



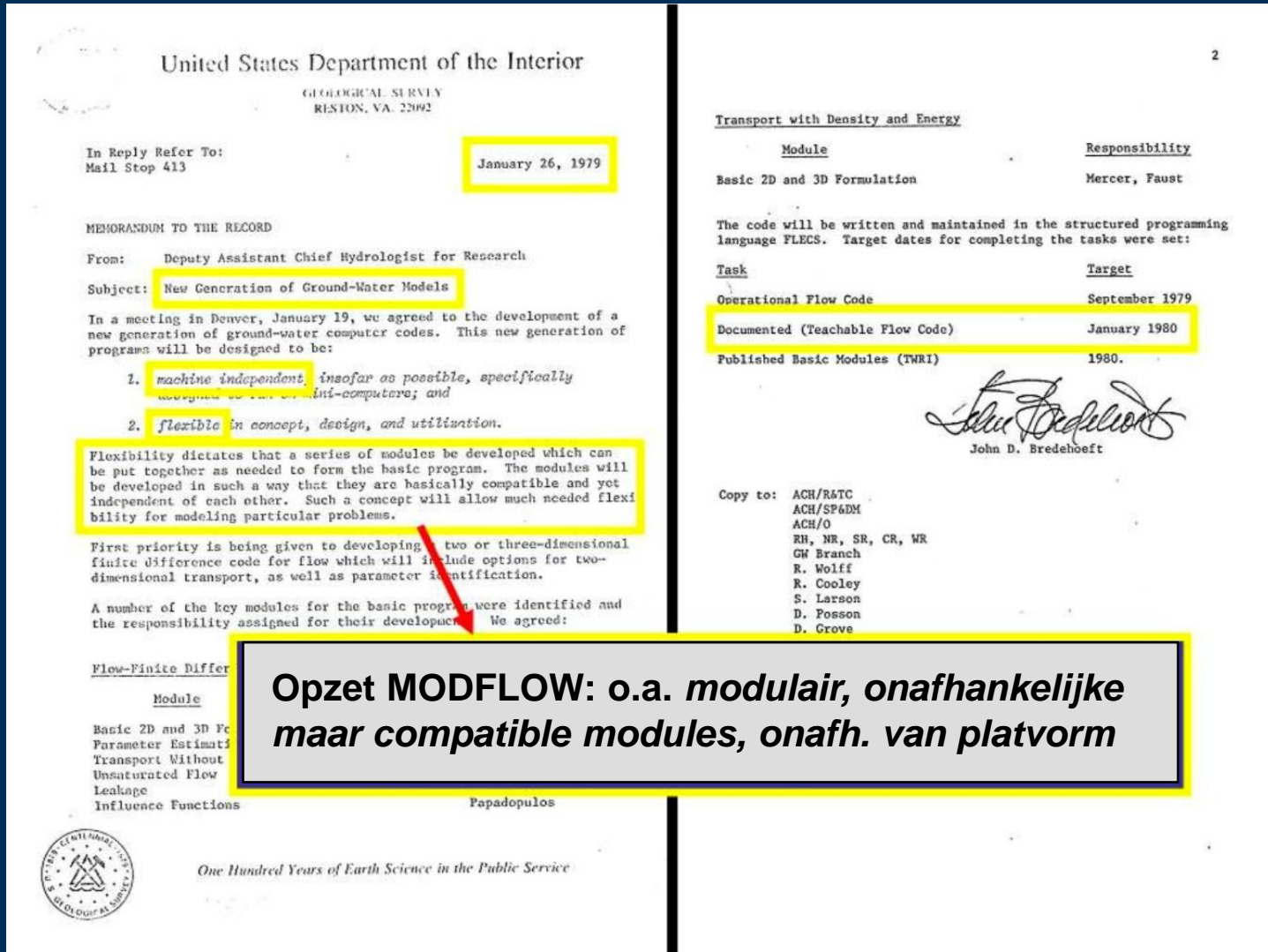
# Het nieuwe modelleren: MODFLOW6

Timo Kroon (Deltares)

NHI symposium, 21 januari 2021

1. Historische context MODFLOW-ontwikkelingen (USGS)
2. MODFLOW 6: wat is het?
3. Wat wordt nu gebruikt binnen NHI en wat betekent dat?
4. Nieuwe ontwikkelingen, o.a. MODFLOW 6 - MetaSWAP
5. Voordelen MODFLOW 6 voor NHI (toekomstbeeld)

# Historische context MODFLOW (interne memo USGS, 1979)



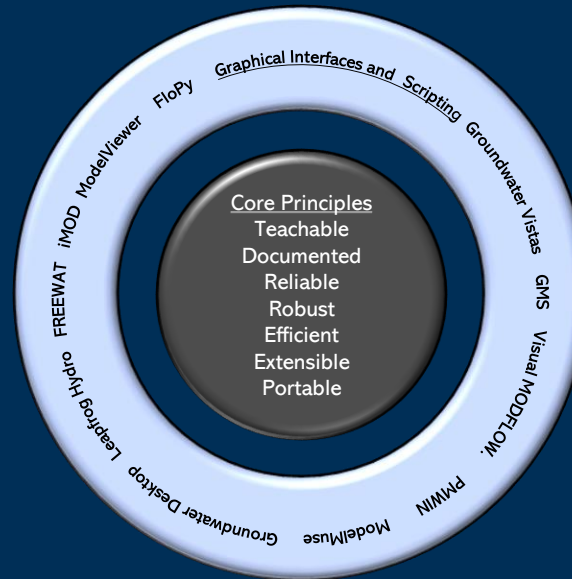
# MODFLOW succesvol door vasthouden principes

*o.a. goed gedocumenteerd, betrouwbaar, robuust, efficiënt, uitbreidbaar*



# MODFLOW – gereedschaps inmiddels uitgebreid

*Voorbeeld: scripts, user interfaces*

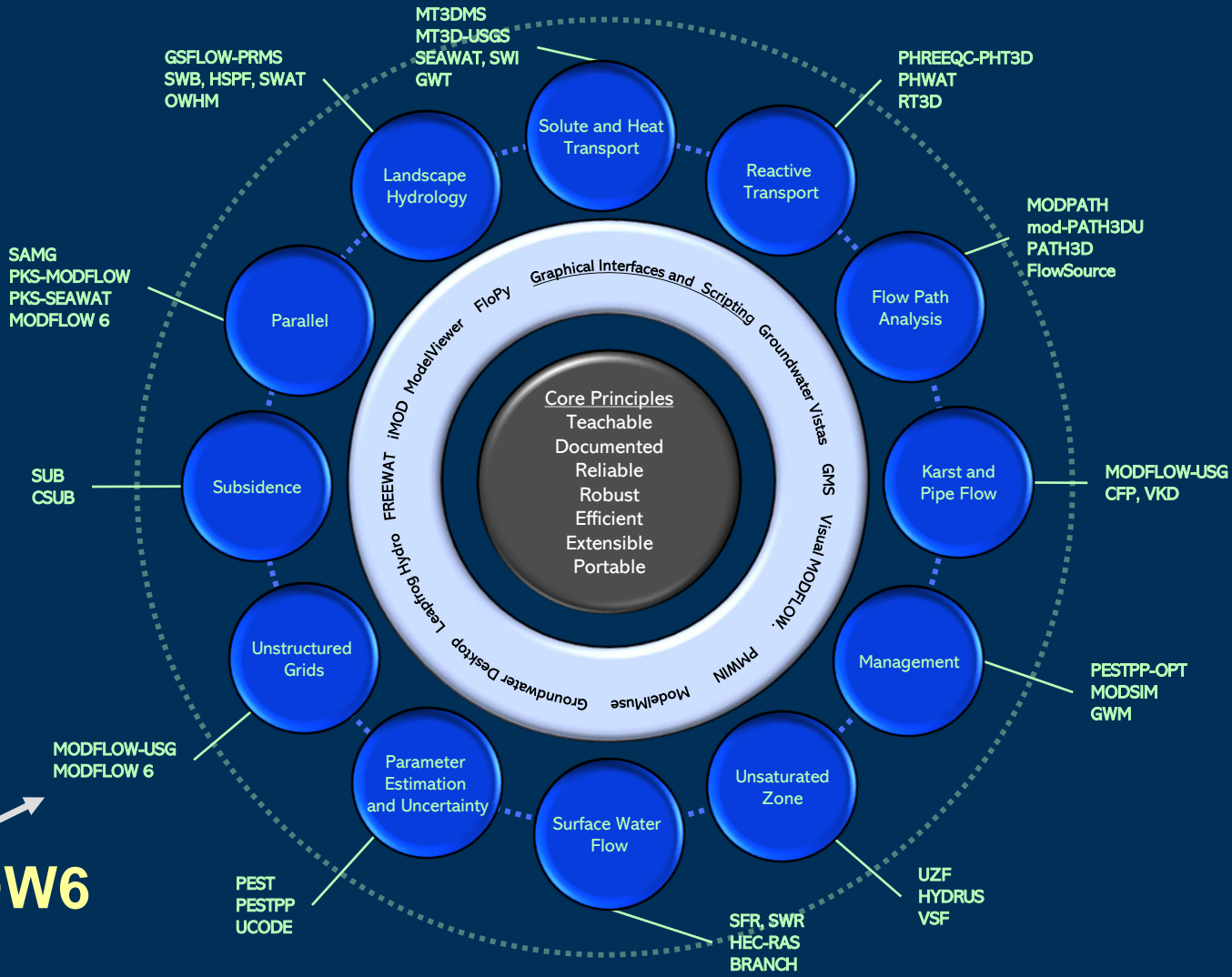


# MODFLOW thematisch gegroeid (complexe opgaven)

*Voorbeeld: waterkwaliteit, bodemdaling, optimalisatie*



# MODFLOW: een ecosysteem van codes ...

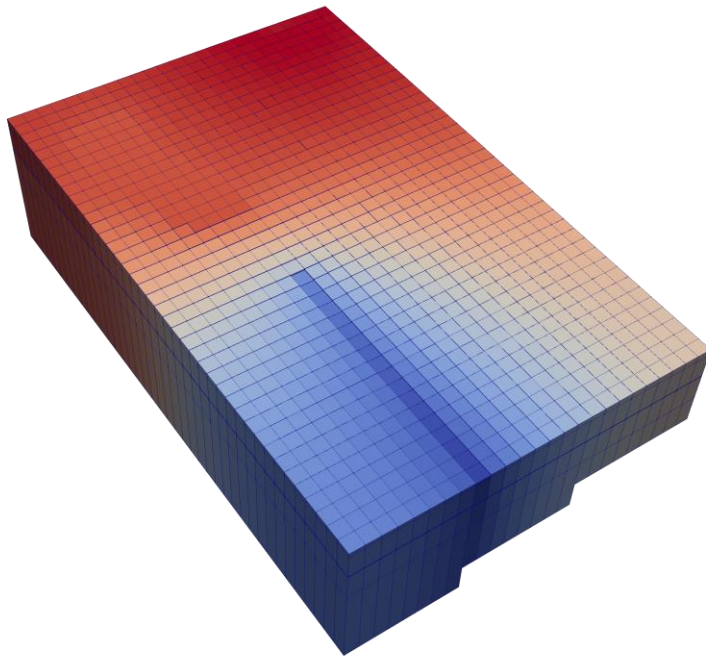


**MODFLOW6**

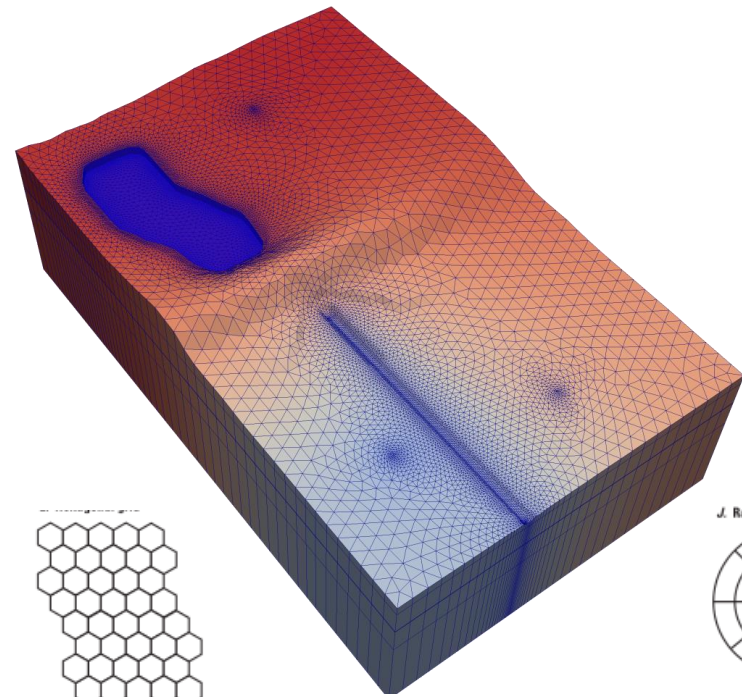
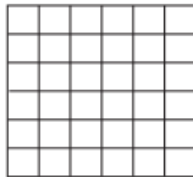


Bron: presentatie Joe Hughes, iMOD userday 2019

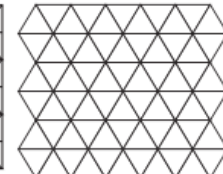
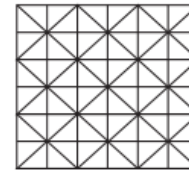
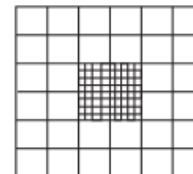
1. Volledig **opnieuw geprogrammeerd** (object georiënteerd, Fortran)
  - Zowel **gestructureerd** (DIS) als **ongestructureerd** (DISV, DISU)



A. Rectangular grid



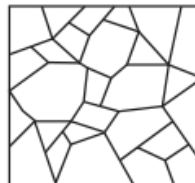
Unstructured grids  
H. Rectangular, nested grid



J. Radial grid



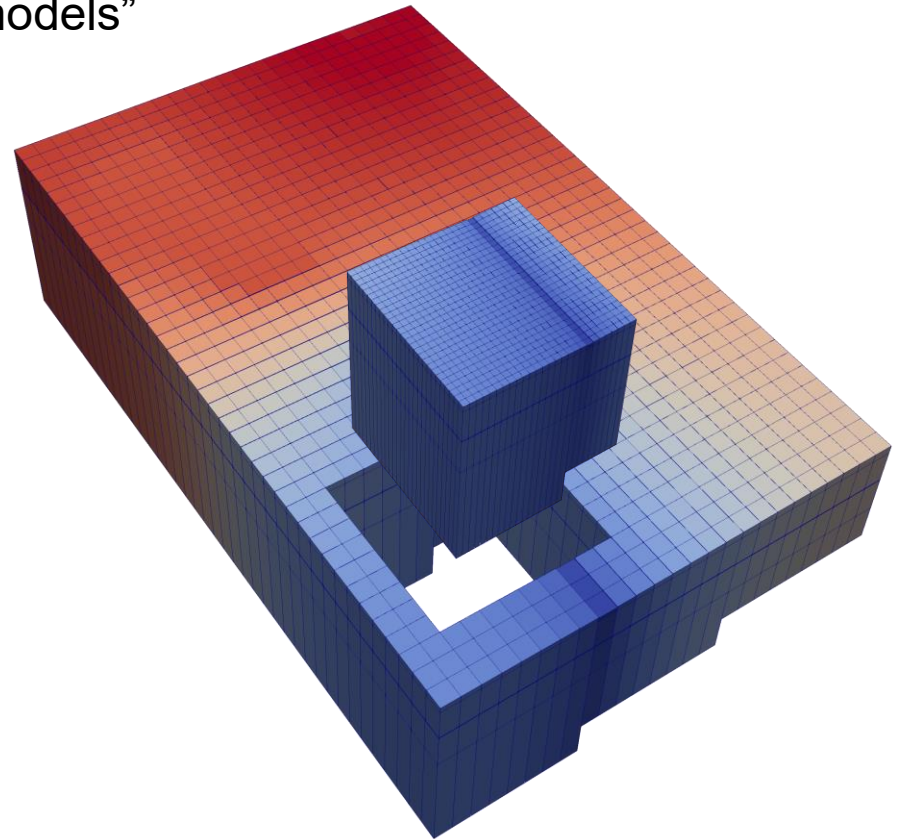
M. Irregular polygon grid





## 2. Ondersteuning van **Multi-Model-simulaties**

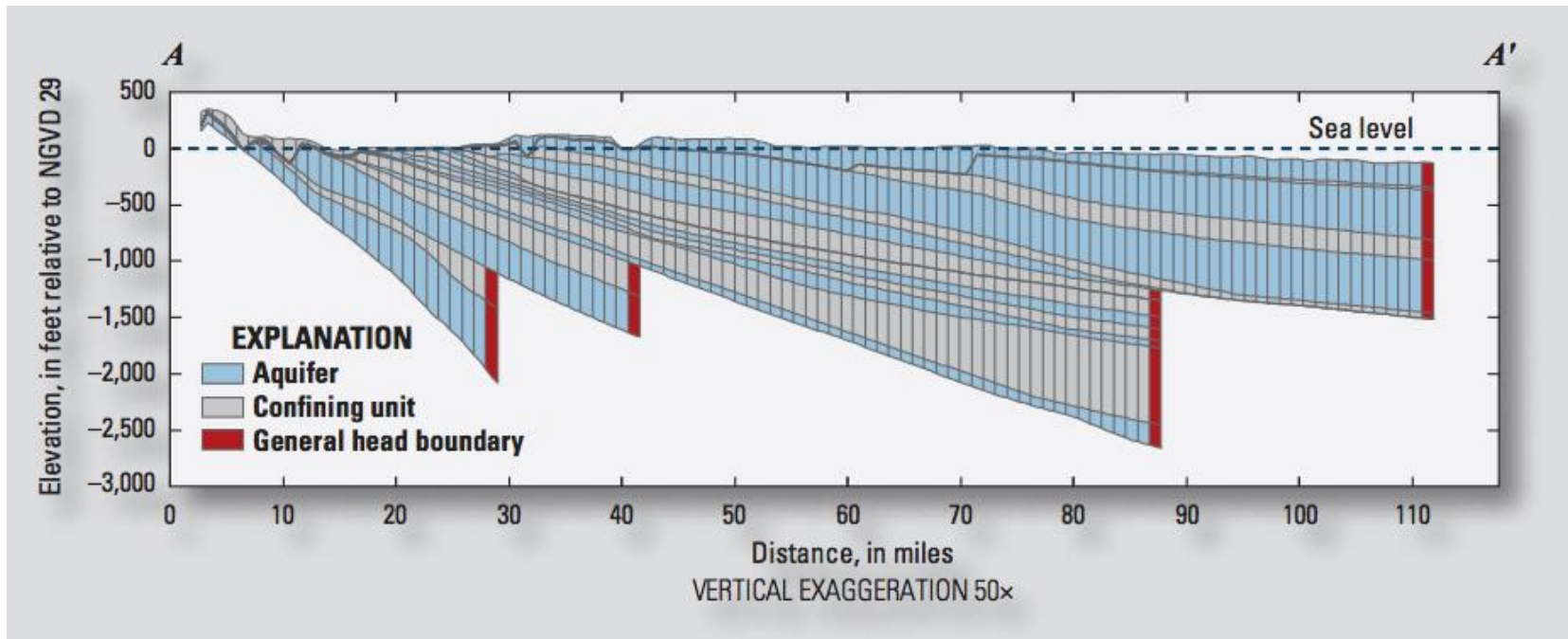
- Binnen één simulatie gekoppelde / geneste modellen mogelijk
  - Gestapeld of aansluitend (in matrices gekoppeld)
  - Flexibel: “parent, child, grandchild models”



# Wat is MODFLOW 6?

## 3. Verbeterde efficiëntie

- Vb bij **uitwiggende lagen** / inactieve cellen
- Vb iDOMAIN functie: inactieve cellen overslaan / discontinue lagen
- Vb Water MOVER package: balansen tussen packages makkelijk koppelen
- Vb verbeterde wet-dry opties (Newton formulation)



# Wat is MODFLOW 6?



## 4. De ontwikkeling en ontsluiting is gemoderniseerd

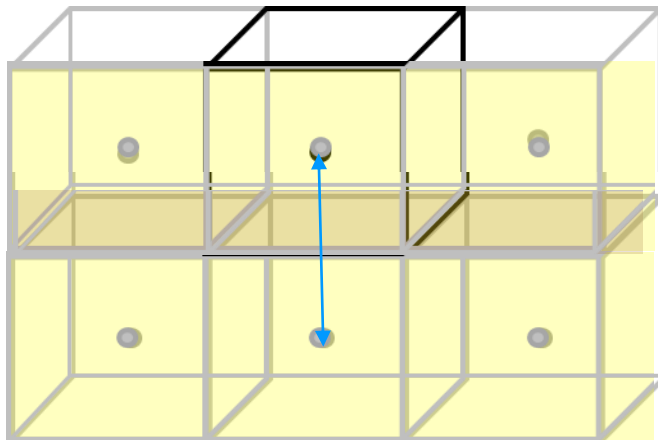
- code en script ontwikkeling op GitHub
- actieve community
- Incl. wiki + inzicht in plannen

A screenshot of the GitHub repository page for MODFLOW-USGS/modflow6. The browser address bar shows the URL https://github.com/MODFLOW-USGS/modflow6. The GitHub navigation bar includes links for Why GitHub?, Team, Enterprise, Explore, Marketplace, and Pricing, along with a search bar and Sign in/Sign up buttons. The repository name MODFLOW-USGS/modflow6 is displayed, along with statistics: 26 Watchers, 66 Stars, and 40 Forks. The repository has 32 Issues, 4 Pull requests, 1 Project, and a Wiki. The current branch is 'develop' with 5 branches and 9 tags. A list of recent commits is shown, including 'feat(mst): add Freundlich and Langmuir isotherms (#622)' by 'langevin-usgs' 2 days ago, and 'ci(rtd): setup read the docs (#561)' 5 months ago. The right sidebar shows the 'About' section with the repository name 'MODFLOW 6 Repository', a link to 'modflow6.readthedocs.io/', and a 'Releases' section with 9 releases, the latest being 'MODFLOW 6 Version 6.2.0' on Oct 22, 2020.

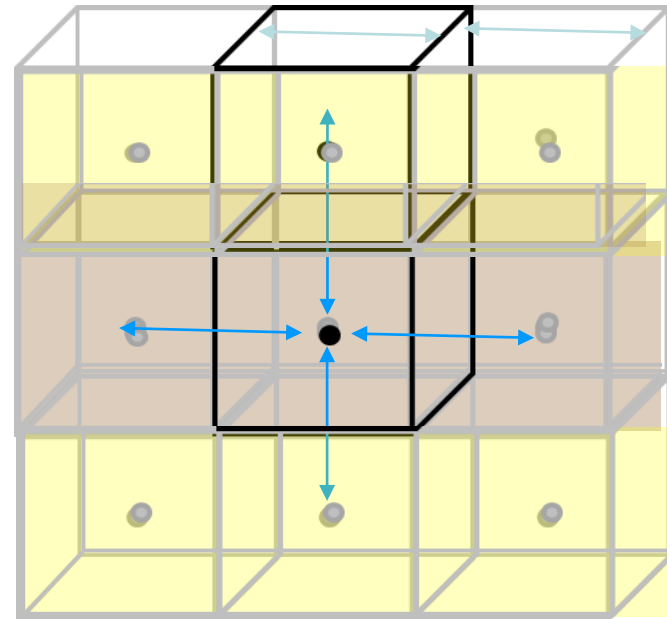
# Wat is MODFLOW 6?

- Niet alle oude functionaliteiten worden ondersteund, bijv.
  - Nb, dus ook zwaardere berekeningen ...

**quasi 3D (MF 2005)**

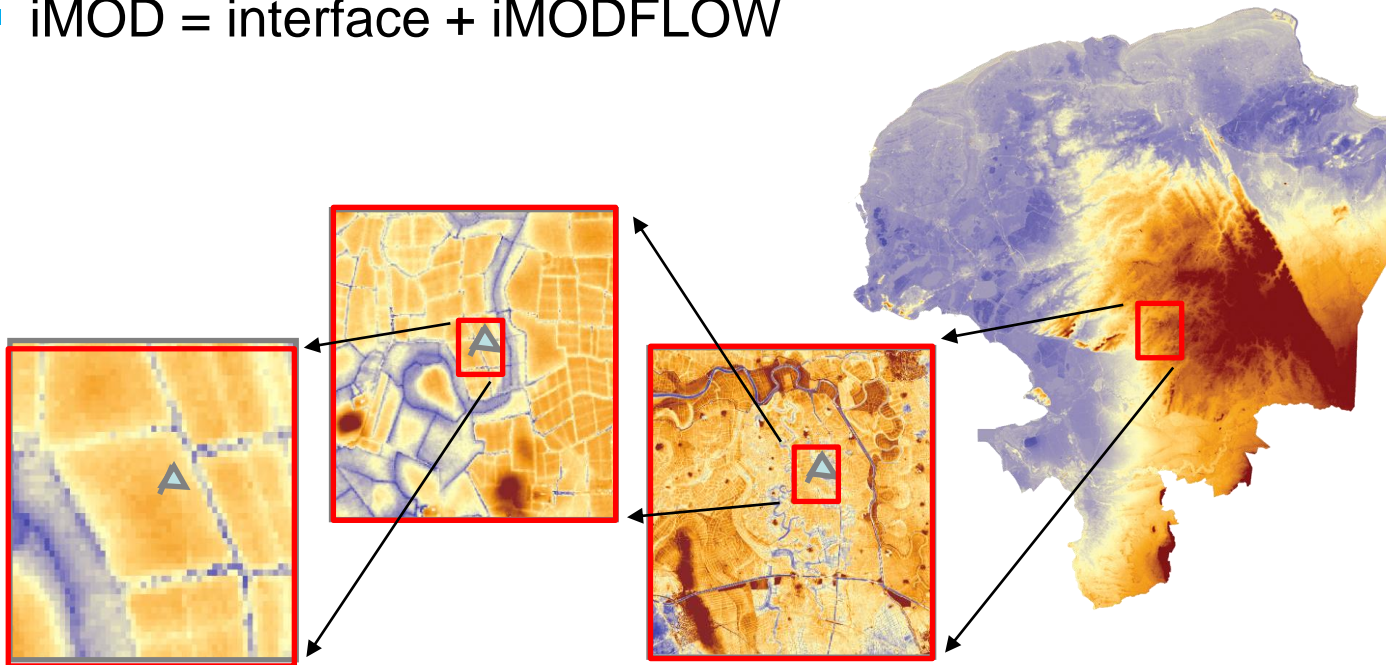


**full 3D (MODFLOW6)**



# Wat wordt nu gebruikt binnen NHI?

- Combinatie iMODFLOW – MetaSWAP (onderdeel iMOD)
  - speciale Deltares versie van MODFLOW 2005
    - speciale Deltares versie van MODFLOW 2005 voor hoge resolutie berekeningen, schaling data, parallel rekenen
    - iMOD = interface + iMODFLOW



# Hoe gaat het verder met iMOD?

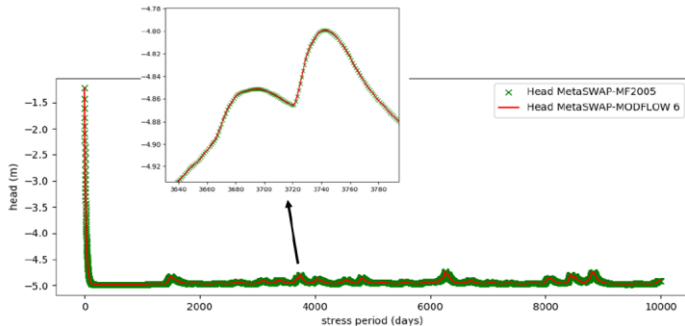


- Huidige **MODFLOW 2005** in toekomst niet meer ondersteund (USGS)
  - gebruikers zullen over moeten gaan naar MODFLOW 6
  - Deltares heeft aangekondigd bij overgang MODFLOW 6 direct aan te sluiten op broncode (geen eigen versie), meer samenwerking met USGS
- In overleg iMOD gebruikers **overstap MODFLOW 6 mogelijk** gemaakt:
  - koppeling MODFLOW 6 – MetaSWAP (gestructureerd, iMOD 5.2, 2020)
  - huidige GUI: bruikbaar voor gestructureerd MODFLOW 6
    - voorbereidingen ongestructureerd (workflows, GUI) in ontwikkeling
- Volledig **uitfasering MODFLOW 2005** later, zal nog enkele jaar duren:
  - o.a. Waterkwaliteit (MT3D)

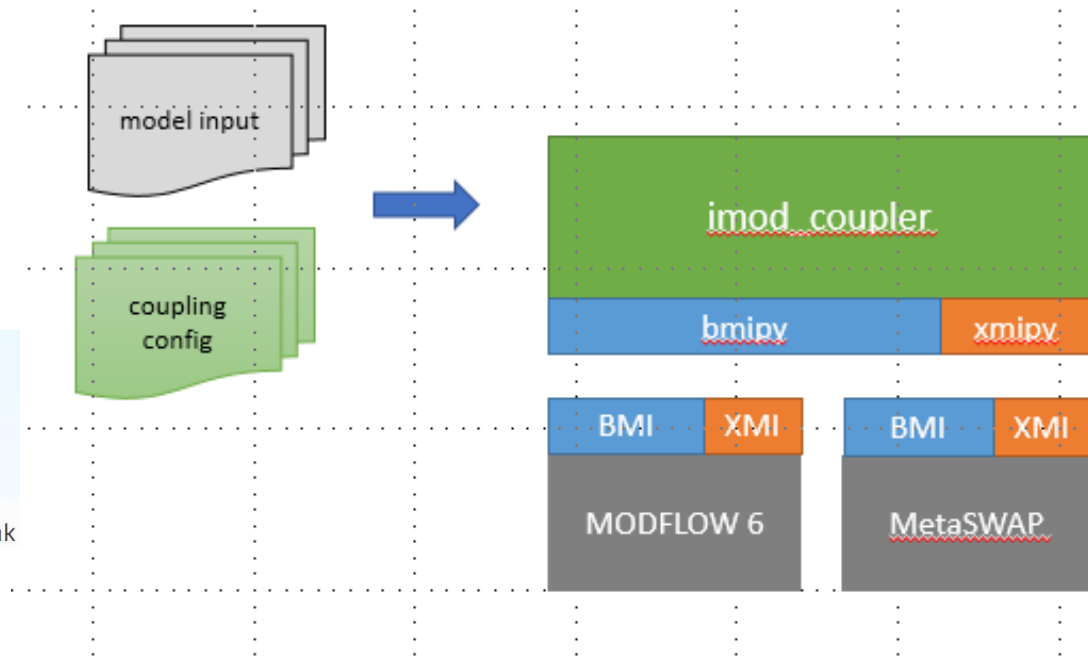
# Ontwikkeling 2020 (1): MODFLOW 6 BMI



- In 2020 code **MODFLOW 6 koppelbaar** gemaakt (Deltares, USGS)
  - BMI-standaarden
  - Onderdeel geworden van officiële MODFLOW – 6.2 release (USGS, Deltares, 2020)
- **MetaSWAP gekoppeld** aan MODFLOW 6 (*laag 1, gestructureerde grids*)
  - Gebruik van specifiek koppelscript (zie iMOD 5.2 releasenotes)
  - NB: nieuwe MetaSWAP versie ook te gebruiken voor nieuwe bodemfysica (Staringreeks)



Figuur 2.2 Resultaat van het stripmodel. Berekende stijghoogte in het MODFLOW 2005 – MetaSWAP model en met het MODFLOW 6 – MetaSWAP model.



Martijn Russcher



dr.ir. Robert Leander



drs. Joachim Hunink



dr. Joeri van Engelen



Paul van Walsum

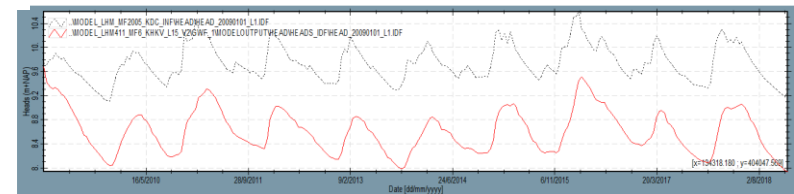
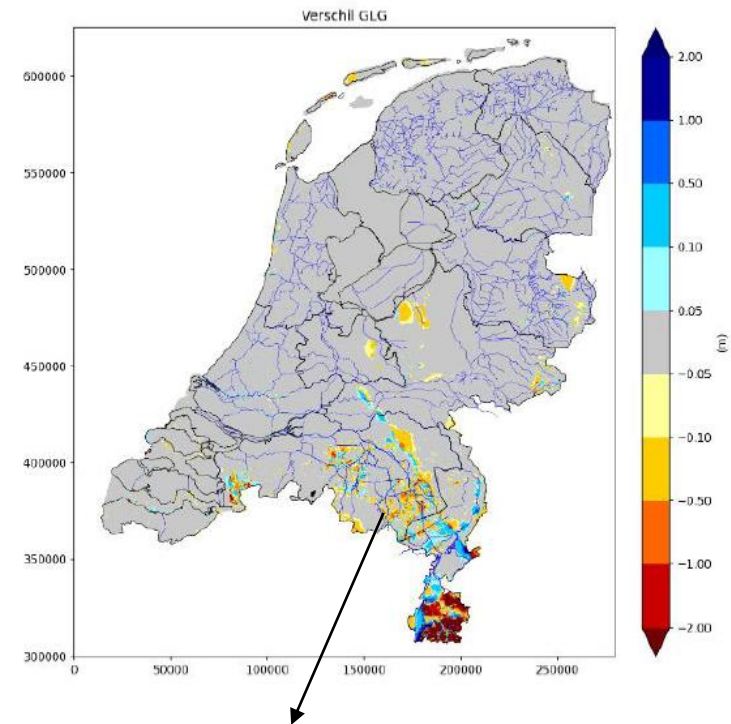


# Ontwikkeling (2): MF6-MS toegepast op LHM

Verschillen te verklaren door nieuwe MODFLOW

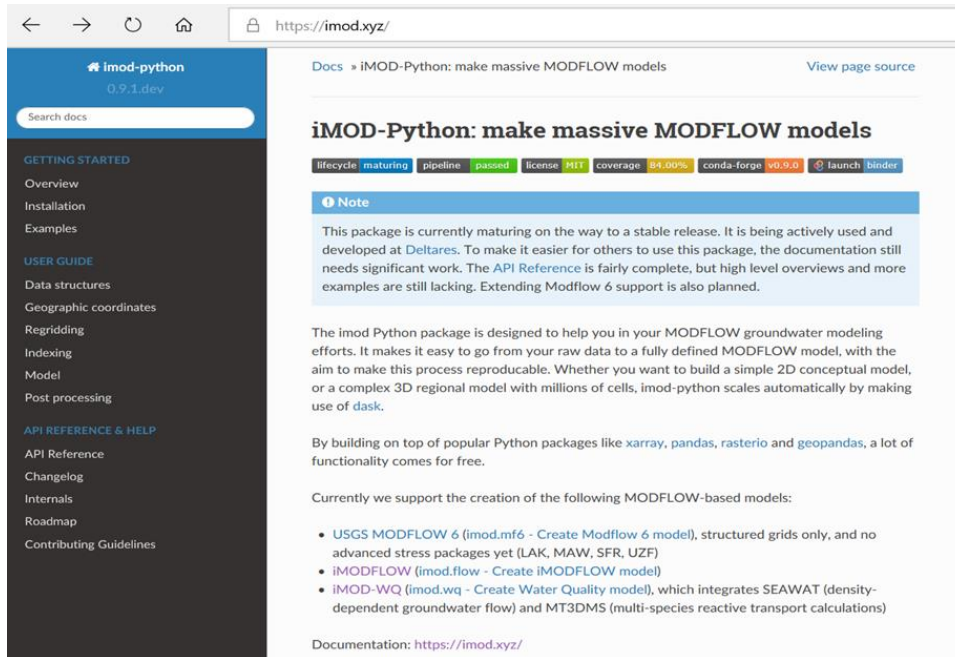
- verschil uitkomsten (o.a. 3D - quasi 3D)
- ontbreken infiltratiefactor meer impact
- rekenintensiever
  - werkgeheugen: factor 2
  - rekestijden: factor 1.5 – 5.5 (XT3D)

Model	Werkgeheugen (GB)	Rekestijd 1 modeljaar (uren)
MF2005-MS zonder ani (8 lagen)	10	3.13
MF2005-MS met ani (8 lagen)	10	3.35
MF6-MS zonder XT3D (15 lagen)	16	5.17
MF6-MS met XT3D (15 lagen)	23	18.02



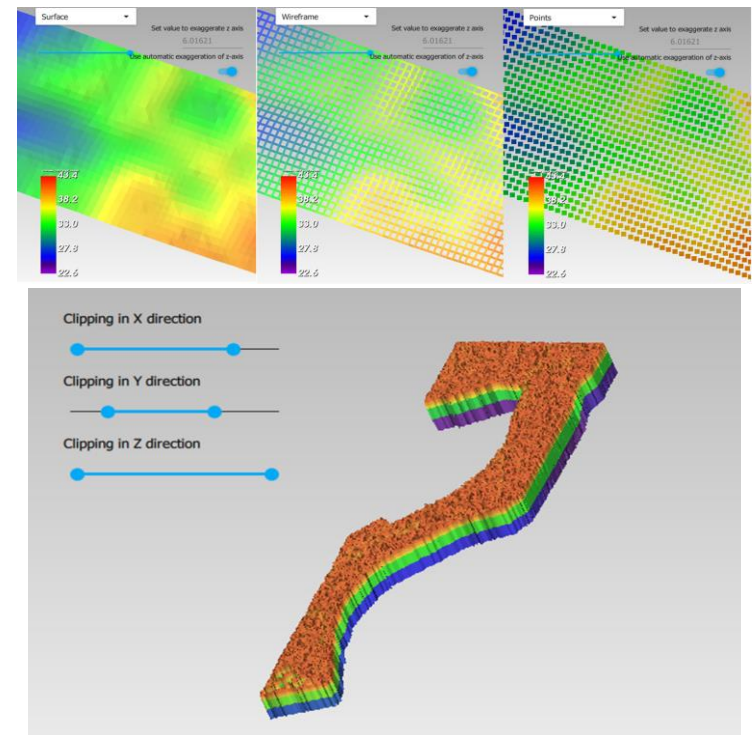


## iMOD python (NHI zoet-zout) (open toolbox, incl. aansluiting QGIS)



The screenshot shows the iMOD-Python documentation website. The main heading is "iMOD-Python: make massive MODFLOW models". Below the heading, there are several status indicators: "lifecycle maturing", "pipeline passed", "license MIT", "coverage 84.00%", "conda-forge v0.9.0", "launch", and "blender". A "Note" section states: "This package is currently maturing on the way to a stable release. It is being actively used and developed at Deltares. To make it easier for others to use this package, the documentation still needs significant work. The API Reference is fairly complete, but high level overviews and more examples are still lacking. Extending Modflow 6 support is also planned." Below the note, there is a paragraph describing the package's purpose: "The imod Python package is designed to help you in your MODFLOW groundwater modeling efforts. It makes it easy to go from your raw data to a fully defined MODFLOW model, with the aim to make this process reproducible. Whether you want to build a simple 2D conceptual model, or a complex 3D regional model with millions of cells, imod-python scales automatically by making use of dask." A list of supported MODFLOW-based models is provided: "USGS MODFLOW 6 (imod.mf6 - Create Modflow 6 model), structured grids only, and no advanced stress packages yet (LAK, MAW, SFR, UZF)", "iMODFLOW (imod.flow - Create iMODFLOW model)", and "iMOD-WQ (imod.wq - Create Water Quality model), which integrates SEAWAT (density-dependent groundwater flow) and MT3DMS (multi-species reactive transport calculations)". The documentation URL is given as "https://imod.xyz/".

## Prototype nieuwe gebruikersschil voor visualisatie unstructured



# iMOD webinar 28 januari (9.30-12.00)

Verdere toelichting op de laatste ontwikkelingen, o.a.

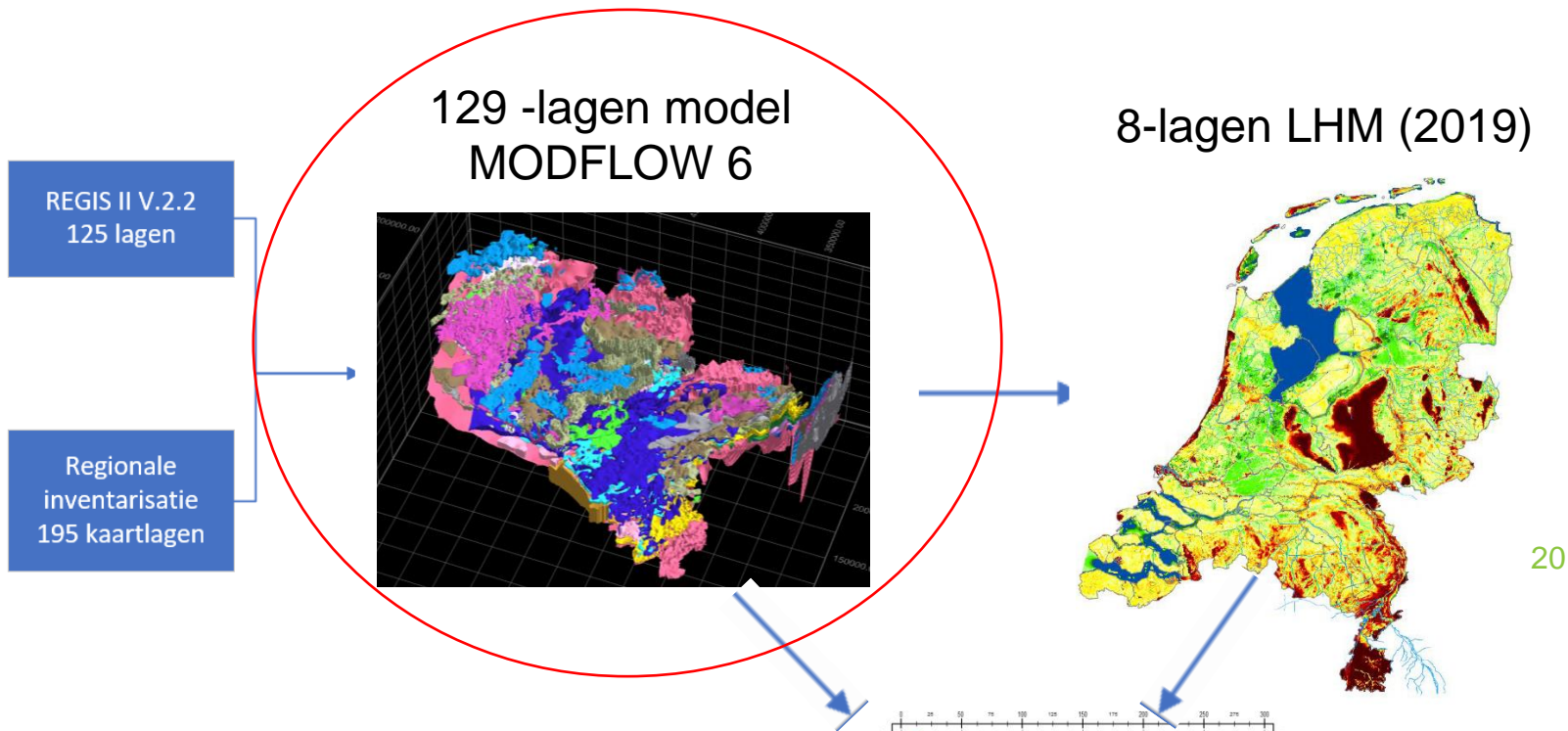
- release iMOD 5.2
- koppeling MODFLOW 6 - MetaSWAP
- iMOD python
- andere MODFLOW 6 gerelateerde ontwikkelingen



1. Verdere formalisering BMI-userinterface
  - vastleggen in artikelen samen met USGS (incl. voorbeeld MetaSWAP)
  - toelichten van meer voorbeelden
2. Verder werk aan (interface) XT3D en dispersie
3. Parallel rekenen met MODFLOW 6 (eind 2021)

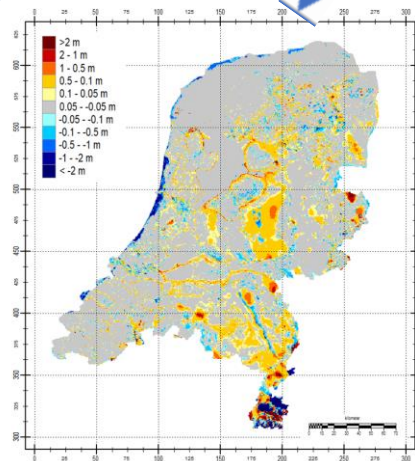
# kansen MODFLOW 6 voor NHI

## 1. grootschalige berekeningen efficiënter



Geen last van uitwiggende lagen:  
alle REGIS-lagen doorrekenen

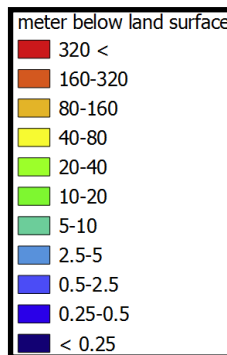
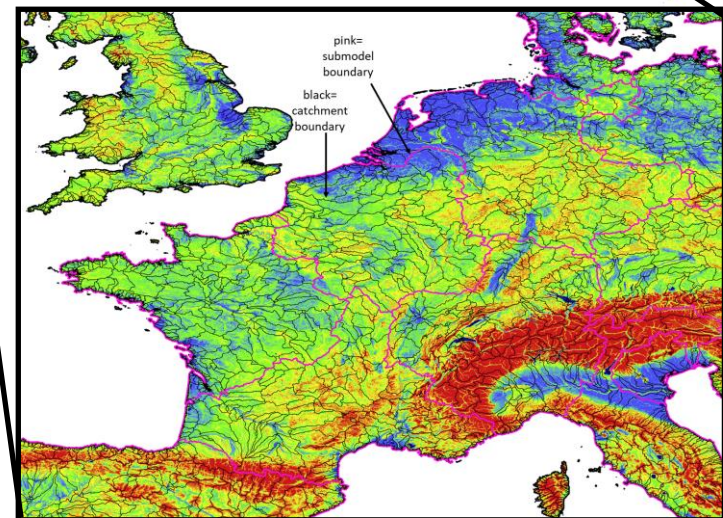
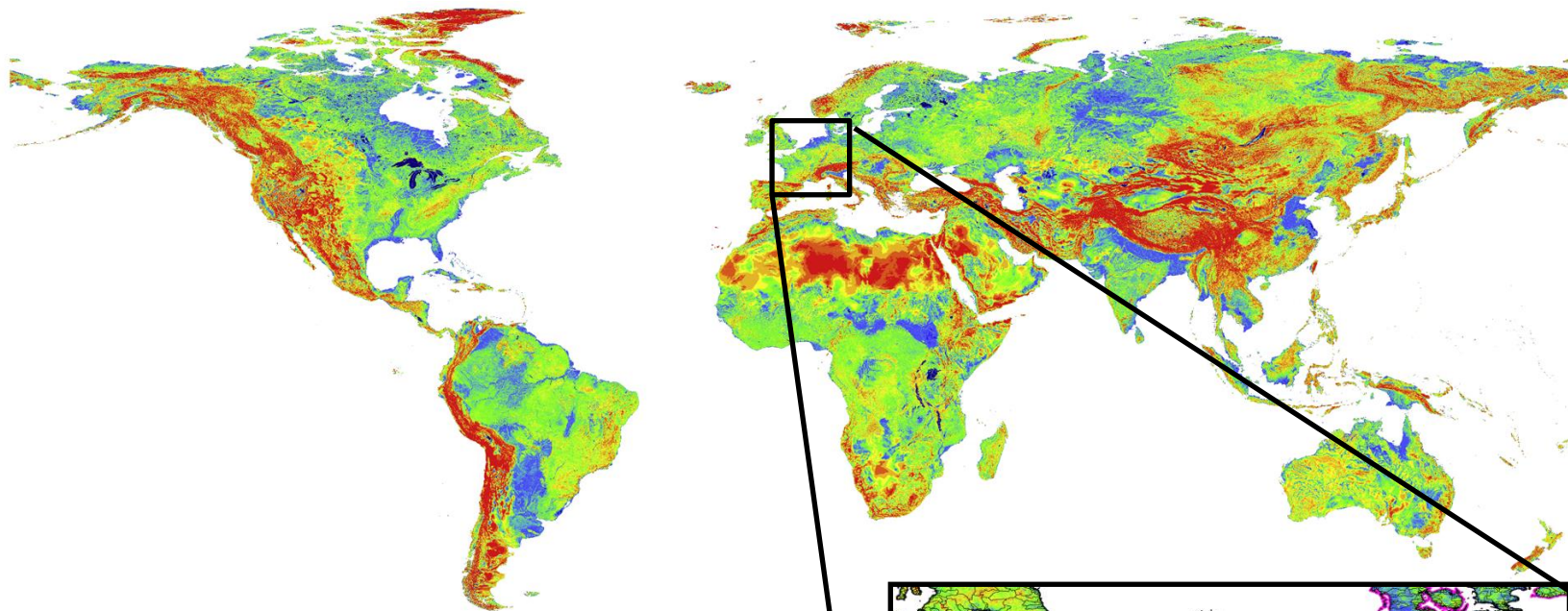
- rekestijd factor 2-4
- nu nog stationair model
- aanzienlijke versnelling verwacht  
(Verkaik et al, 2021 in prep.)



# Voorbeeld ontwikkeling hoge resolutie mondiaal model 1 km (Verkaik et al., 2021 in prep)



MF6; unstructured; 277 miljoen cellen, 520 subdomeinen, 2 lagen, niet stationair (!)

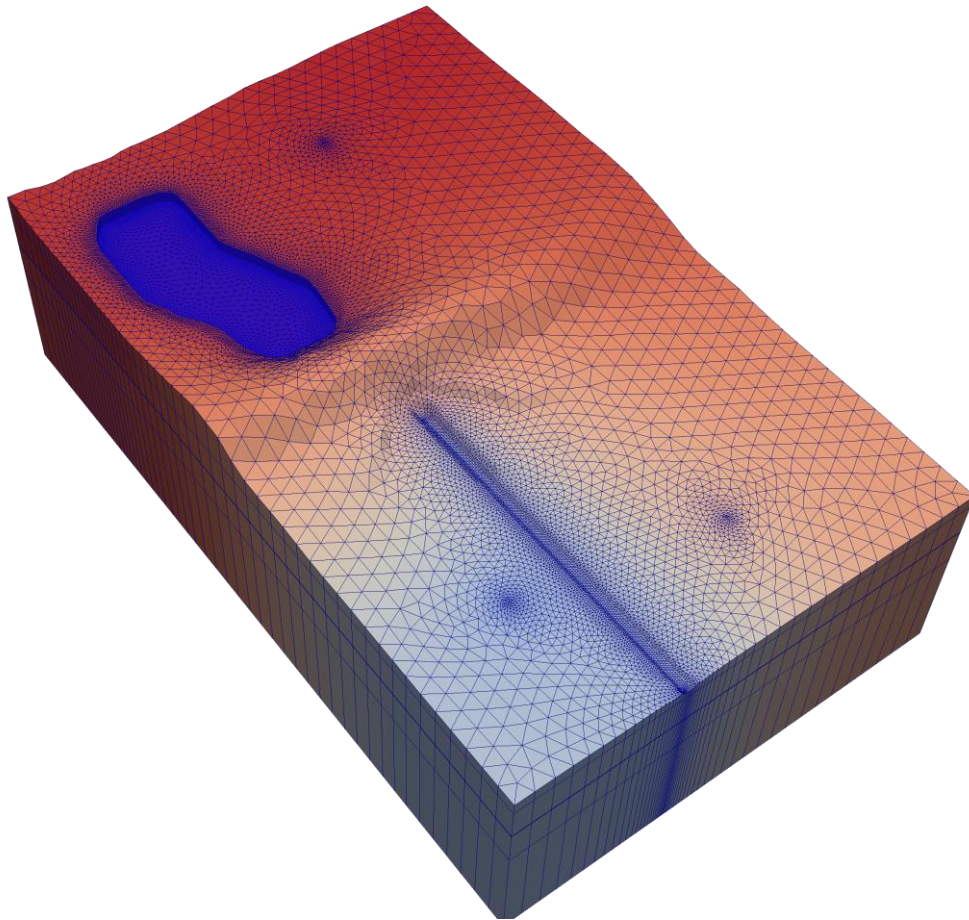


Jarno Verkaik  
(PhD UU, Deltares)

Marc Bierkens Gu Oude Essink

Afhankelijk van je doel:

- Verfijnen waar het moet
- vergroven waar het kan



*Modelgeneratoren wel  
optimaal aansluiten op  
beschikbare data !*

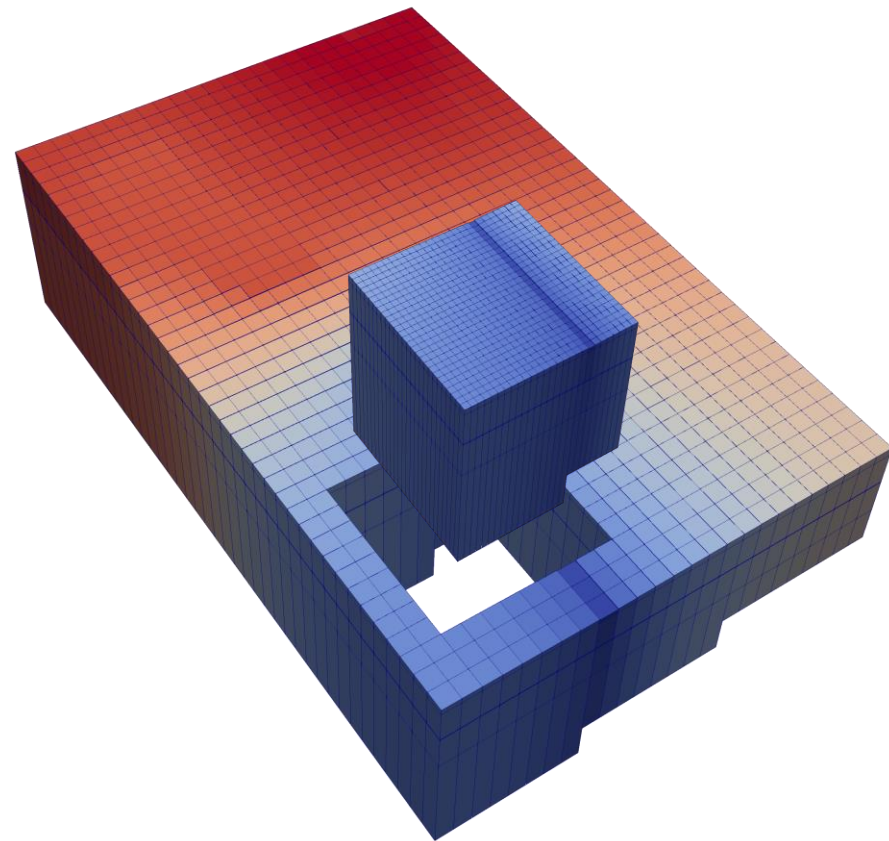
*minder userinterface,  
meer scripten*

# kansen MODFLOW 6 voor NHI

## 3. geneste en gekoppelde modellen

### ***Binnen één simulatie:***

- *direct aansluiten landelijk – regionaal, of regionaal – lokaal*
- *stapelen van modellen:*
  - *Vb combinatie verschillende onverzadigde zone modellen bij diepe onverzadigde zone*
- *submodellen: makkelijker parallel rekenen*
- *koppelen verschillende domeinen (BMI)*
  - *NB: unstructured grids kan direct aansluiten op D-Hydro*



1. Toekomstgericht grondwater modelleren: overstappen op MODFLOW 6
2. Dit biedt extra mogelijkheden t.o.v. MODFLOW 2005
3. Voor gestructureerd rekenen is de overstap naar MODFLOW 6 nu mogelijk, in combinatie met MetaSWAP
4. Houd wel rekening met grotere rekentijd en benodigd geheugen (vooral bij anisotropie), maar eind 2021 wordt versnelling van de modelcode verwacht



# Bedankt voor uw aandacht!



- Voor meer info, zie [www.nhi.nu](http://www.nhi.nu)
- Voor vragen: [helpdesk.nhi@deltares.nl](mailto:helpdesk.nhi@deltares.nl)