

# KI-basiertes Monitoring-, Datenmanagement- und Informationssystem zur gekoppelten Vorhersage und Frühwarnung vor Grundwasserniedrigständen und -versalzung



## KIMoDIs



Stefan Broda und alle Mitarbeiter:innen des KIMoDIs-Projektkonsortiums



Deutscher Wetterdienst  
Wetter und Klima aus einer Hand



Frankfurt, 18. September 2024

Statusseminar der Fördermaßnahme „Nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung“ (LURCH)

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

FONA

Forschung für Nachhaltigkeit

LURCH

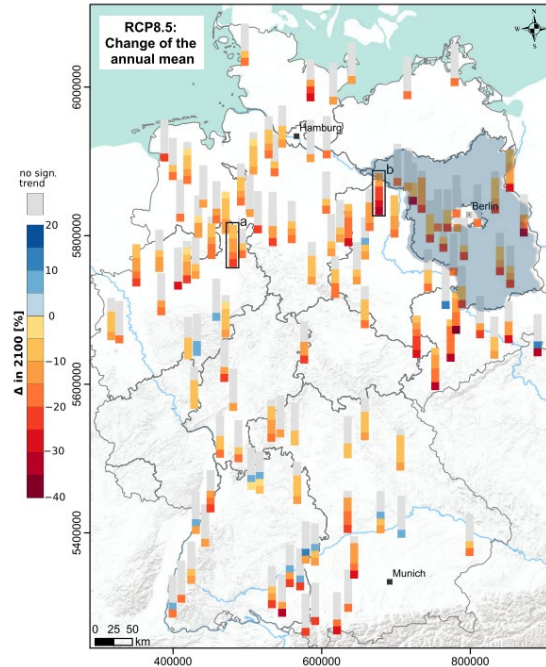
Grundwasser nachhaltig bewirtschaften

[www.bgr.bund.de](http://www.bgr.bund.de)

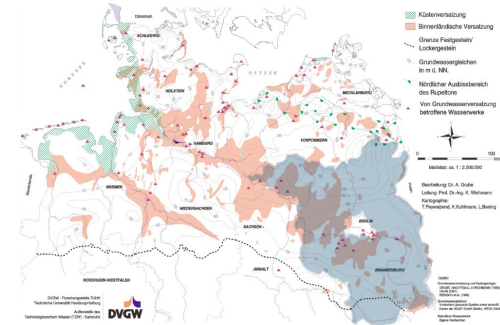
Bundesanstalt für  
Geowissenschaften  
und Rohstoffe

# Herausforderungen bei der Grundwasserbewirtschaftung

- Sinkende Grundwasserspiegel durch wärmere und trockenere Sommerhalbjahre
- Klimaprojektionen bis ins Jahr 2100 zeigen Fortsetzung dieses Trends
- Dadurch konkurrierende Nutzung und Verstärkung der Versalzungsproblematik
- Oft reines Grundwassermonitoring und eingeschränkte Verwertung der verfügbaren Daten



Wunsch et al. 2022



# Projektansatz und Projektziele

KI-basiertes Monitoring-, Datenmanagement- und Informationssystem zur:

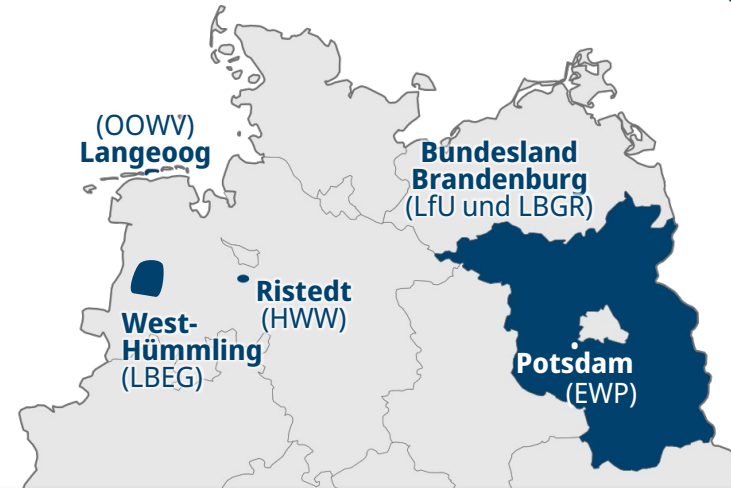
- kurz- (saisonal), mittel- (1-10 Jahre) und langfristigen (bis 2100) **Vorhersage von Grundwasserständen und -versalzung**
- **Frühwarnung vor Grundwasserniedrigständen und -versalzung**
- Intelligenten **Planung von Gegenmaßnahmen**, wie z.B. der Steuerung von Grundwasserentnahmen mittels eines **Szenarien-Tools**

## Zusammenführung aller verfügbaren Daten



# Verschiedene Pilotgebiete auf drei Skalen mit spezifischen Fokus

Räumliche Skala		Besonderer Fokus
Überregional (Bundesland)	<b>Land Brandenburg</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Großräumige Betrachtung des Einflusses der Entnahmen für Trinkwasserversorgung, Industrie und Landwirtschaft</li> <li>• Grundwasserversalzung und langfristige Entwicklung der Grundwasserstände</li> </ul>
	<b>West-Hümmling</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vergleich der Prognosen numerische vs. KI-Modelle</li> </ul>
Lokal (Wasserwerke)	<b>Langeoog</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Meerwasserintrusion</li> <li>• Touristisch bedingte Variabilität des saisonalen Wasserbedarfs</li> </ul>
	<b>Ristedt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundwasserabhängiges Ökosystem</li> </ul>
	<b>Potsdam</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufstieg saline Tiefenwässer</li> </ul>



## 9 Projektpartner:



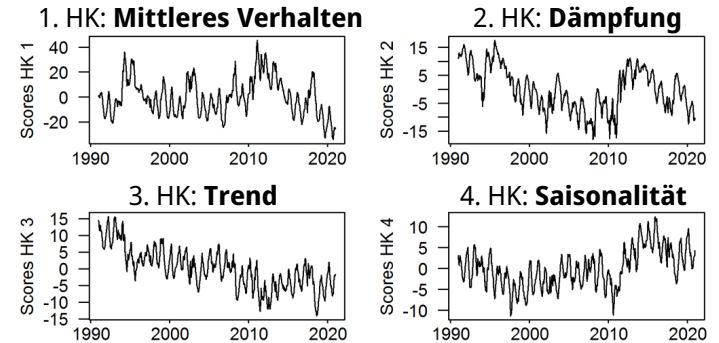
## Assoziierte Partner:

- Energie und Wasser Potsdam GmbH (EWP)
- Oldenburgisch-Ostfriesischer Wasserverband (OOWV)
- Harzwasserwerke GmbH (HWW)
- Berliner Hochschule für Technik (BHT)

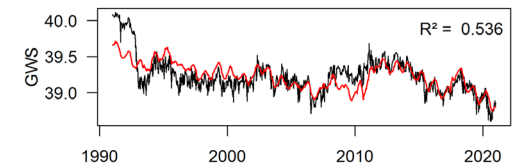
# Hauptkomponentenanalyse der Grundwasserganglinien in Brandenburg

- **Ziele:**
  - Identifikation von Messstellen mit **anthropogener Beeinflussung**
  - Grundlage zur Aufrüstung und Anbindung relevanter Echtzeit-Monitoring-Systeme
- **Methode:**
  - Erzeugung **künstlicher Ganglinien**, die eng mit möglichst vielen **beobachteten Zeitreihen** korrelieren und das erwartete Verhalten abbilden
  - **Identifikation der Prozesse** oder Einflussgrößen, die durch die wichtigsten HK beschrieben werden
- **Ergebnisse:**
  - Die wichtigsten vier HK erklären 77% der Varianz
  - Identifikation der Ganglinien mit **dauerhaften** und **temporären Abweichungen vom erwarteten Verhalten**

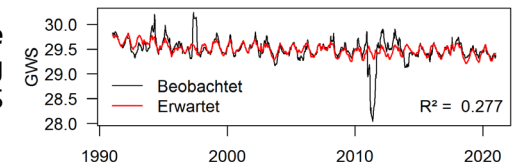
## Die vier wichtigsten Hauptkomponenten (HK)



**Dauerhafte  
Beeinflussung**  
(z.B. durch  
Wasserwerk)



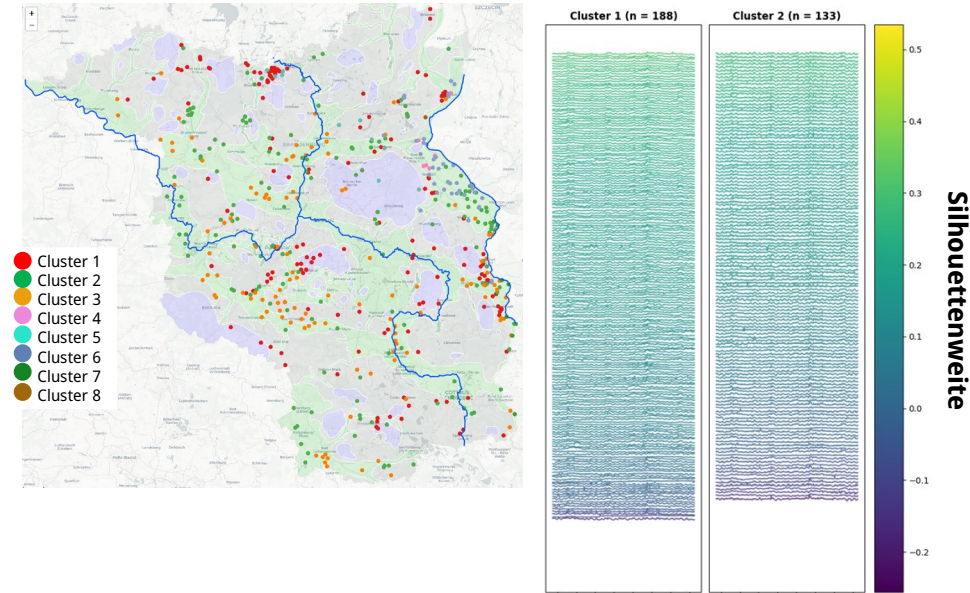
**Temporäre  
Absenkung  
des GWS**



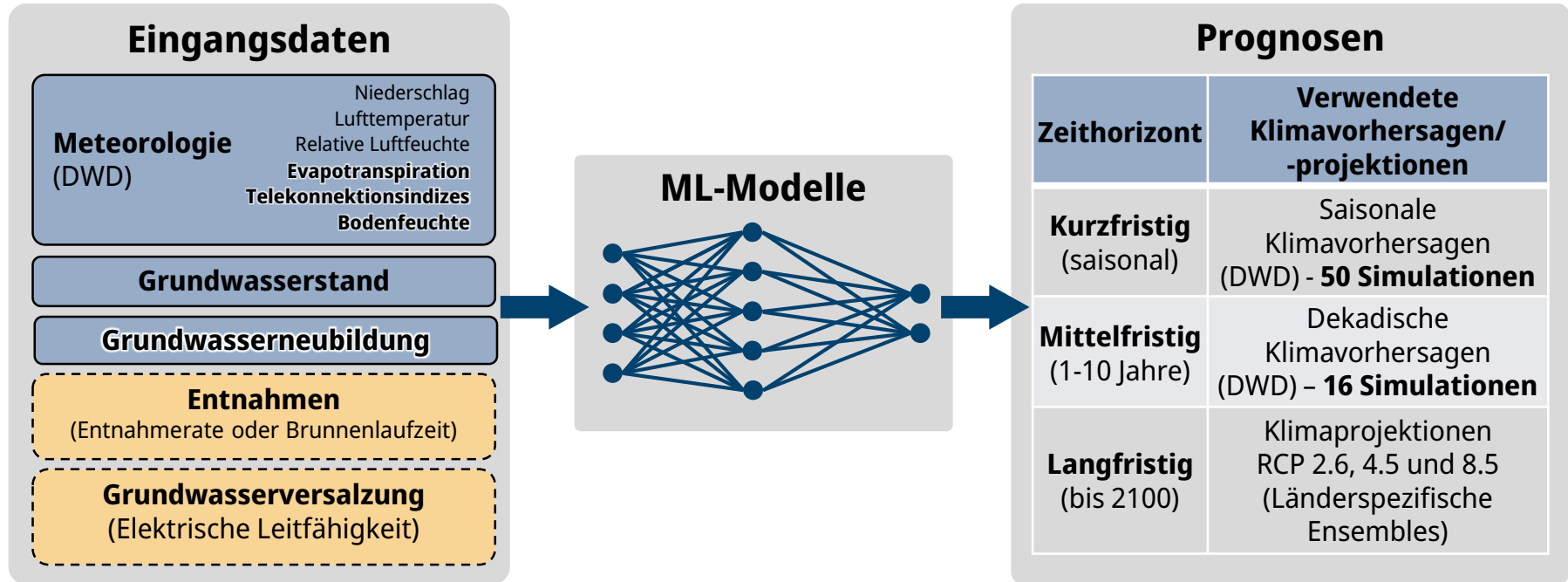
# Clustering der Grundwasserganglinien in Brandenburg

- **Ziel:**
  - Identifikation von Referenzmessstellen für ein bestimmtes Gebiet & für Langfristvorhersagen
  - Verständnis der Grundwasserdynamiken in Brandenburg
- **Methode:**
  - Clustering basierend auf Zeitreiheneigenschaften der Ganglinien
  - Verschiedene Clusteralgorithmen und Optimierung der Anzahl an Cluster
- **Ergebnisse:**
  - Statistisch optimale Anzahl an Clustern oft räumlich nicht homogen
  - Große Cluster mit vielen Ganglinien und kleine Cluster mit regionalen Besonderheiten

## Acht Cluster mit charakteristischer Dynamik



# Datengrundlagen für Machine Learning (ML) Modelle zur Grundwasserstandsvorhersage



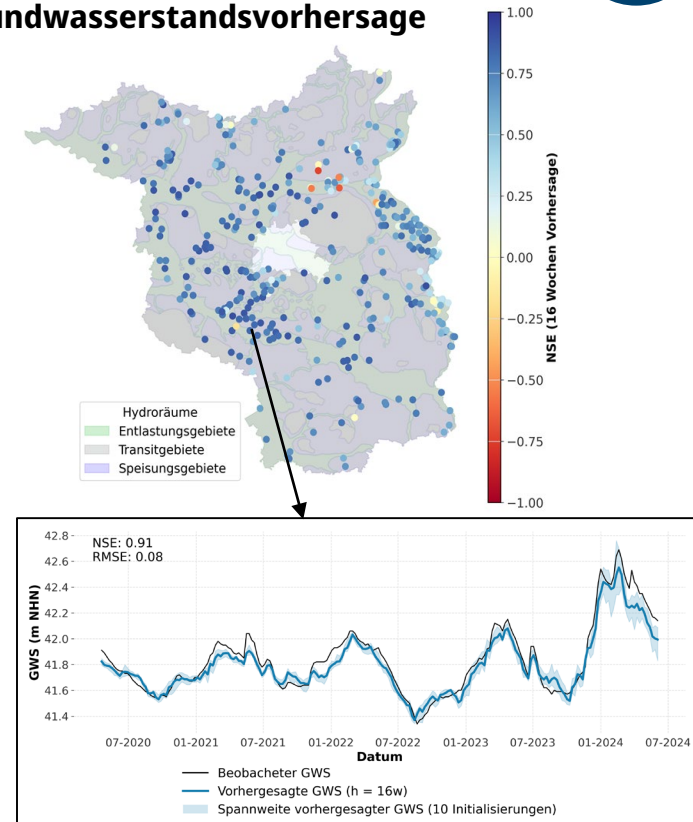
→ **Konsistente und langjährige Zeitreihen** sind als Eingangsdaten essentiell

# Überregional: Brandenburg

## ML Modelle zur Grundwasserstandsvorhersage

- **Ziel:** Belastbare kurz, mittel und langfristige Grundwasserstandsvorhersagen
- **Methode:**
  - Verschiedene "Globale" und "Lokale" Deep Learning Modelle:
    - **TFT** (Temporal Fusion Transformer)
    - **TiDE** (Time-series Dense Encoder)
    - **1D CNN** (Convolutional neural network)
    - **LSTM** (Long short-term memory)
  - Große Bandbreite an klimatischen, bodenkundlichen und hydrogeologischen Inputfeatures
- **Ergebnisse:** Mit state-of-the-art Modellen sind bereits ohne Optimierung gute Vorhersagen möglich (NSE = 0.73, n = 442)

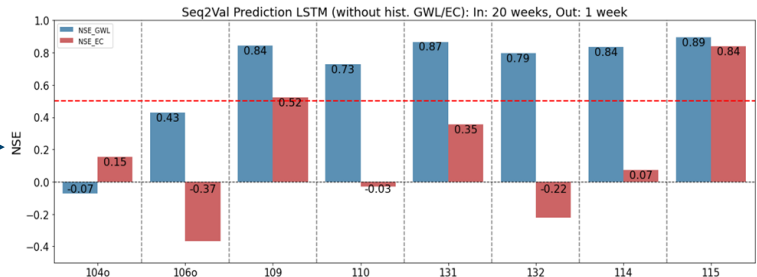
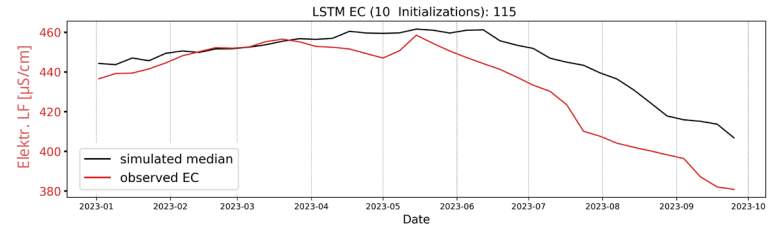
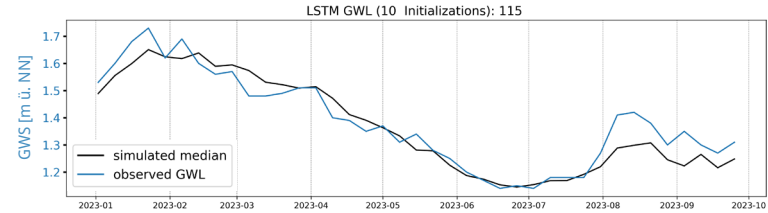
### Globales Modell zur saisonalen Grundwasserstandsvorhersage





# Gekoppelte Vorhersage von Grundwasserstand und Grundwasserversalzung

- **Ziel:** Multi-Target Vorhersage des Grundwasserstandes und der elektrischen Leitfähigkeit
- **Methode:** LSTM- Architektur, bestehend aus LSTM und Dense-Schichten
- **Ergebnisse:** Grundwasserstandsvorhersage gut, erhebliche Verbesserung der gekoppelten Vorhersage mit zunehmender Länge des Datensatzes (bisher nur ca. 3 Jahre)



Input (X), wöchentlich
Niederschlagssumme (P)
Mittlere Lufttemperatur (T)
Sinuskurve der mittleren Lufttemperatur (Tsin)
Mittlerer Nordseepegel bei Hochwasser (THW)
Mittlerer Nordseepegel bei Niedrigwasser (TNW)
Summe der Förderzeiten im Umkreis von 150m (FZ)
Summe der Gesamtfördermengen (GFM)

LSTM-Modell

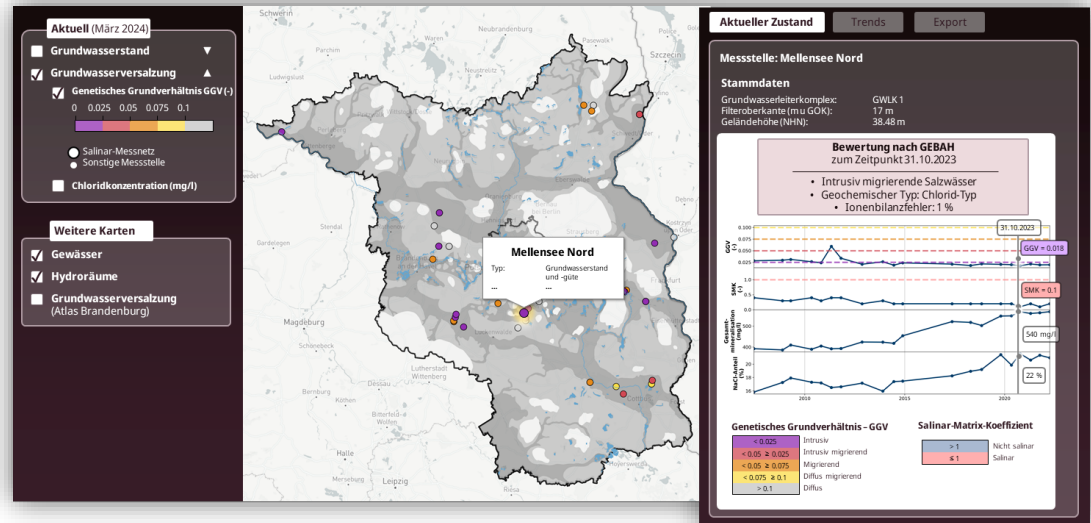
Output, wöchentlich
Mittlerer Grundwasserstand (GWS)
Mittlere elektr. Leitfähigkeit bei 25°C (LF)

# Überregional: Brandenburg

## GEBAH-Tool zur konzentrationsunabhängigen Salinar-Früherkennung

### Räumlicher und zeitlicher Überblick zur regionalen Grundwasserversalzung

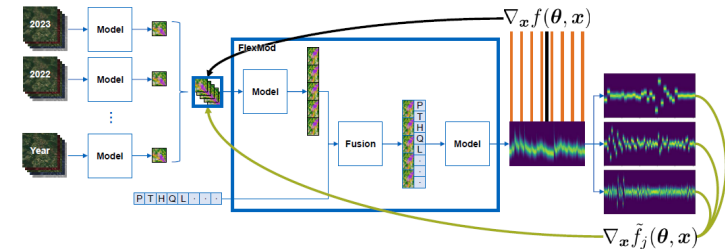
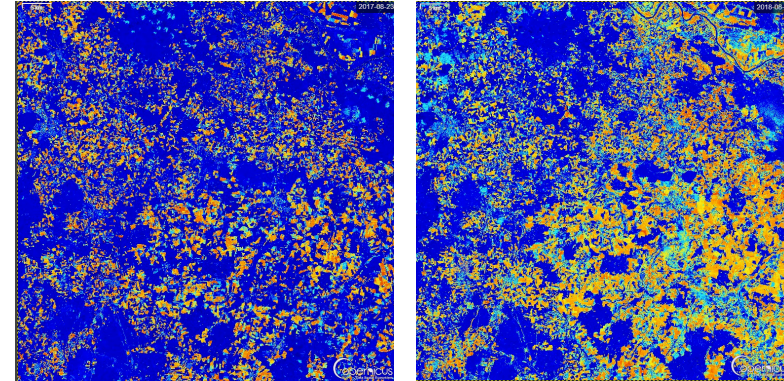
- **GEBAH:** Hydrogeochemisches Bewertungsverfahren zur Grundwassergenese
- **Verlaufskurven** von GGV, SMK ermöglichen **frühzeitige Identifikation** (und Überwachung) des Gefährdungspotentials salinärer Wässer
- Bewertung **aller verfügbaren Analysen** in Brandenburg und ausgewählter Gebiete Niedersachsens



## Einfluss der Bewässerungslandwirtschaft auf den Grundwasserstand

- **Ziel:** Untersuchung des Einflusses des phänologischen Zustands auf den Grundwasserstand
- **Methode:**
  - Kulturpflanzenklassifikation und Vegetationsindex basierend auf Sentinel-2 Daten
  - Satellitendaten als Input eines globalen Modells zur Grundwasserstandsvorhersage
  - XAI Ansätze um den Einfluss einzelner Kulturen auf den Grundwasserstand abzuschätzen
- **Aktueller Stand:**
  - Optimiertes Laden und Verschneiden der Satellitendaten
  - Ableitung einer Kulturpflanzenklassifikation für Brandenburg

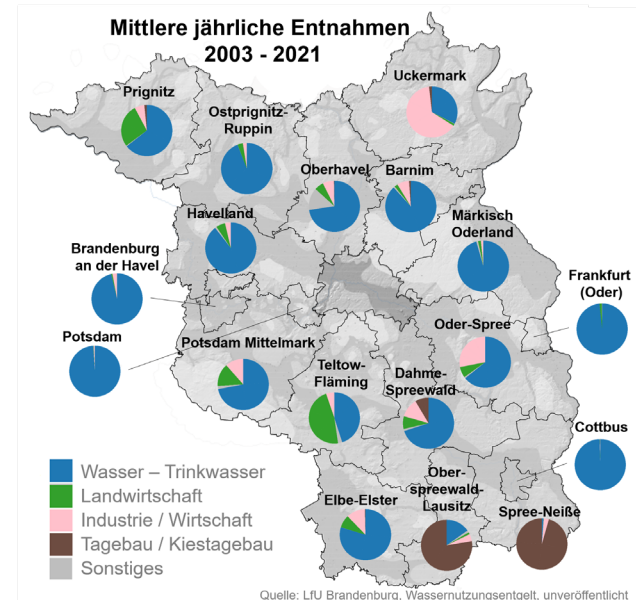
### Bodenfeuchteindex



# Datenverfügbarkeit: Verschiedene Nutzungsszenarien auf lokaler und regionaler Skala

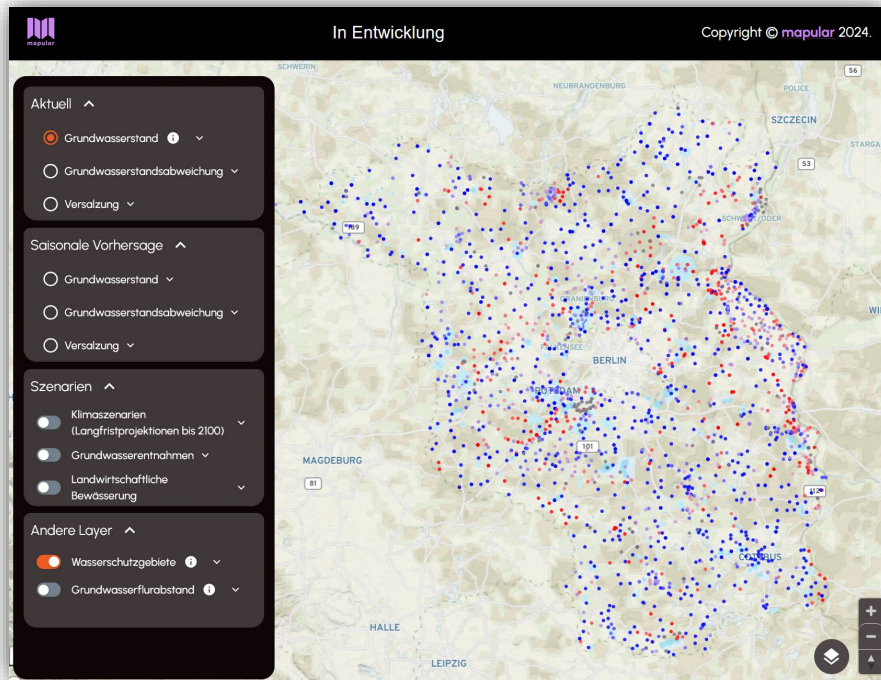
- **Lokal – WW Skala:** Brunnenspezifische Entnahmen zeitlich hochaufgelöst vorhanden  
→ Kurz- bis mittelfristige Grundwasserstandsszenarien abhängig von brunnen- oder wasserwerksspezifischen Entnahmeraten
- **(Über)regional:** Liegen Entnahmen nicht (immer) brunnenscharf und nicht zeitl. hochaufgelöst vor  
→ Mittelfristige Abschätzungen des Einflusses auf Grundlage bisheriger Entnahmen

## Identifikation der Hauptentnehmer auf Landkreisebene (Brandenburg)



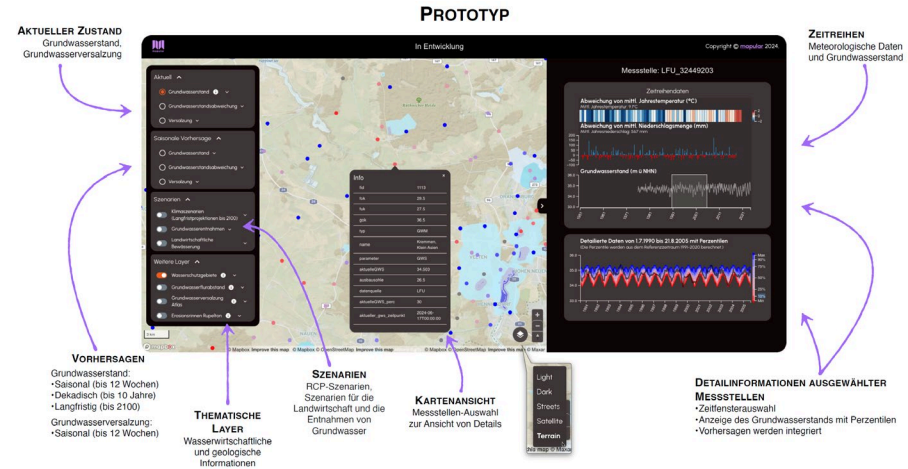
# System zum intelligenten Datenmanagement

- **Cloudbasiertes Datenbanksystems** (AZURE und PostgreSQL)
- **Upload aller Stamm- und Zeitreihendaten**
- **Implementierung automatisierter Qualitätschecks** hinsichtlich Plausibilität (Ausreißer, abrupte Sprünge, zeitl. Aggregation)
- Export für Nutzer geplant



# Bandbreite an spezifischen Klima- und Nutzungsszenarien im Entscheidungsunterstützungssystem

- **Entscheidungsunterstützung** durch interaktive Szenarienauswahl und Bündelung wichtiger Zusatzinformationen, für:
  - **Zuständige Behörden**, zur verbesserten Abschätzung genehmigungsfähiger Wasserentnahmen und Gefahren für grundwasserabhängige Ökosysteme
  - **Wasserversorger**, zur Früherkennung von Grundwasserniedrigständen bzw. -versalzung und Einleiten von Gegenmaßnahmen
  - **Land- und Forstwirtschaft**, zur Planung von Bewässerungsanlagen, Anpflanzung trockenresistenter Feldfrüchte und Baumarten



## Publikationen:

- 2 Publikationen veröffentlicht und 1 eingereicht

## Konferenzen:

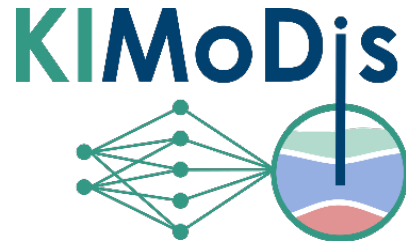
- LBEG Tagung Grundwasserströmungs-Modellierung in Hannover (Juni 2023) - Poster
- FH-DGGV-Tagung in Aachen (März 2024) - Zwei Vorträge und zwei Poster
- EGU 2024 in Wien - Vortrag
- ESA Agriculture Under Pressure in Frascati (Mai 2024) – Vortrag
- IEEE International Symposium on Geoscience and Remote Sensing – IGARSS in Athen (Juli 2024) – Vortrag
- Berlin-Brandenburger Brunnentage in Berlin (Juni 2024) – Vortrag

## Sonstiges

- 2 Seminar- und 2 Masterarbeiten
- API zum laden und verschneiden der Sentinel-2 Satellitendaten
- Sentinel-2 Tiling Scheme zur Schattenkorrektur (Kooperation mit ESA)



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

**FONA**  
Forschung für Nachhaltigkeit

**LURCH**   
Grundwasser nachhaltig bewirtschaften



# Relevante Publikationen



## Publikationen:

Chiogna, G., Marcolini, G., **Engel, M.** *et al.* Sensitivity analysis in the wavelet domain: a comparison study. *Stoch Environ Res Risk Assess* **38**, 1669–1684 (2024). <https://doi.org/10.1007/s00477-023-02654-3>

**Engel, M., Körner, M.** Sentinel-2 Tiling Scheme Grid-Overlay for Efficient I/O-Operations Based on Spherical Voronoi Polygons and Local Optimization. in *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (2024)*. doi:10.1109/IGARSS53475.2024.10640984

**Kunz, S., Schulz, A., Wetzel, M.** *et al.* Towards a Global Spatial Machine Learning Model for Groundwater Level Predictions in Germany (*submitted*)