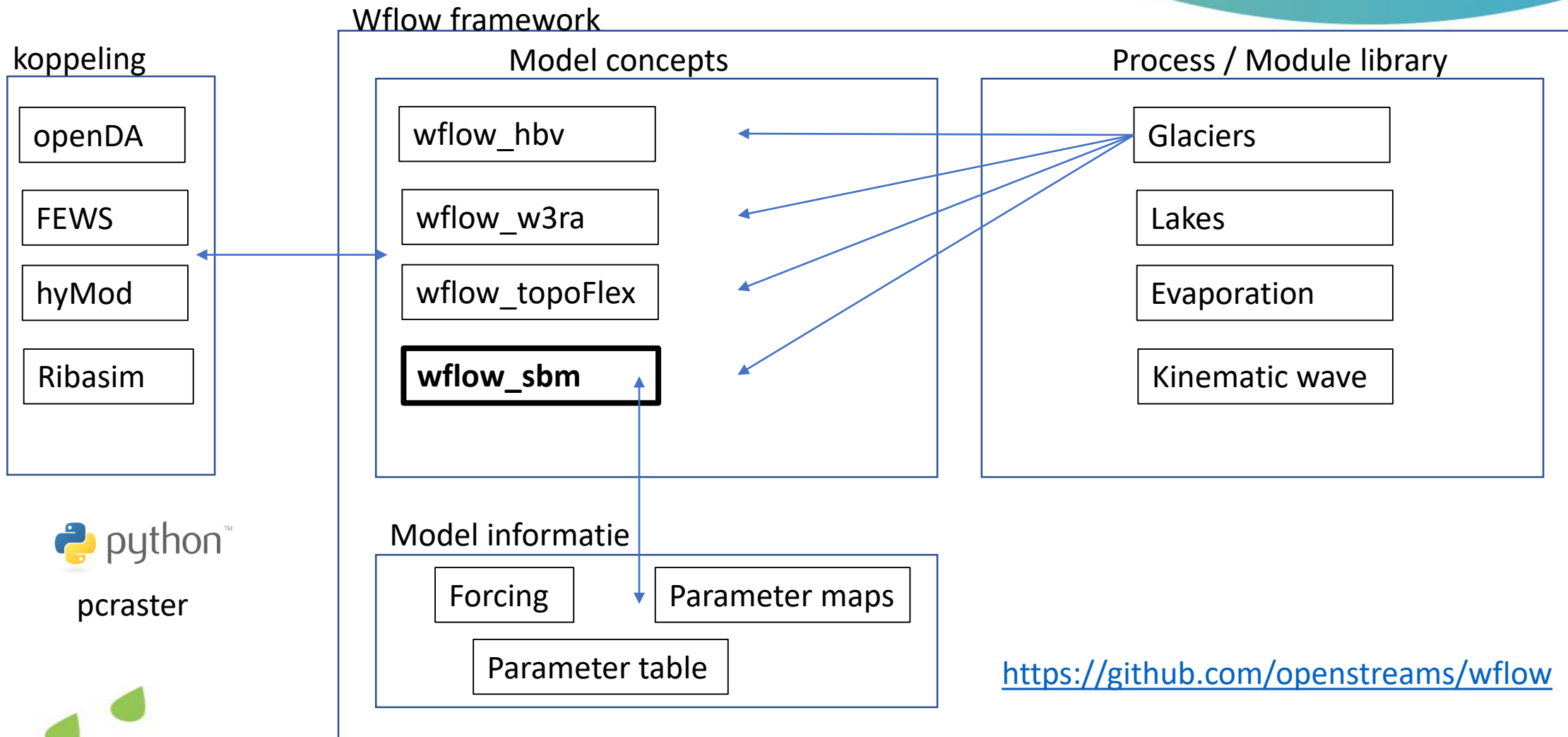
Bart van Osnabrugge, Mark Hegnauer
Ruben Imhoff, Maarten Smoorenburg, Willem van Verseveld,
Hélène Boisgontier, Dirk Eilander, Pieter Hazenberg, Albrecht
Weerts

Deltares

09 April 2019

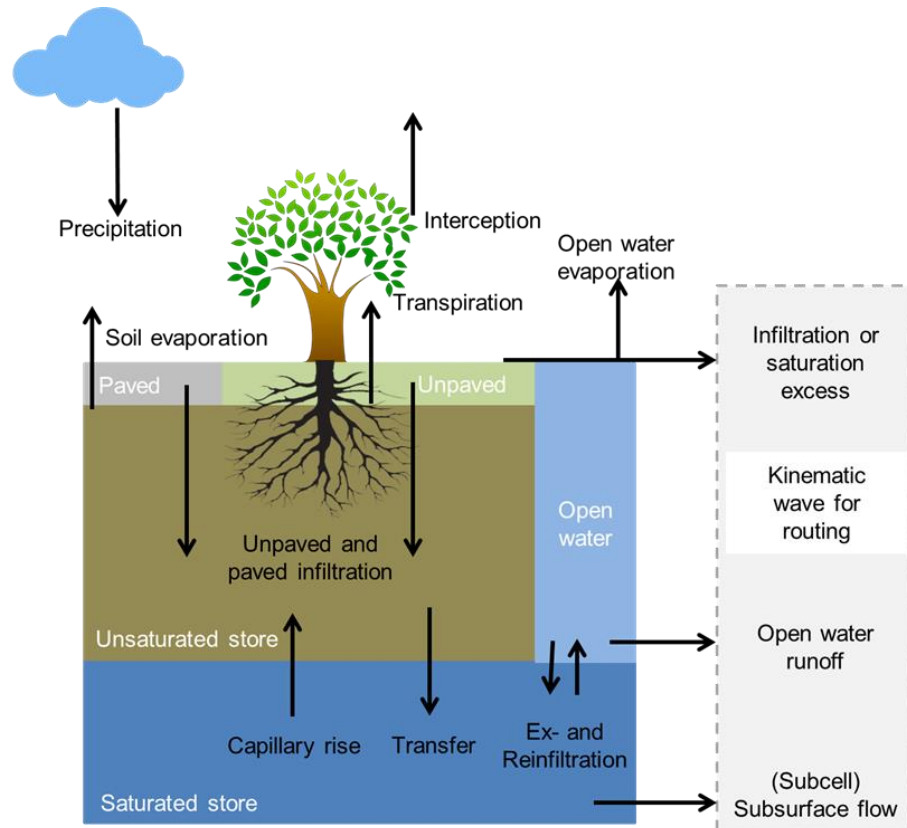


wflow framework



wflow_sbm: model voor de toekomst ?

Kernprincipes

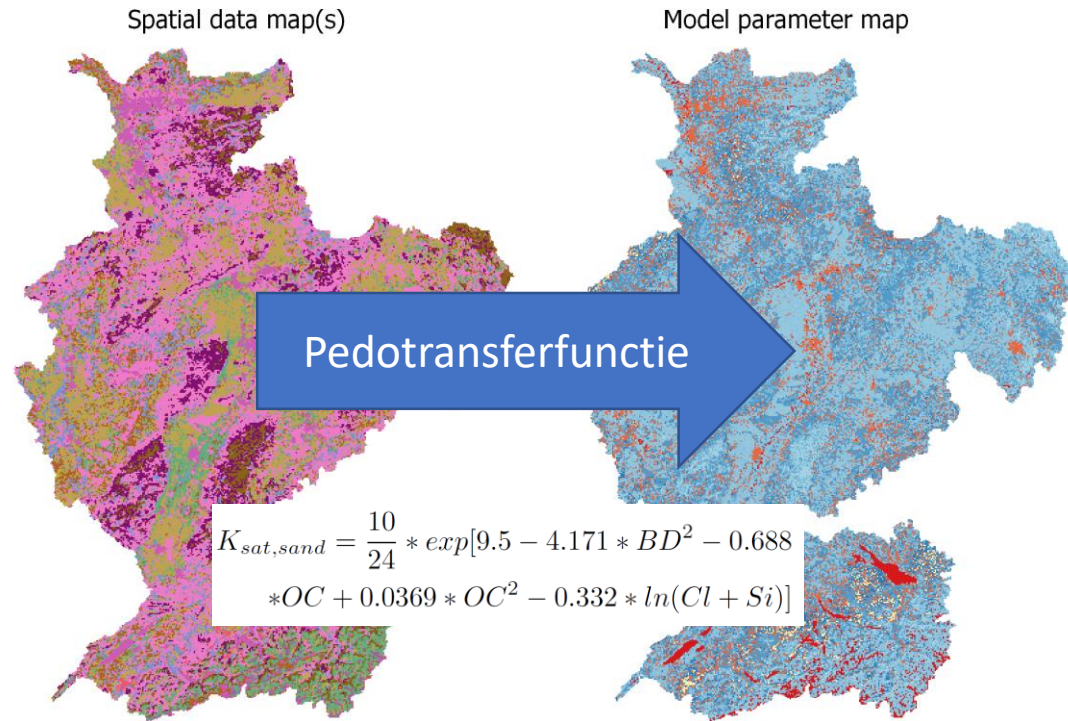


- Conceptueel modelconcept
- Minimale kalibratie
- Multi-Resolutie

https://wflow.readthedocs.io/en/latest/wflow_sbm.html

wflow_sbm: model voor de toekomst ?

Kernprincipes



- Conceptueel model
- **Minimale kalibratie**
- Multi-Resolutie

wflow_sbm: model voor de toekomst ?

Kernprincipes

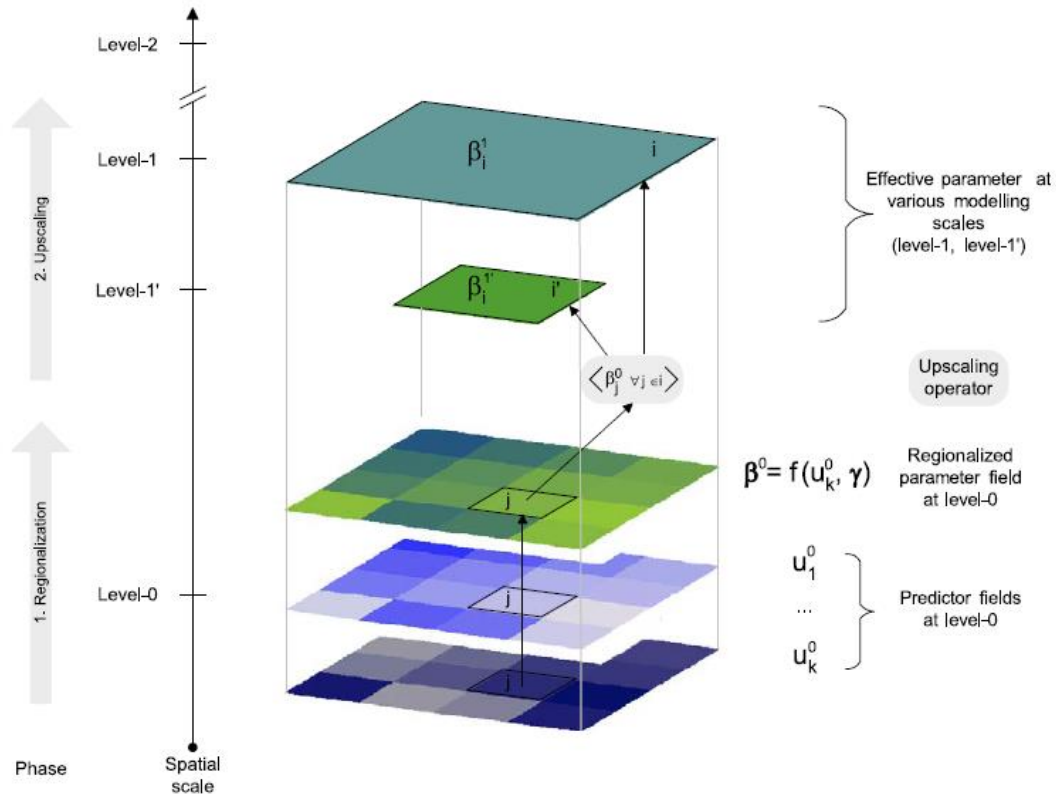
Parameter	Pedo-transfer function by	Upscaling operator	Additional notes
c	<i>Brooks and Corey</i> [1964]	log A	λ upscaled with log A, c determined from λ at model resolution
Kext	<i>Van Dijk and Bruijnzeel</i> [2001]	A	Look-up table from land cover
KsatVer	<i>Wösten</i> [1997] and <i>Brakensiek et al.</i> [1984]	log A	
LAI M	<i>Myneni et al.</i> [2015]	N	Downscaling Derived as exponential decay-function from KsatVer at 7 depths
N	<i>Engman</i> [1986] and <i>Kilgore</i> [1997]	A	Look-up table from land cover
N_River	<i>Liu et al.</i> [2005]		Derived at model resolution, depends on Strahler order
RootingDepth	<i>Yang et al.</i> [2016]	N	
Sl	<i>Pitman</i> [1989] and <i>Liu</i> [1998]	A	Look-up table from land cover
SoilThickness	<i>Hengl et al.</i> [2017] and <i>ESDAC</i> [2004]	A	
Swood	<i>Pitman</i> [1989] and <i>Liu</i> [1998]	A	Look-up table from land cover
thetaR	<i>Tóth et al.</i> [2015]	A	
thetaS	<i>Tóth et al.</i> [2015]	A	

- Conceptueel model
- Minimale kalibratie
- Multi-Resolutie

Imhoff, R. et al., *water resources research*, 2019. (in revision)

wflow_sbm: model voor de toekomst ?

Kernprincipes

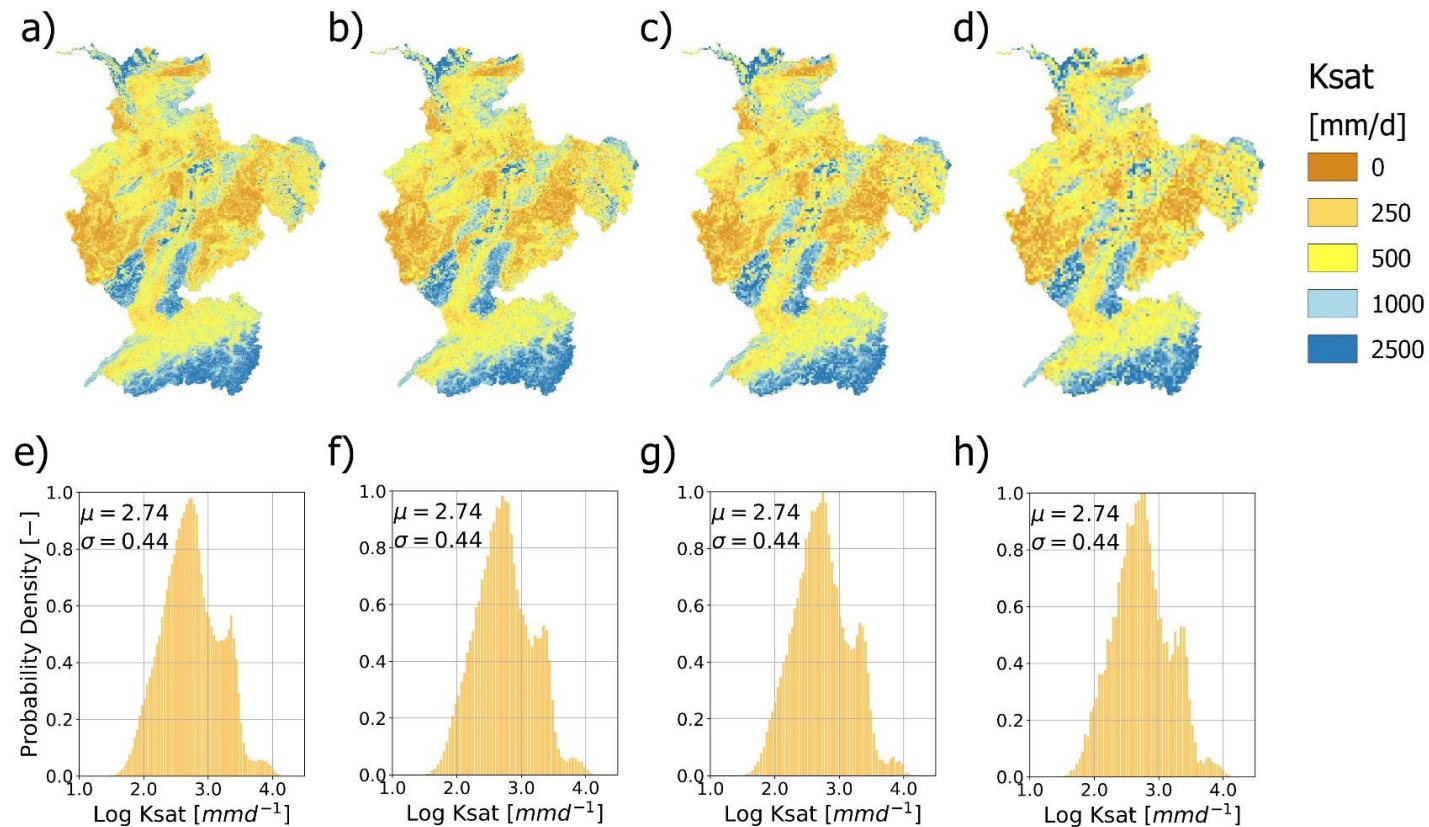


- Conceptueel model
- Minimale kalibratie
- **Multi-Resolutie**

Samaniego, Luis, Rohini Kumar, and Sabine Attinger. "Multiscale parameter regionalization of a grid-based hydrologic model at the mesoscale." *Water Resources Research* 46.5 (2010).

wflow_sbm: model voor de toekomst ?

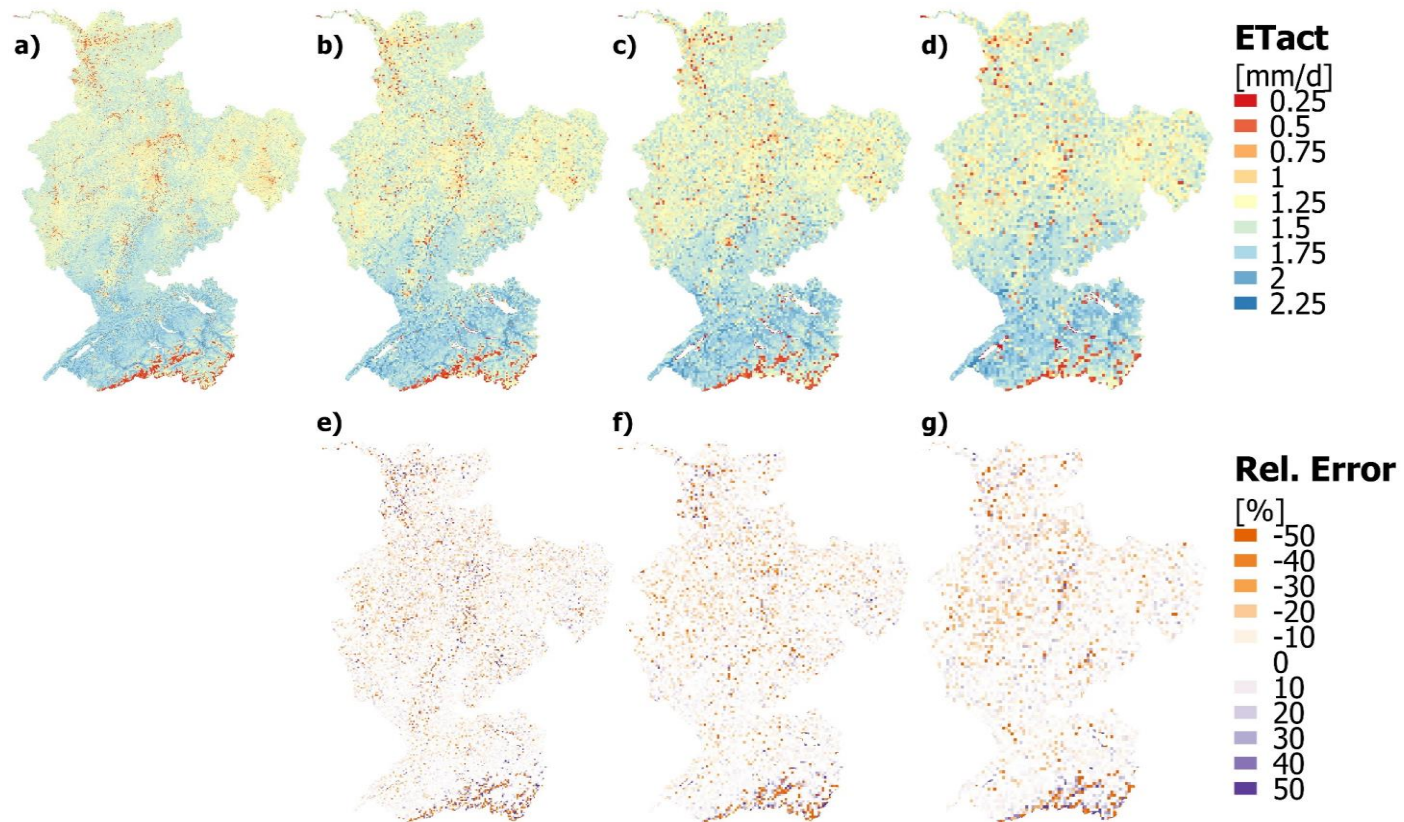
Resultaat: Multiscale Parameter Regionalisation



Imhoff, R. et al., *water resources research*, 2019. (in revision)

wflow_sbm: model voor de toekomst ?

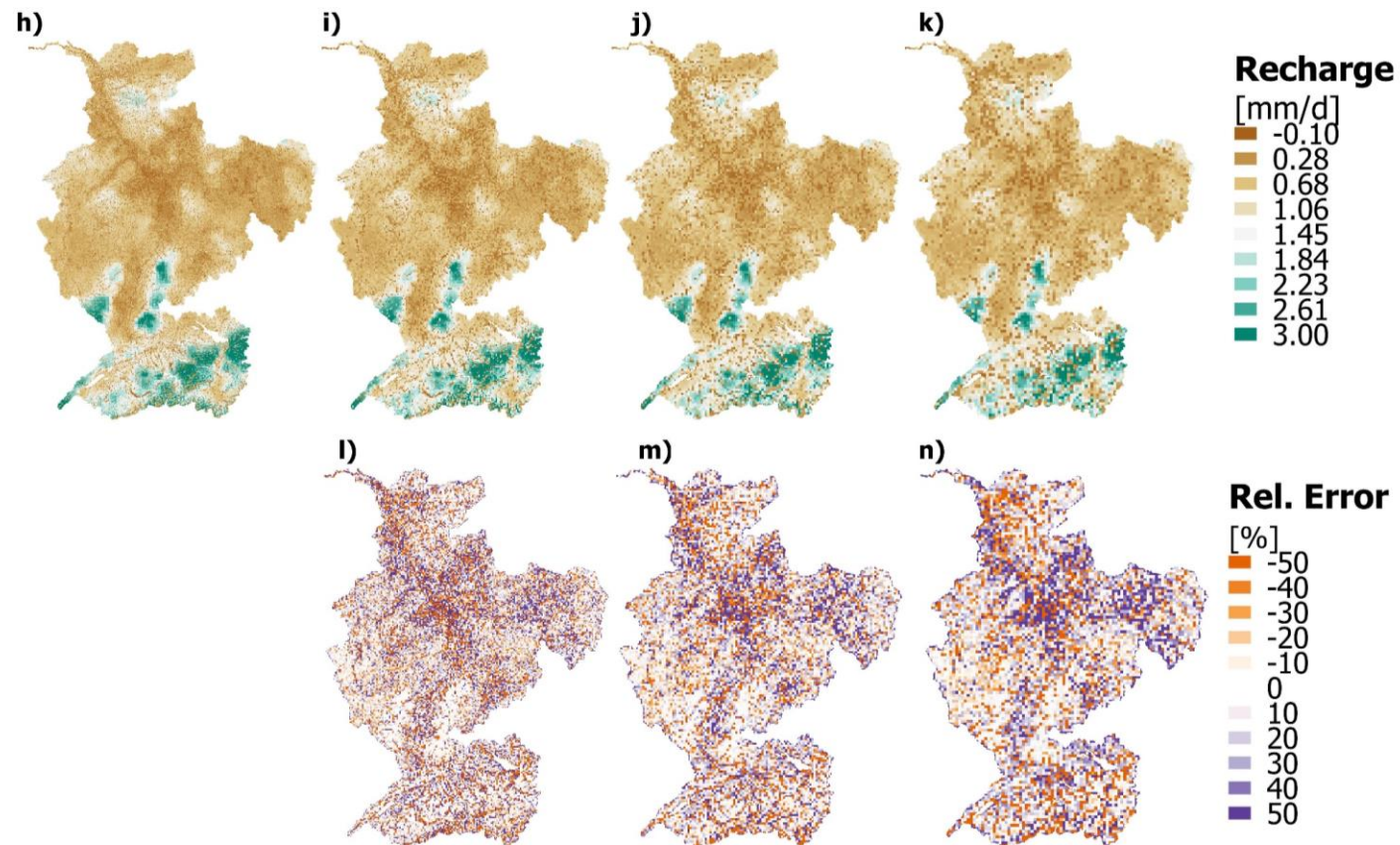
Resultaat: Multiscale



Imhoff, R. et al., *water resources research*, 2019. (in revision)

wflow_sbm: model voor de toekomst ?

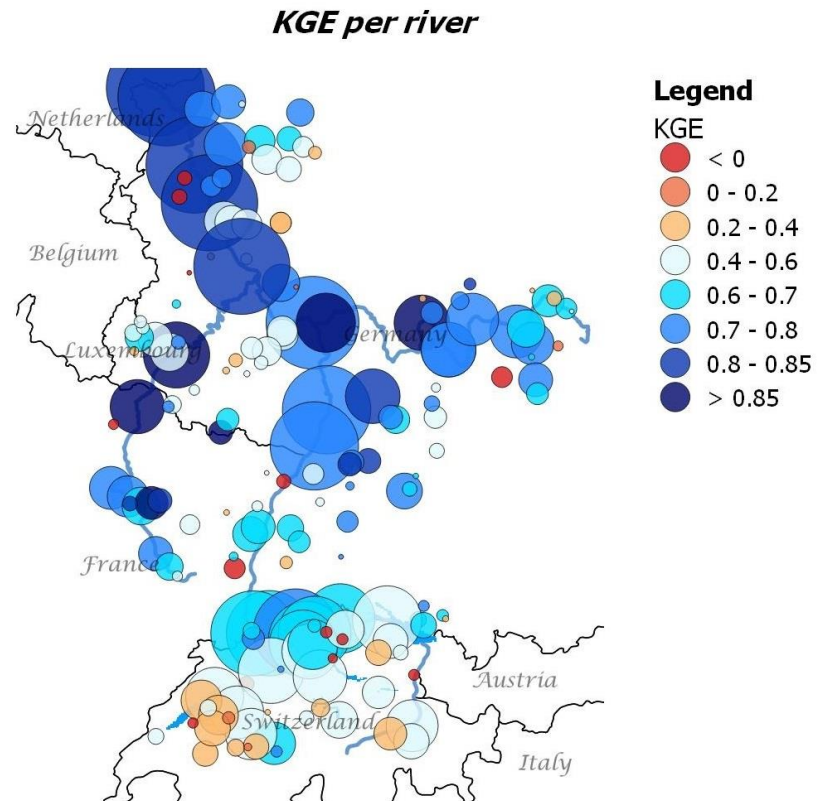
Resultaat: Multiscale



Imhoff, R. et al., *water resources research*, 2019. (in revision)

wflow_sbm: model voor de toekomst ?

Resultaat: KGE scores



- Niet geconditioneerd op forcering en observaties
- De juiste vragen:
 - Klopt de neerslag?
 - Is het de routing?
 - Missen we een maatgevend proces?
 - Moeten we meer meten?
 - Wat als ?

Imhoff, R. et al., *water resources research*, 2019. (in revision)

IMPRES Legacy

- wflow_hbv
 - wflow_hbv klaar om hbv96 te vervangen in RWSOS
 - wflow_hbv met data assimilatie levert betere voorspellingen
- wflow_sbm
 - wflow_sbm klaar voor uitgebreid testen
 - Testen met openDA
 - Verbeteringen in schalen van riviernetwerk
 - Een versie die gekalibreerd is
 - Globale model is beschikbaar
- wflow framework
 - Kostenefficient verder ontwikkelen
 - Wie doet er mee?

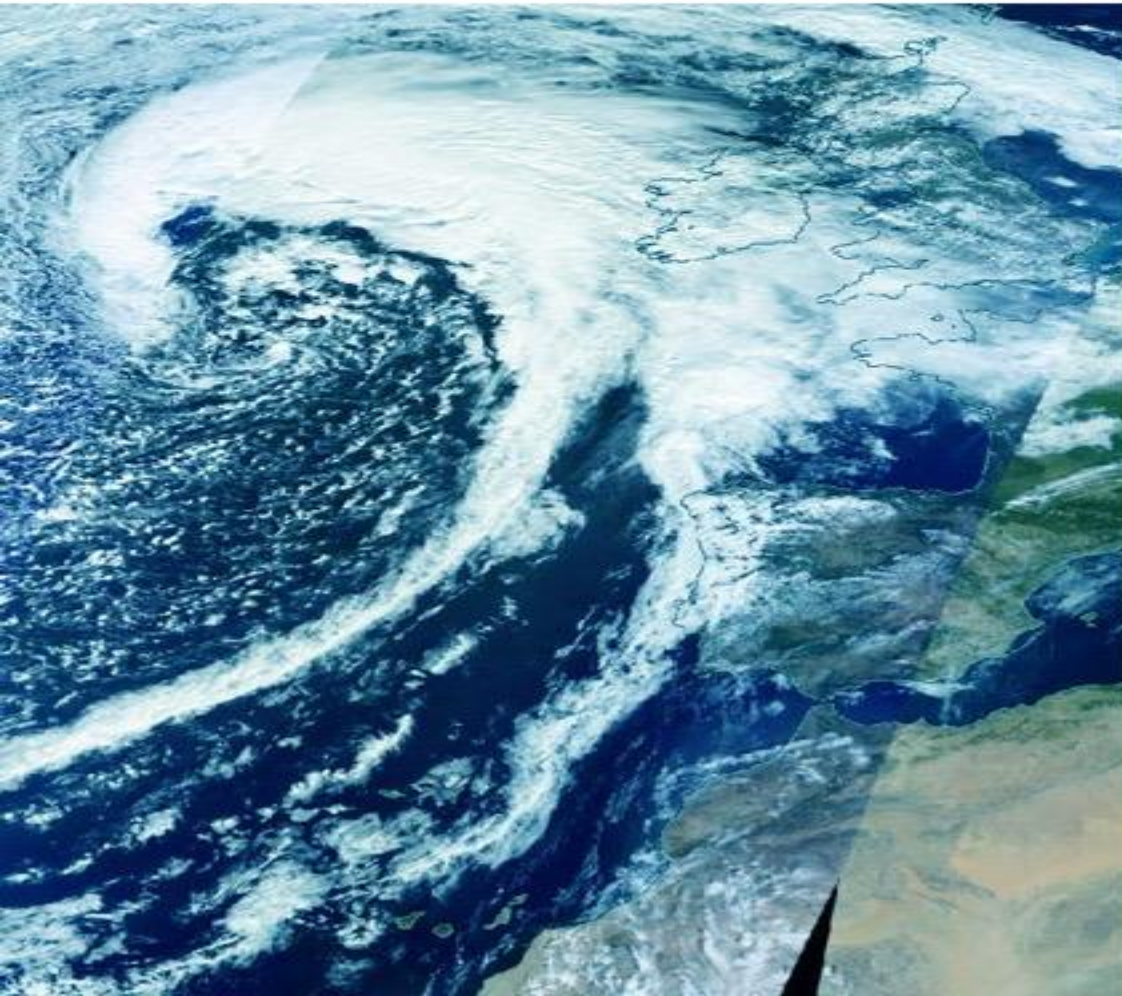
Is het nu beter?

- JA
 - wflow is een vooruitgang in modelomgeving
 - Data assimilatie met wflow-openDA leidt tot betere voorspellingen
 - wflow_sbm concept
 - Breed inzetbaar
 - Veelbelovende eerste resultaten
- NEE
 - Kalibreren van wflow_sbm?
 - Paralelliseren / welke resolutie (ensembles / GRADE)?



impres

Learn from today to anticipate tomorrow



IMPRES: Naar een nieuw hydrologisch model voor het Rijnstroomgebied

Deel 4: Discussie



Bart van Osnabrugge, Mark Hegnauer
Ruben Imhoff, Maarten Smoorenburg, Willem van Verseveld,
Hélène Boisgontier, Dirk Eilander, Pieter Hazenberg, Albrecht
Weerts

Deltares

09 April 2019



Discussie

- Wat geeft vertrouwen in een hydrologisch model?
- Wat is er nodig voor jullie om te kunnen zeggen: hier durf ik beslissingen op te baseren?



imprex

Learn from today to anticipate tomorrow

Acknowledgement



IMPRES is a research project supported by
the European Commission under the Horizon 2020
Framework Programme

Grant Agreement No 641811

Duration: 01/10/15 - 01/10/19



Contact details

Deltares

Mark Hegnauer

Mark.Hegnauer@Deltares.nl

Bart van Osnabrugge

Bart.vanOsnabrugge@Deltares.nl

Albrecht Weerts

Albrecht.Weerts@deltares.nl

www.impres.eu

 [@impres_eu](https://twitter.com/impres_eu)