

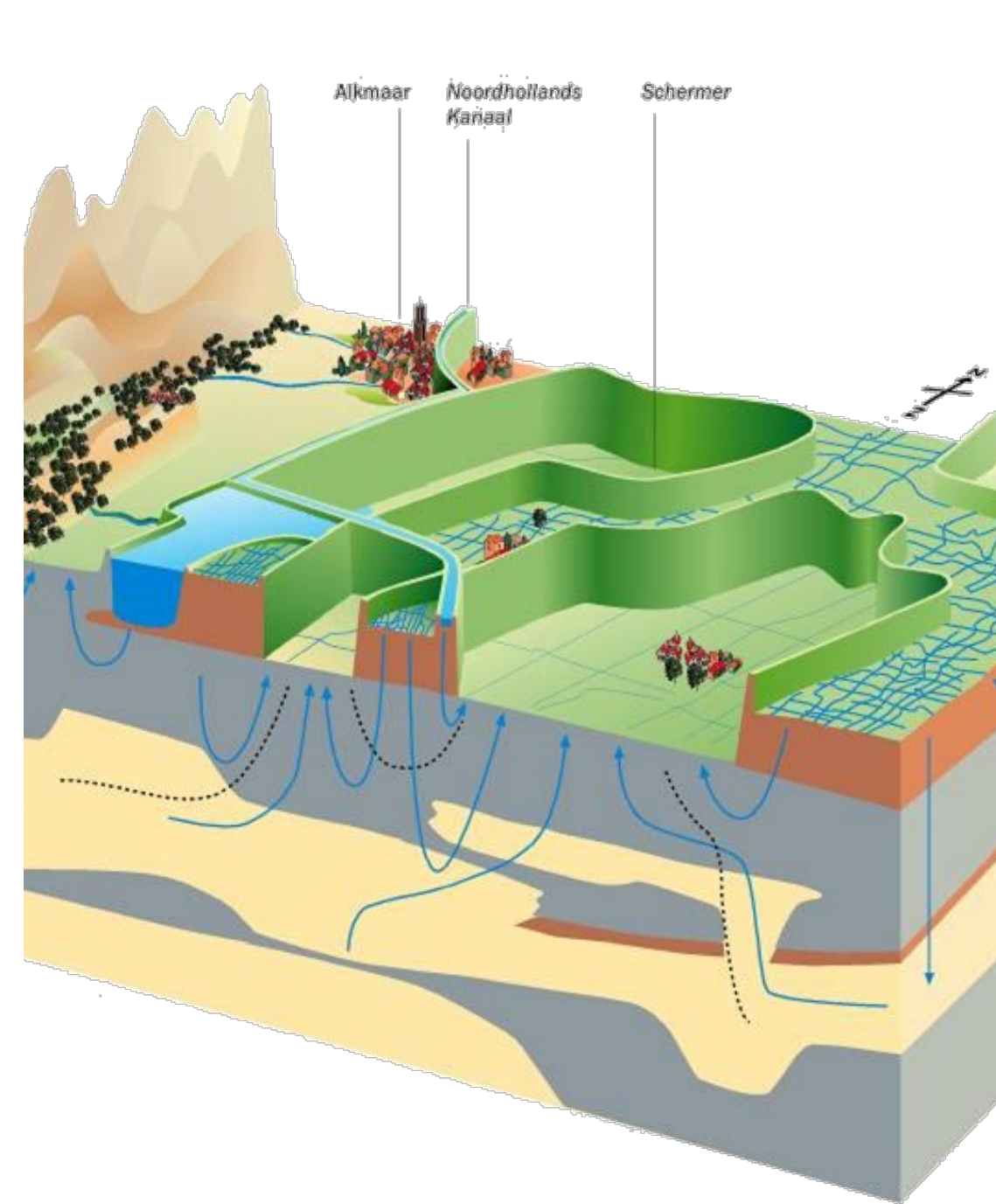
## NHI – Ein integriertes Grundwasser- Oberflächenwassermodell der Niederlande

Tagung  
Grundwasserströmungsmodellierung –  
alles eine Frage des Maßstabs

Bernhard Becker

Bernhard.Becker@deltares.nl

Hannover, 8. Juni 2023



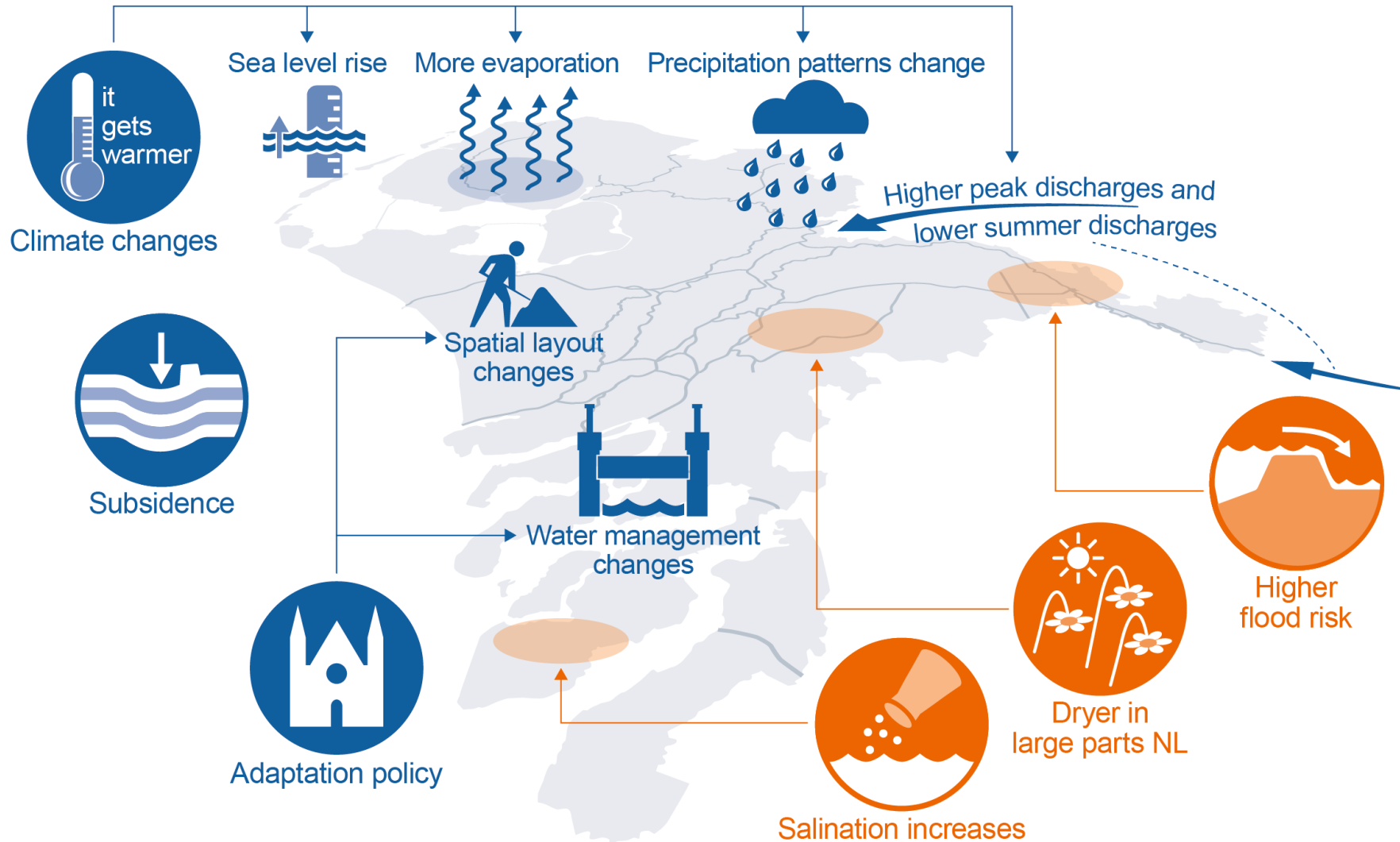
# Was ist das NHI?



- Toolbox für großräumige integrierte Grundwasser- und Oberflächengewässermodellierung
  - Anwendungsbereich: Trockenzeiten und Normalzustand (kein Hochwasser, keine hohen Grundwasserstände)
  - Einsatzgebiete und strategische Fragestellungen
    - Wasserverteilung
    - Auswirkung des Klimawandels auf den Wasserhaushalt
    - Risikoanalyse Trockenheit
- Öffentlich finanziert und öffentlich zugänglich
  - <https://nhi.nu/>
  - Datenportal: <https://data.nhi.nu/>



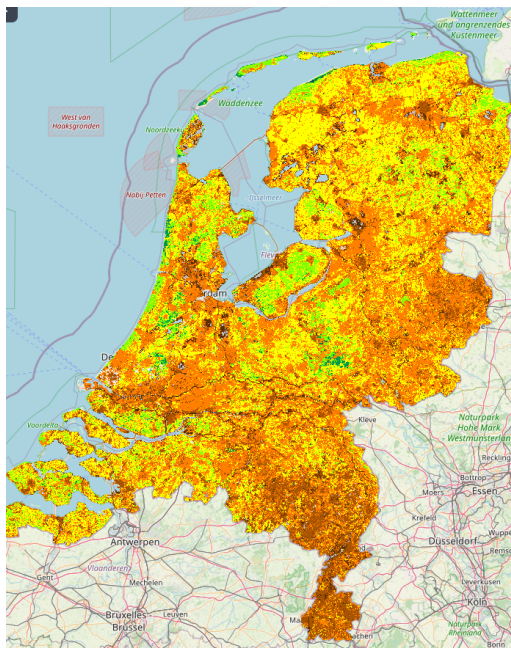
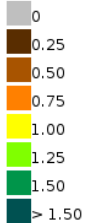
# Das NHI - ein Instrument zur Leitbildentwicklung für die Wasserwirtschaft





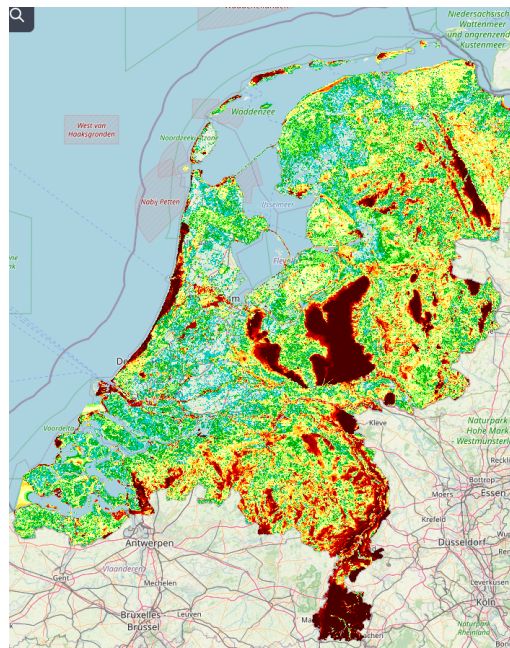
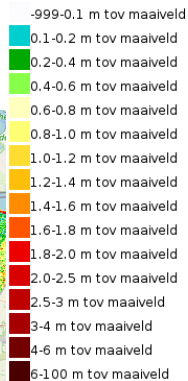
# Beispiele für NHI Standard-Output

Grondwateraanvulling (mm/dag)

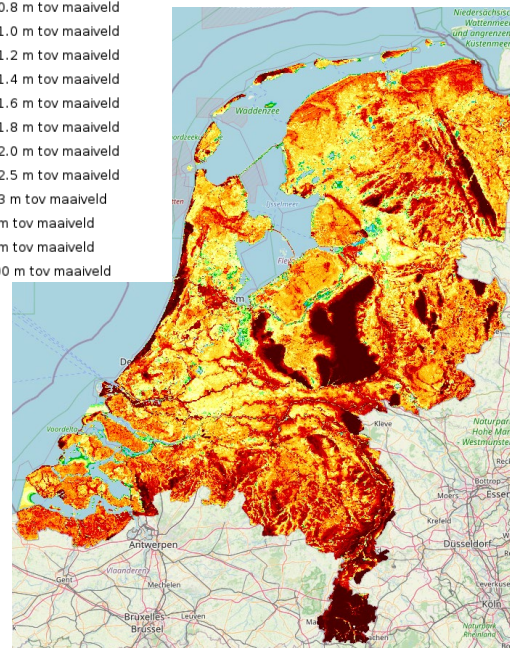


Mittlere Grundwasserneubildung  
2011-2018 in mm/d

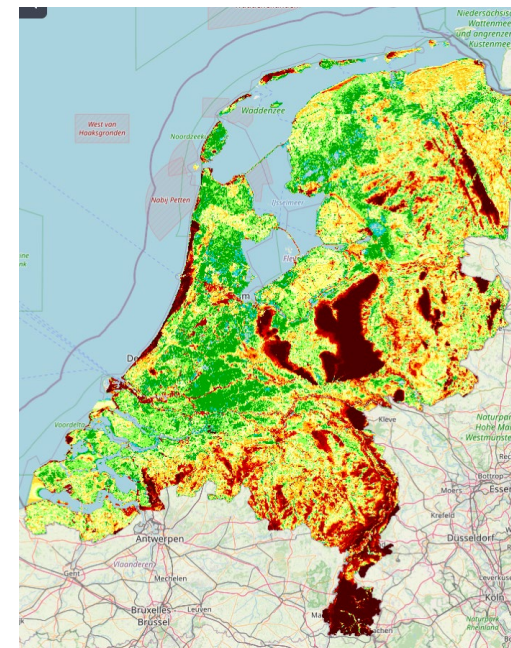
Gemiddelde grondwaterstand



Mittlerer höchster  
Grundwasserstand als Flurabstand  
in m  
GHG 2011-2018



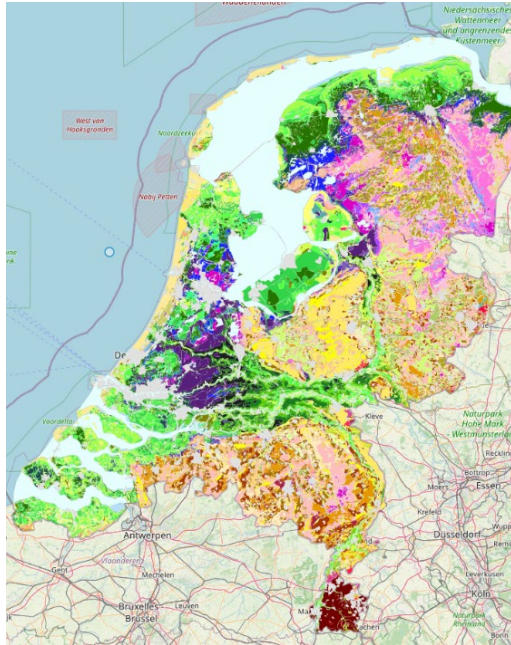
Mittlerer niedrigster  
Grundwasserstand als Flurabstand  
in m  
GLG 2011-2018



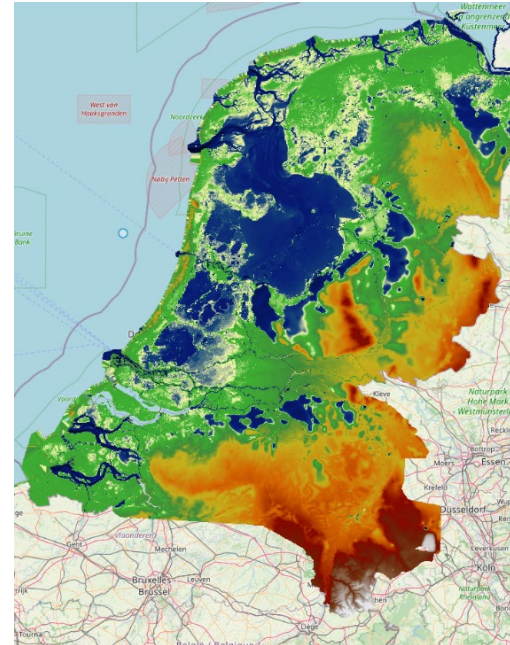
Mittlerer niedrigster  
Frühjahrsgrundwasserstand in m  
GVG 2011-2018



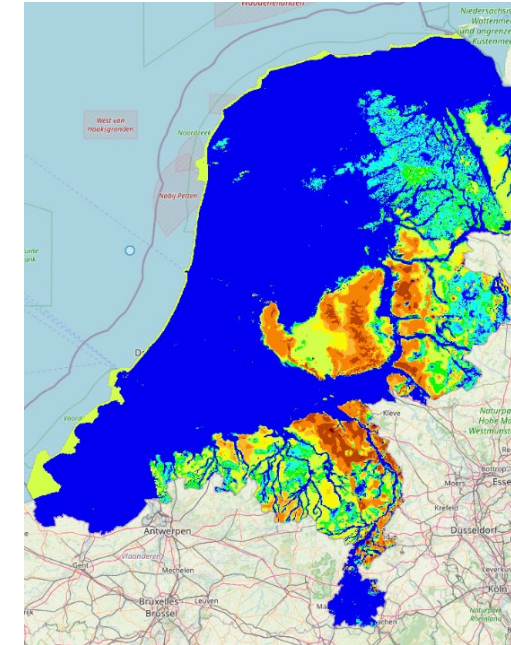
# Eingangsdaten des NHI (Auswahl)



Bodenkarte



Höhenlage Leiterbasis 1. Leiter



Durchlässigkeit 1. Leiter in  $m^2/s$



Kalibrierungsmessstellen





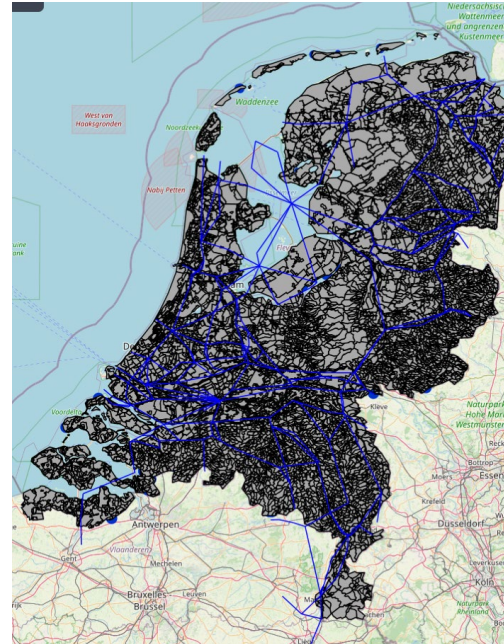
# Eingangsdaten des NHI II (Auswahl)



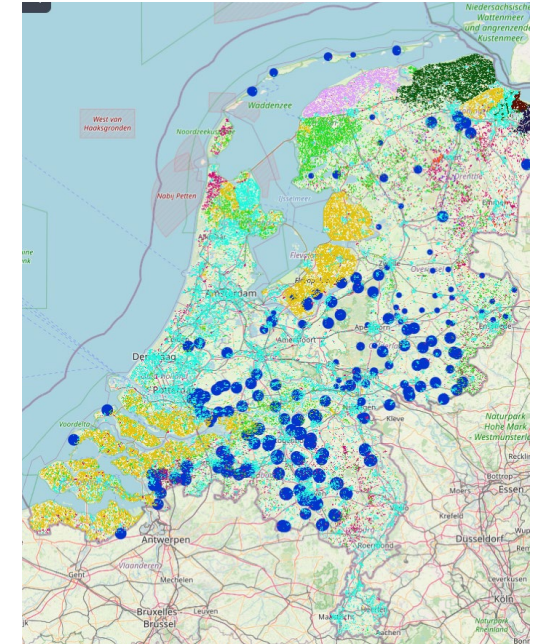
Berieselungsgebiete



Grundwasserentnahmen



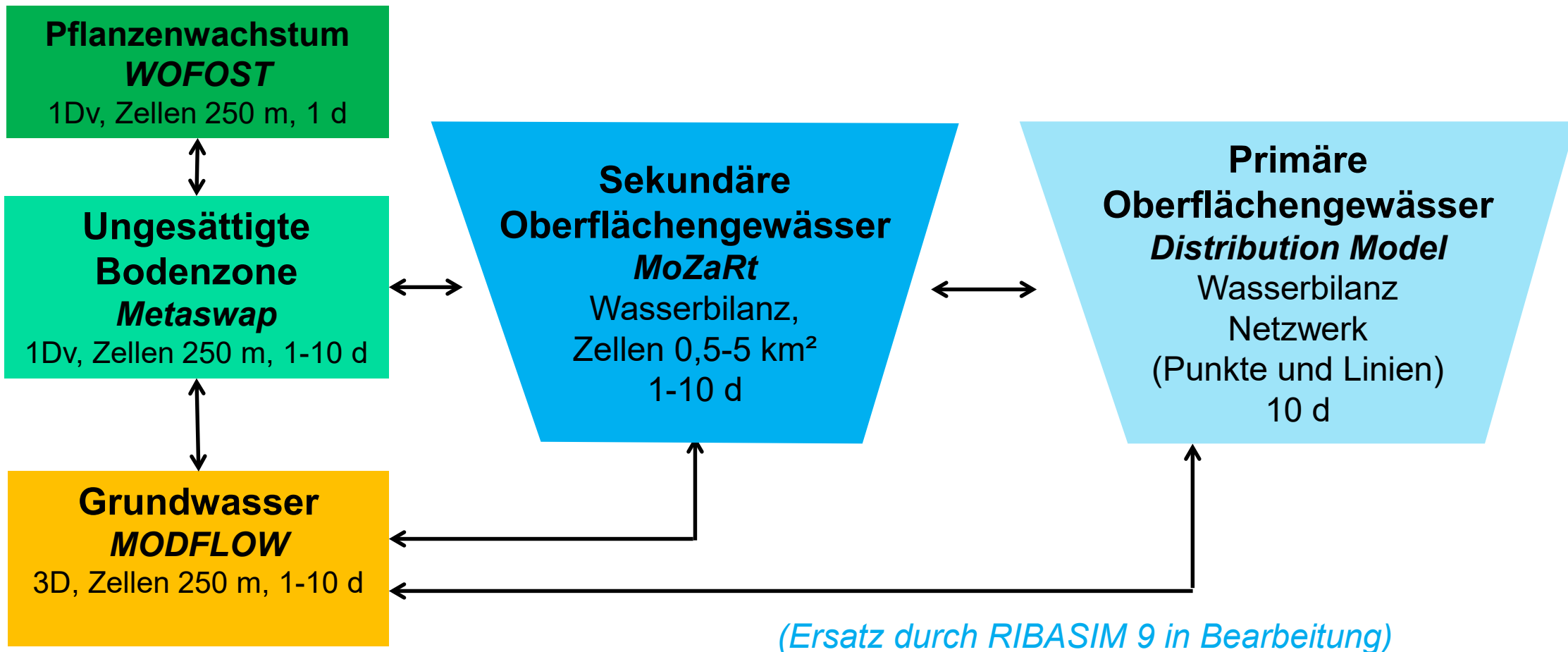
Primäre und sekundäre Oberflächengewässer



Landwirtschaftliche Drainage



# Prozesse und Modellkomponenten



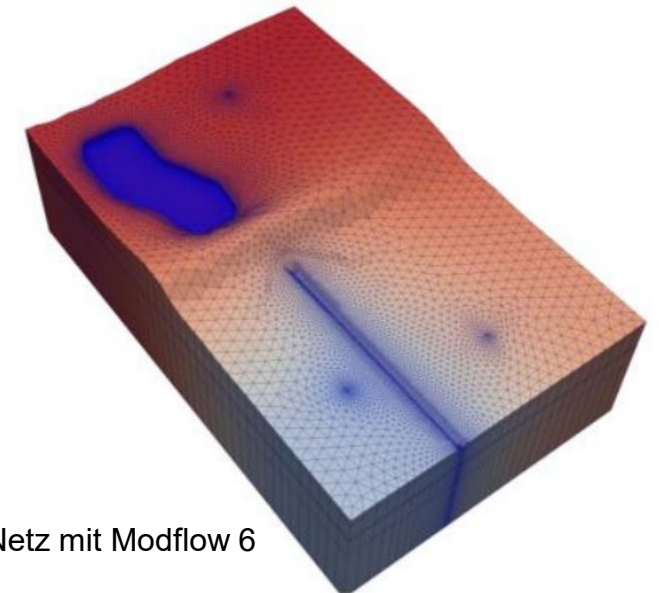
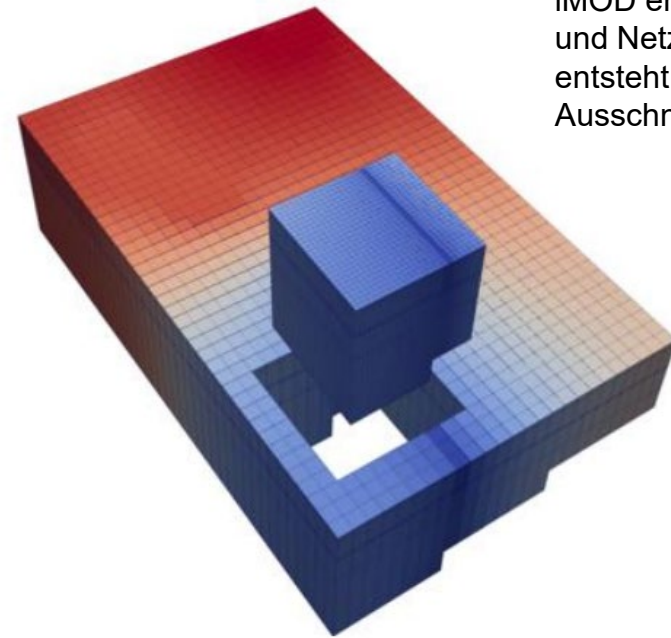


# Modellkomponente MODFLOW: gesättigte Grundwasserströmung

Ausschnittsmodelle:  
iMOD erzeugt Randbedingungen  
und Netz automatisch, es  
entsteht ein konsistentes  
Ausschnittsmodell

## Gesättigte Grundwasserströmung

- 625.000 Zellen mit 250 m Kantenlänge
- Größe Modelgebiet etwa 44 000 km<sup>2</sup>
- 7 Leiter, Erweiterung auf 8 - 39 Lagen in Bearbeitung
- Modellierungssoftware
  - MODFLOW-Rechenkern (Modflow 6)
    - Verschiedene Packages
      - u. a. SEAWAT
  - User-Interface und Datenhaltung: iMOD
    - Bohrprofile
    - Höhenlagen
    - Automatische Netzgenerierung
    - Ausschnittsmodelle

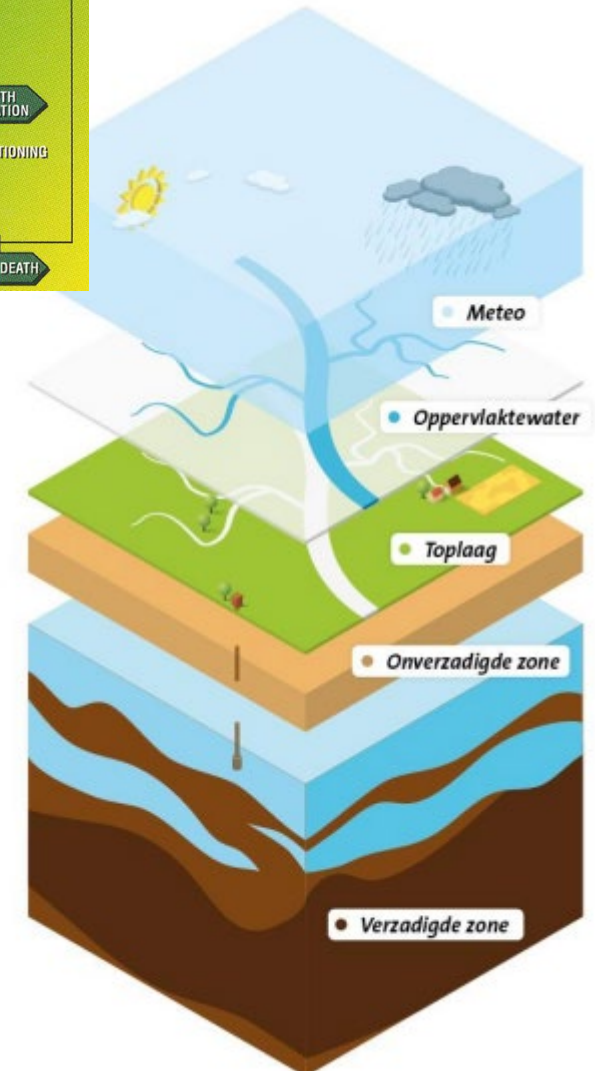
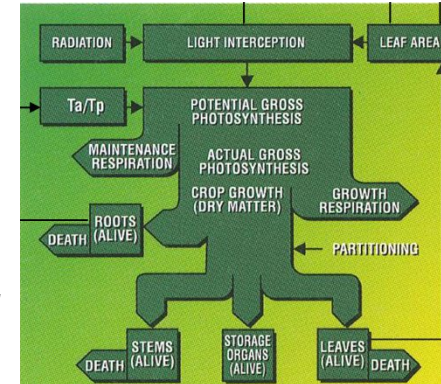


Dreieck-Netz mit Modflow 6



# Modelkomponente MetaSWAP und WOFOST: ungesättigte Bodenzone

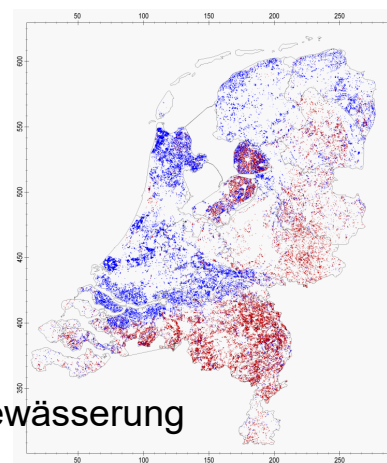
- MetaSWAP (Wageningen UR)
  - Richards-Gleichung vereinfacht:
    - Wasserbilanz und kontinuierliche Druckhöhe
    - 1D-vertikal
  - Stabilere und schnellere Berechnung, geringerer Datenbedarf
- WOFOST (Wageningen UR)
  - Pflanzenwachstum
- Gekoppelte Modellierung mit MODFLOW
- Interface zwischen Meteorologie, Landwirtschaft und Landnutzung und dem Grundwasserstand (→ Grundwasserneubildung)



Bodenphysik

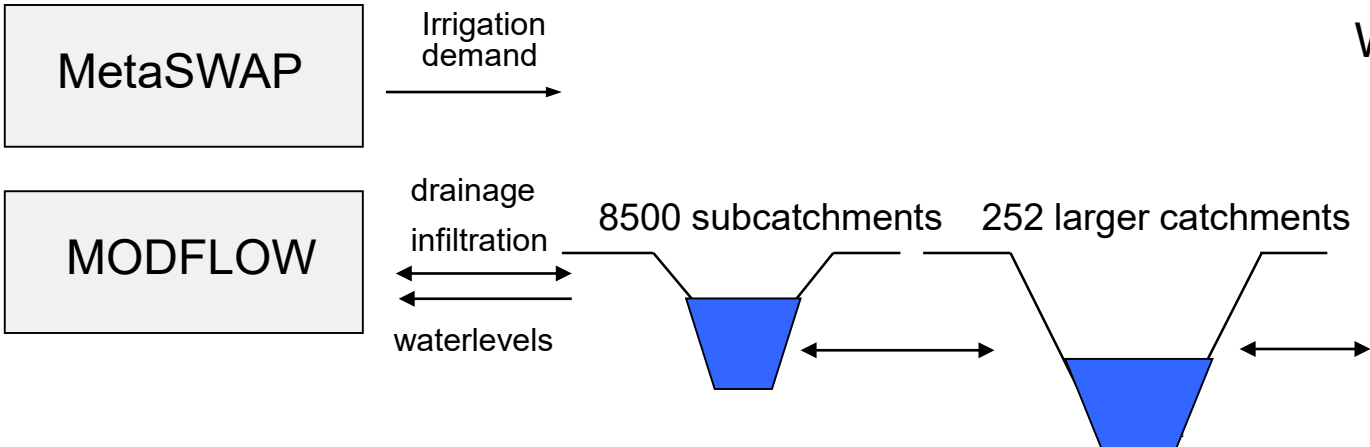


Landnutzung

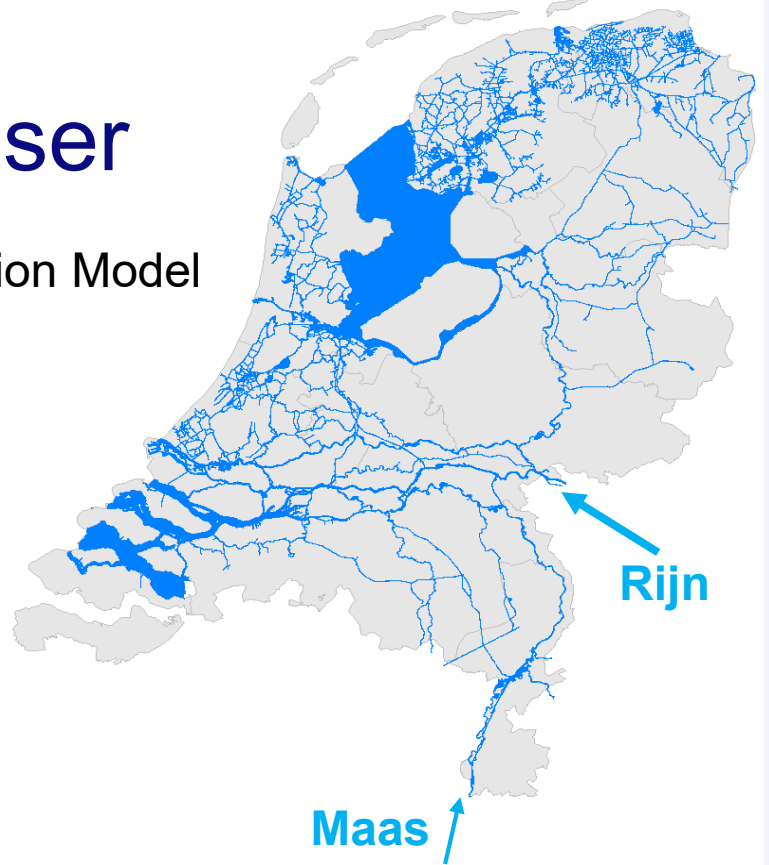


Bewässerung

# Modellkomponente Oberflächengewässer



## Water Distribution Model



### Lokaler Wasserbedarf für Ökologie und menschliche Wassernutzung (Wasserverbände)

- Betriebswasserstand (Wasserszufuhr und Drainage)
- Durchspülung
- Entnahmen



**Deltares**

Categorie 1 Veiligheid en voorkomen van onomkeerbare schade	Categorie 2 Nutsvoorzieningen	Categorie 3 Kleinschalig hoogwaardig gebruik	Categorie 4 Overige belangen (economische afweging, ook voor natuur)
1. stabiliteit van waterkeringen 2. klink en zetting (veen en hoogveen) 3. natuur (gebonden aan bodemgesteldheid)	1. drinkwatervoorziening 2. energievoorziening	• tijdelijk beregening • kapitaalintensieve gewassen • proceswater	• scheepvaart • landbouw • natuur (zolang geen onomkeerbare schade optreedt) • industrie • waterrecreatie • binnenvisserij
gaat voor →	gaat voor →	gaat voor →	

### Priorisiering der Wassernutzung ("verdringingsreeks")

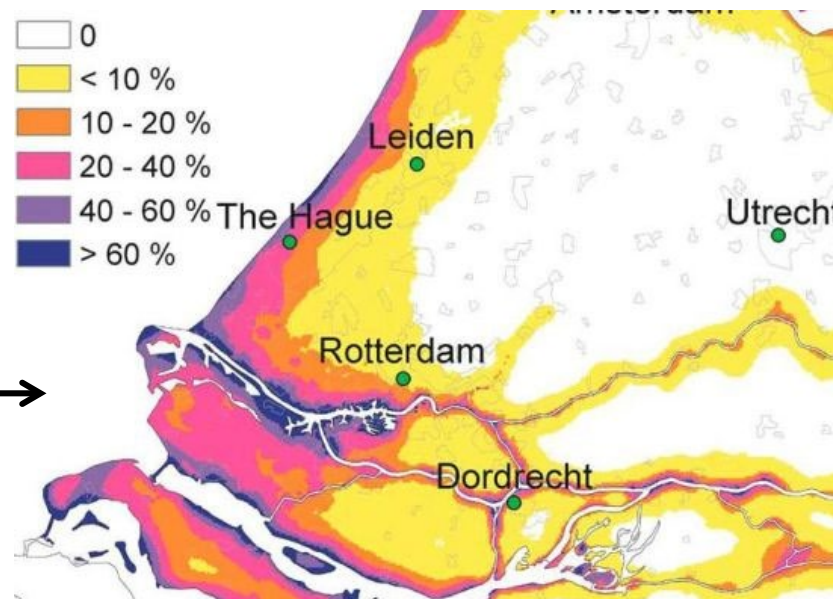
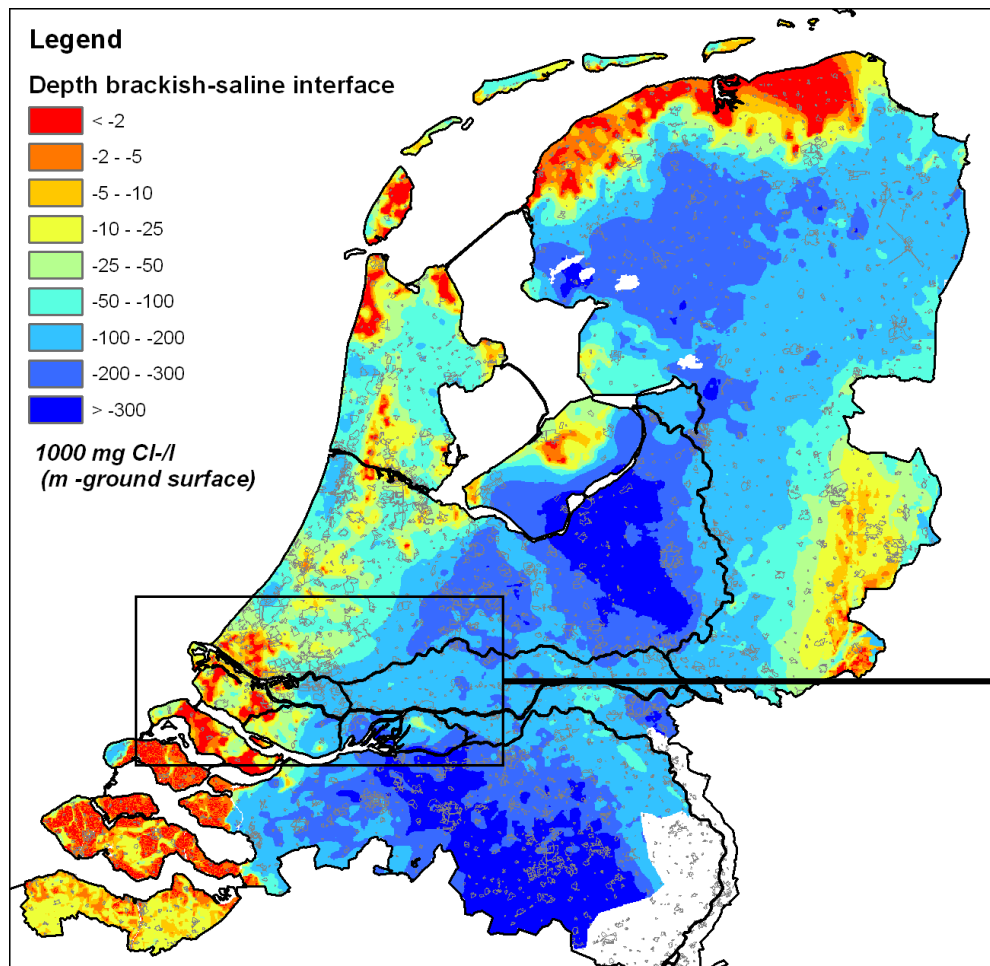
### Strategische Wasserbedarf

- Fahrtiefen und Schleusungsverluste
- Durchflüsse
- Entnahmen





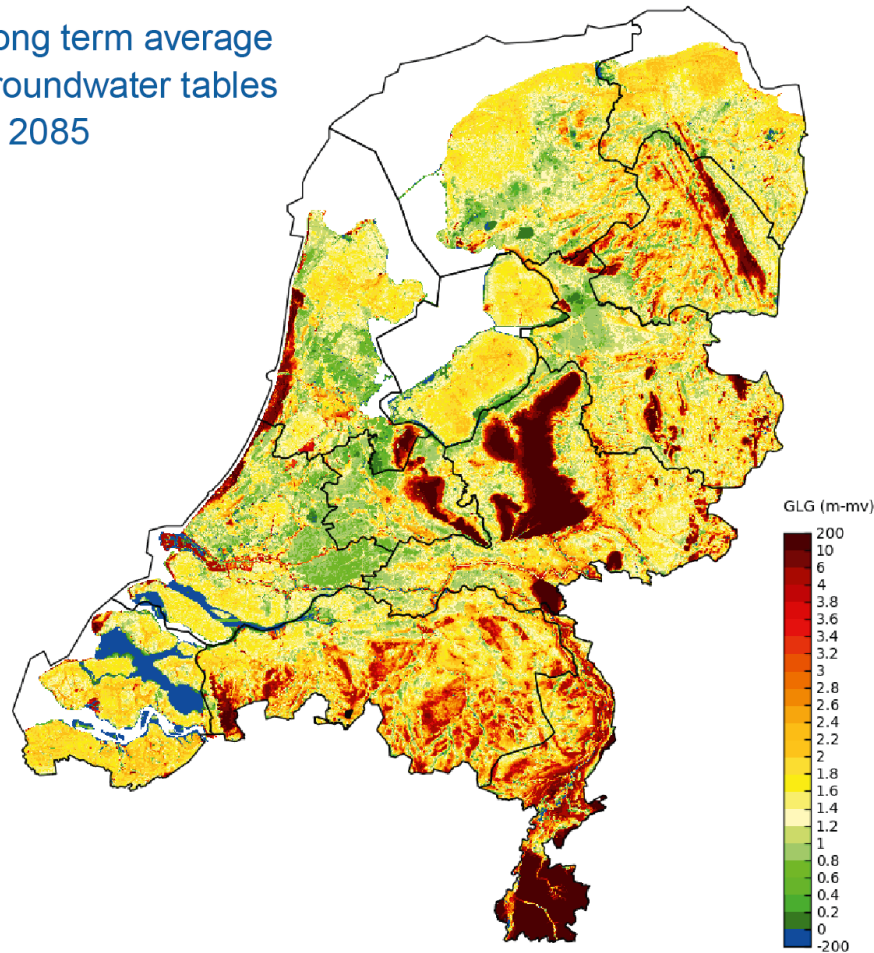
# Anwendungsbeispiel: Auswirkung des Meeresspiegelanstiegs



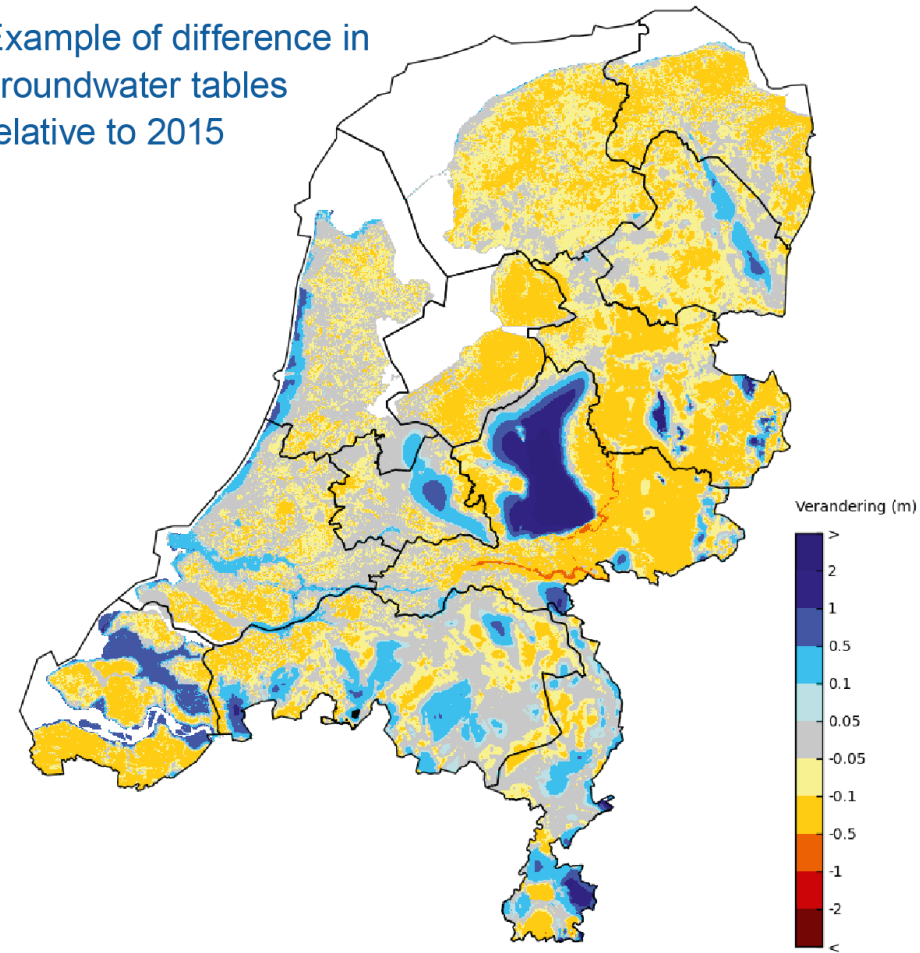
Grundwasserspiegelanstieg als % des Meeresspiegelanstiegs

# Anwendungsbeispiel: Klimawandelszenario KNMI'14 2085 - Warm

Long term average  
groundwater tables  
in 2085

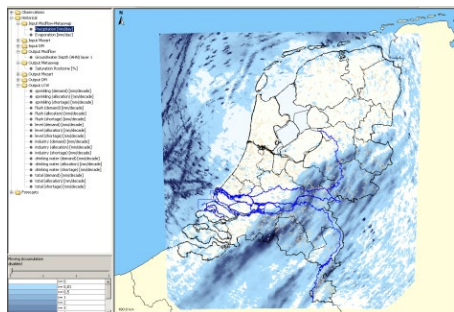


Example of difference in  
groundwater tables  
relative to 2015

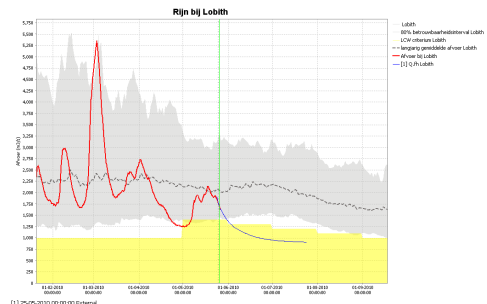




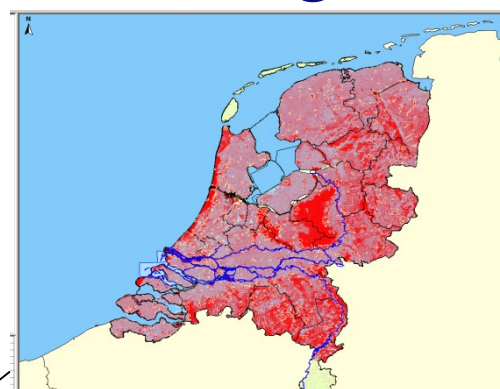
# Anwendungsbeispiel: operative Vorhersage bei Trockenheit



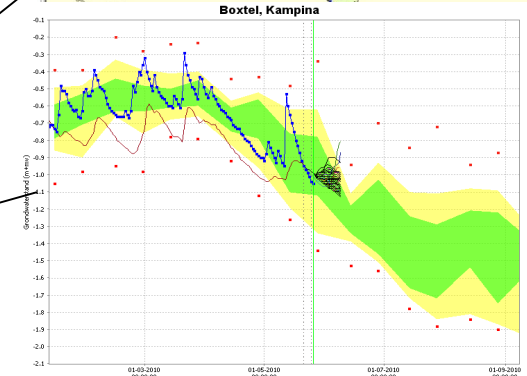
Niederschlag



Abflüsse Rhein und Maas



Differenz zum mittleren Grundwasserstand

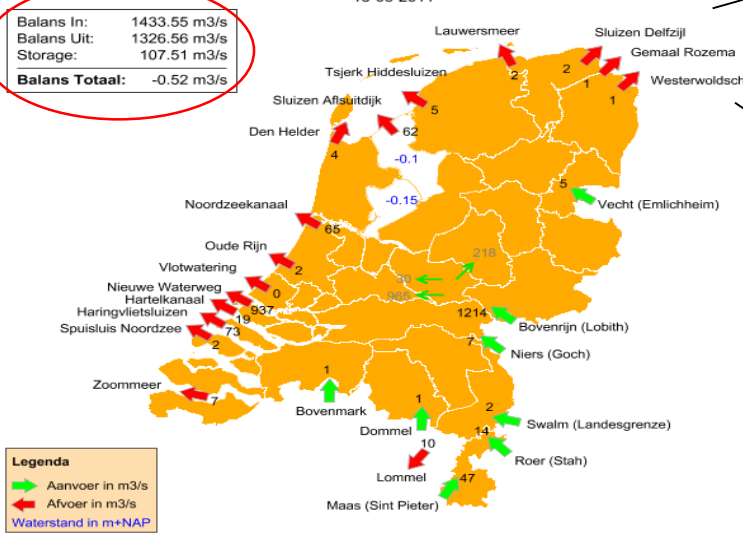


Durchfluss

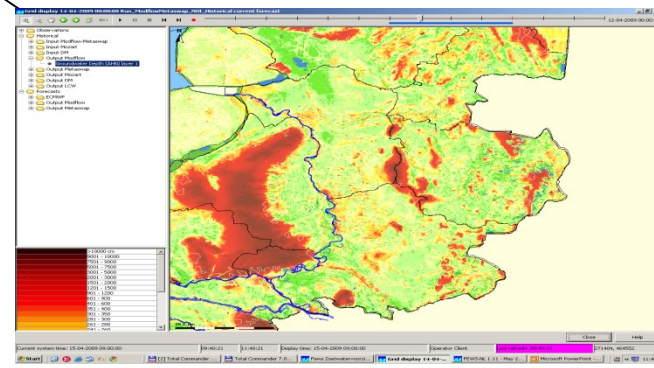
Balans In	
Q Vecht (Emlichheim)	4.68 m <sup>3</sup> /s
Q Bovenrijn (Lobith)	1213.88 m <sup>3</sup> /s
Q Niers (Goch)	7.21 m <sup>3</sup> /s
Q Swalm (Landesgrenze)	1.9 m <sup>3</sup> /s
Q Roer (Stah)	13.91 m <sup>3</sup> /s
Q Maas (Sint Pieter)	47.39 m <sup>3</sup> /s
Q Dommel	0.88 m <sup>3</sup> /s
Q Bovenmark	1 m <sup>3</sup> /s
Neerslag	28.36 m <sup>3</sup> /s
Lozing overig	27.91 m <sup>3</sup> /s
Lozing districten	86.43 m <sup>3</sup> /s
<b>Q In Totaal</b>	<b>1433.55 m<sup>3</sup>/s</b>

Balans In:	1433.55 m <sup>3</sup> /s
Balans Uit:	1326.56 m <sup>3</sup> /s
Storage:	107.51 m <sup>3</sup> /s
<b>Balans Totaal:</b>	<b>-0.52 m<sup>3</sup>/s</b>

Nederland 15-06-2011

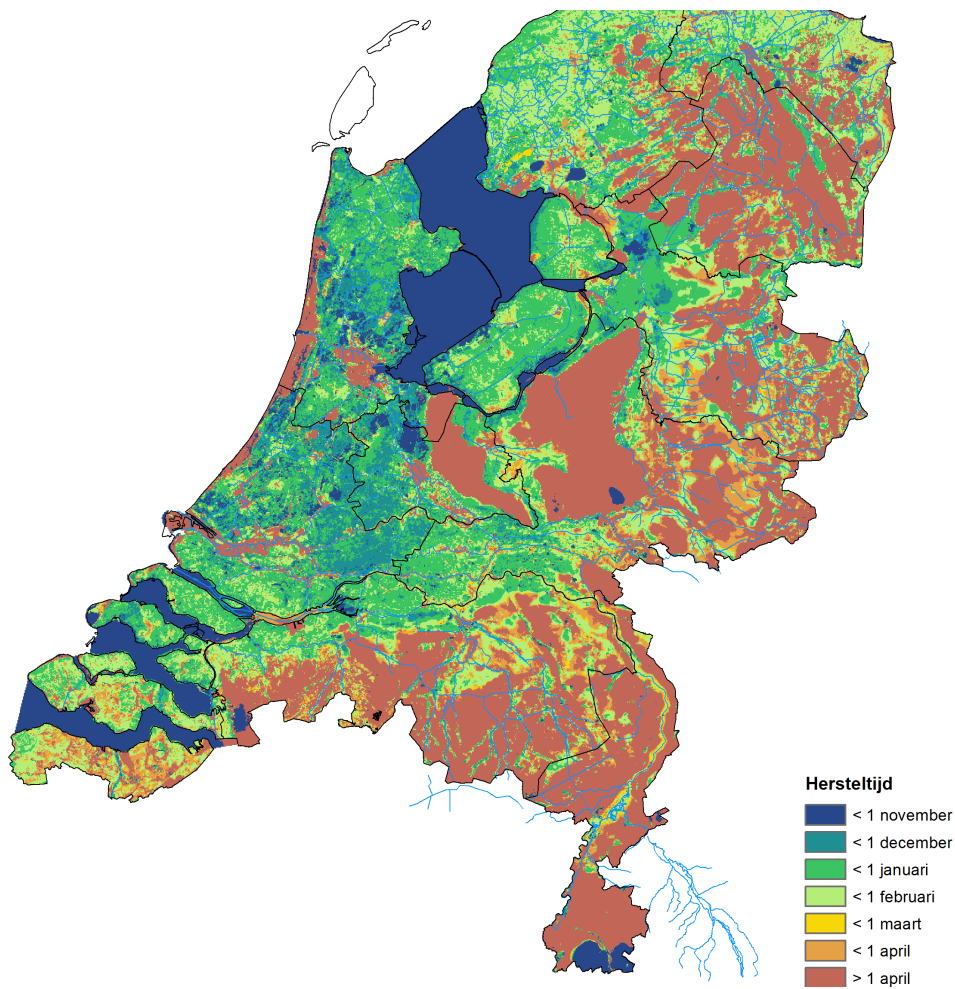


Balans Uit	
Q Zoommeer:	6.86 m <sup>3</sup> /s
Q Haringvlietsluizen:	72.52 m <sup>3</sup> /s
Q Spuisuis Noordzee:	1.83 m <sup>3</sup> /s
Q Hartelkanaal:	19.16 m <sup>3</sup> /s
Q Nieuwe Waterweg:	937.24 m <sup>3</sup> /s
Q Vlotwatering:	0.13 m <sup>3</sup> /s
Q Oude Rijn:	2.37 m <sup>3</sup> /s
Q Noordzeekanaal:	65.24 m <sup>3</sup> /s
Q Den Helder:	4.1 m <sup>3</sup> /s
Q Sluizen Afsluitdijk:	62.38 m <sup>3</sup> /s
Q Tsjerk Hiddesluisen:	5 m <sup>3</sup> /s
Q Lauwersmeer:	2.17 m <sup>3</sup> /s
Q Sluizen Delfzijl:	1.93 m <sup>3</sup> /s
Q Gemaal Rozema:	1 m <sup>3</sup> /s
Q Westerwoldsche Aa:	0.52 m <sup>3</sup> /s
Q Lommel:	9.88 m <sup>3</sup> /s
Verdamping:	1.51 m <sup>3</sup> /s
Onttrekking overig:	39.27 m <sup>3</sup> /s
Onttrekking districten:	93.46 m <sup>3</sup> /s
<b>Q Uit Totaal:</b>	<b>1326.56 m<sup>3</sup>/s</b>



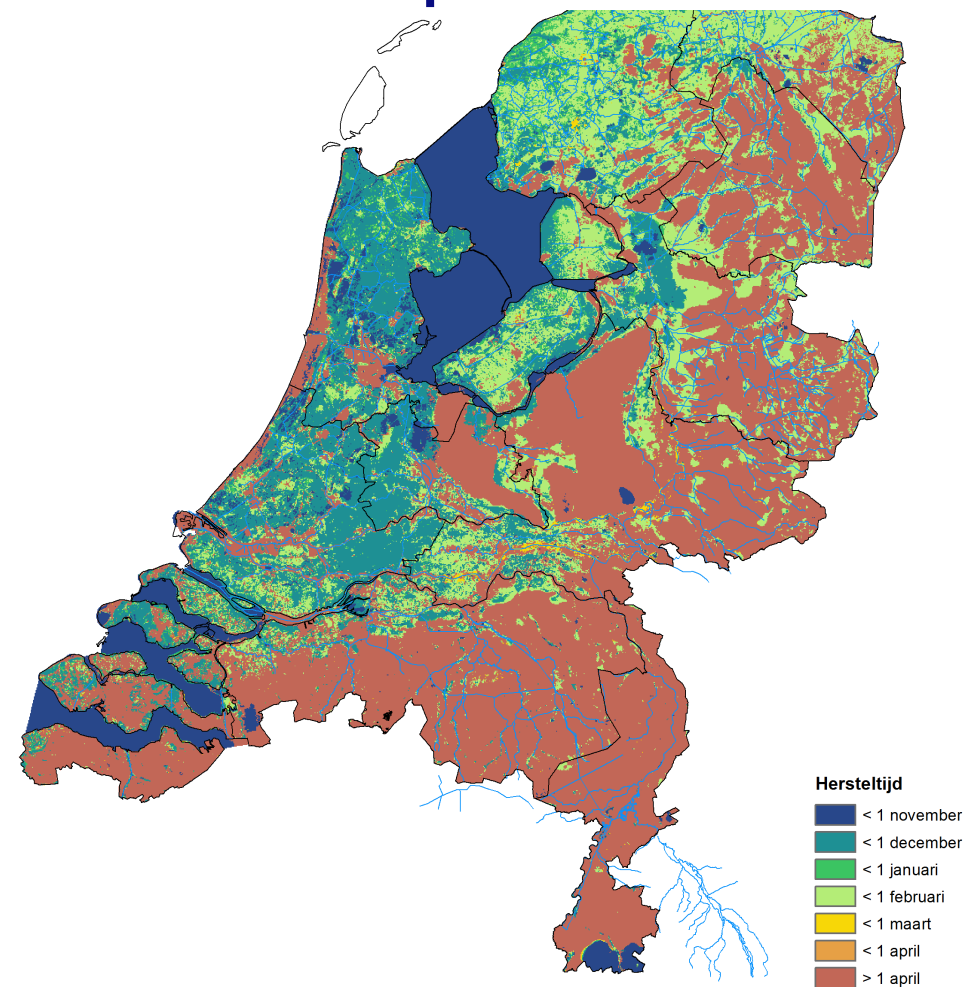
Grundwasserstand

# Anwendungsbeispiel: Regenerierung der Grundwasservorräte nach einer Trockenphase



Szenario "normale Grundwasserneubildung"

**Deltares**

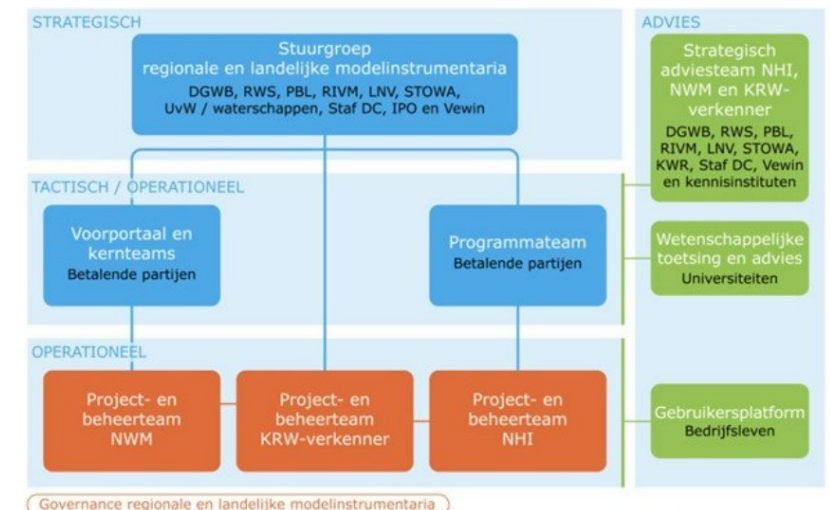


Szenario "niedrige Grundwasserneubildung" (Trockenheit)

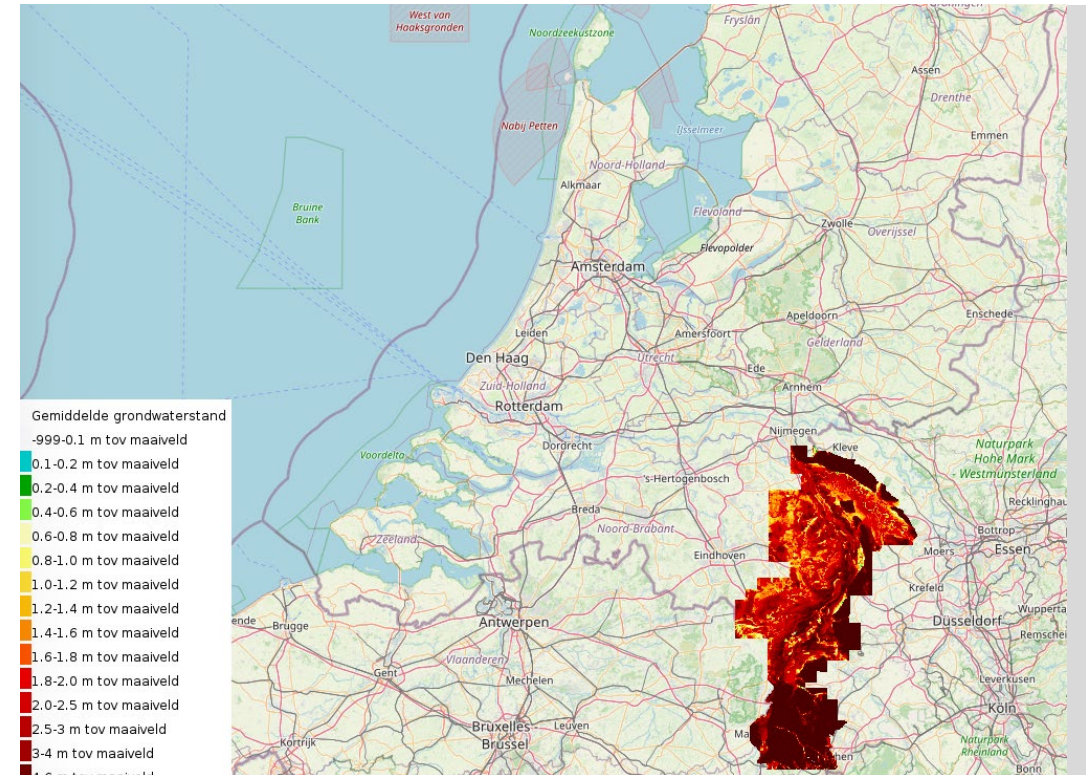
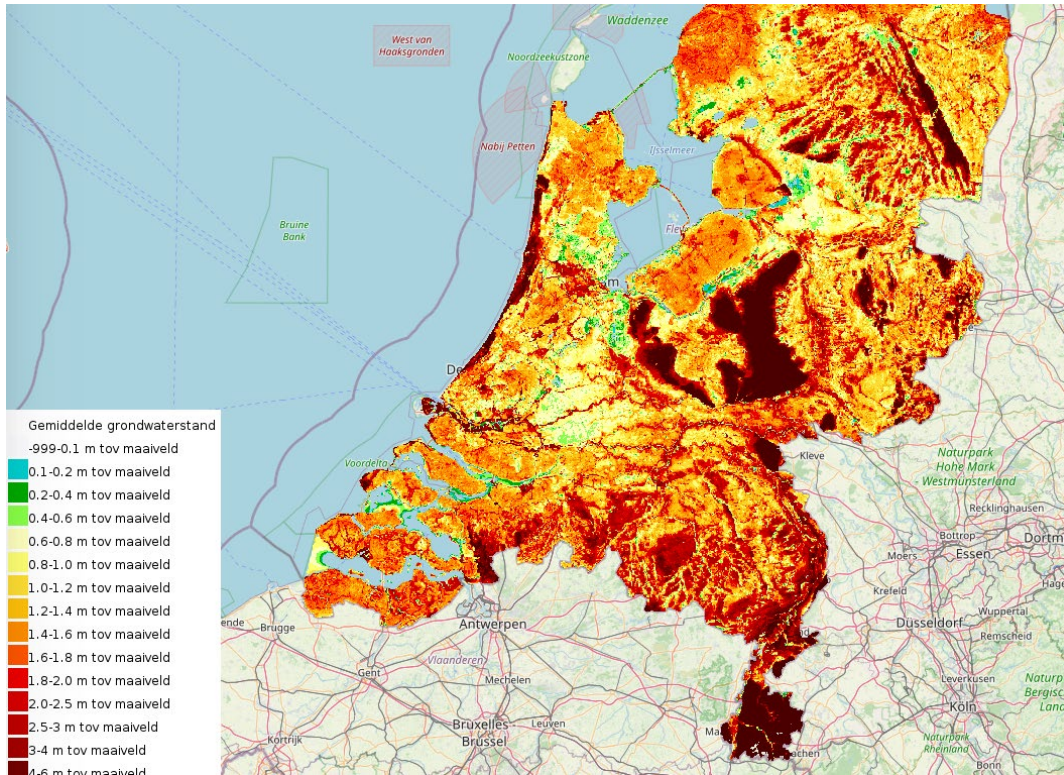


# Zusammenfassung

- Das NHI ist ein hydrologisches Modell der Niederlande
- Verschiedene Modellkomponenten für unterschiedliche Prozesse
  - Oberflächengewässer (primäre Fließgewässer und lokale Gewässereinheiten)
  - Ungesättigte Bodenzone und Pflanzenwachstum
  - Grundwassermodell
    - Vergleichsweise einfache Geologie (horizontale Schichtung)
    - keine Schollenrandstörungen mit Verwerfungen
    - Relativ flach (-50 → 250 m NAP)
- Modellgrenzen sind Verwaltungsgrenzen (nicht hydro(geo)logische Einheiten)
- Hoher Automatisierungsgrad
  - Automatische Kalibrierung
  - Automatischer Modellaufbau (Ausschnittsmodelle, Datenbearbeitung)
- Gemeinschaftlich entwickelt und finanziert
  - Stakeholder-Involvement
  - Festgelegte Prozesse
  - Ziel: beste Datengrundlage für alle
- Pflege, Wartung und Aktualisierung durch Ingenieurbüros, Federführung und Entwicklung von Deltares
- Nutzung für Strategische Planung (Leitbildentwicklung), für Ad-hoc-Analysen und kurzfristige Planung und zum Krisenmanagement (Trockenheit)



# Ausschnittsmodelle



LHM: Zellengröße 250 m

IBRAHYM: Zellengröße 25 m