

STATUSEMINAR DER BMBF-FÖRDERMAßNAHME

# Nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung



17./18. SEPTEMBER 2024 IN FRANKFURT AM MAIN

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

**FONA**  
Forschung für Nachhaltigkeit

Eine Initiative des Bundesministeriums  
für Bildung und Forschung



Wasser: N  
SCHUTZ. NUTZUNG. INNOVATION.

# Impressum

## HERAUSGEBER:



DECHEMA e.V.  
Theodor-Heuss-Allee 25  
60486 Frankfurt am Main

## **Ansprechpartner für die BMBF-Fördermaßnahme „Nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung“ (LURCH):**

### **Beim BMBF:**

Dr. Rainer Müssner  
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)  
Referat 726 „Ressourcen, Kreislaufwirtschaft; Geoforschung“  
53170 Bonn

### **Beim Projektträger:**

Dr. Anna Xanke  
Projektträger Karlsruhe (PTKA)  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

### **EDITOR:**

Vernetzungs- und Transfervorhaben LURCHplus der BMBF-Fördermaßnahme „Nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung“ (LURCH)

### **Verantwortlich im Sinne des Presserechts:**

Dr. Thomas Track  
DECHEMA e.V.  
Tel.: 069 7564-427  
Fax: 069 7564-117

Gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren der einzelnen Beiträge. Die Broschüre ist nicht für den gewerblichen Vertrieb bestimmt.

Erschienen im September 2024 zum Statusseminar der BMBF-Fördermaßnahme „Nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung“ (LURCH)

Titelbild: ©Pixabay, WikimediaImages

# Inhalt

## Die Fördermaßnahme „Nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung“ (LURCH)

---

Hintergrund und Ziele	4
Themenfelder und Inhalte der LURCH-Projekte	5
Vernetzungs- und Transfervorhaben LURCHplus	6
Übersicht der Verbundprojekte und Untersuchungsstandorte	7

## Vorstellung der Verbundprojekte

---

<b>CHARMANT:</b> Charakterisierung, Bewertung und Management von urbanen Grundwasserleitern	8
<b>gwTriade:</b> Ökologisches und ökotoxikologisches Grundwasserqualitätsmonitoring auf Basis eines integrativen Triade-Ansatzes	10
<b>GW_4.0:</b> Klimaangepasste Grundwasserbewirtschaftung durch Echtzeit-Planungs-Tools und modellbasierte Zukunftsszenarien	12
<b>iMolch:</b> Nachhaltige Wassermanagement-Konzepte für Deutschland mithilfe innovativer Monitoring-Strategien	14
<b>IsoGW:</b> Grundwasser-Isoscapes für Deutschland: Wasserisotope als innovatives Werkzeug für eine nachhaltige Wasserbewirtschaftung	16
<b>KIMoDis:</b> KI-basiertes Monitoring-, Datenmanagement- und Informationssystem zur gekoppelten Vorhersage und Frühwarnung vor Grundwasserniedrigständen und -versalzung	18
<b>NitratLurch:</b> Stimulation von H <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub> -oxidierenden Bakterien in Porengrundwasserleitern zur Reinigung von nitratbelastetem Trink- und Brauchwasser	20
<b>PFClean:</b> Innovatives modulares System zur nachhaltigen Reduzierung von PFAS-Kontaminanten aus Boden und Grundwasser	22
<b>StressRes:</b> Monitoring und Modellsystem zur Beurteilung von Stress auf Grundwasserressourcen und Trinkwassermanagement	24
<b>WaRM:</b> Nachhaltige, flexible Grundwasserbewirtschaftung in Ballungszentren auf Basis eines Wassersystemmodells am Beispiel der Metropolregion Frankfurt/Rhein-Main - Modellierung, Maßnahmen, Governance	26

## Querschnittsthemen

---

Klimaprojektionen/-szenarien	28
Modellierung	29
Sozialwissenschaftliche Aspekte in der Grundwasserforschung	30
Monitoringkonzepte	31

## DIE FÖRDERMAßNAHME „NACHHALTIGE GRUNDWASSERBEWIRTSCHAFTUNG“ (LURCH)

## Hintergrund und Ziele



Quelle:  
envato.com,  
Igor Stevanovic

Die letzten Jahre waren in Deutschland von anhaltender Trockenheit geprägt, insbesondere durch den extremen Dürresommer 2018, der zu Rekordniedrigständen des Grundwassers führte. Im Jahr 2023 verzeichnete Deutschland zwar rekordverdächtige Niederschlagsmengen, jedoch blieb die Bodenwasserverfügbarkeit unzureichend. Dies führte zu Ertragseinbußen in der Landwirtschaft und einer weiteren Zunahme des Trockenstresses in deutschen Wäldern [1].

Das Jahr 2023 war gleichzeitig weltweit das wärmste seit Beginn der Aufzeichnungen 1881. Durch den Klimawandel ist mit weiter steigenden Temperaturen sowie mit einer Umverteilung der Jahresniederschläge zu rechnen: Während die Winterniederschläge zunehmen, werden ein Rückgang der Sommerniederschläge und längere Trockenperioden im Sommer erwartet [5]. Das führt wiederum zu einer Verschärfung von Nutzungskonflikten. Insbesondere die Landwirtschaft leidet bereits heute unter der zunehmenden Trockenheit im Sommer. Zur Vermeidung von Ertragseinbußen und Ernteausschlägen wird in einigen Regionen der Bewässerungsbedarf und damit der Druck auf die Grundwasserressourcen weiter steigen.

Die klimawandelbedingten Veränderungen wer-

den sich nicht nur auf die Grundwasserstände auswirken, sondern können auch Einfluss auf die Grundwasserqualität haben [4]. Die Verringerung der Grundwasserqualität durch den Klimawandel wird durch höhere Temperaturen, veränderte Niederschlagsmuster, den Meeresspiegelanstieg und Landnutzungsänderungen verursacht. Höhere Temperaturen beeinflussen chemische und biologische Prozesse und können die Konzentration von Schadstoffen erhöhen. Veränderte Niederschlagsmengen und der Meeresspiegelanstieg führen zur erhöhten Verschmutzung und Salzwasserintrusion in Küstengrundwasserleiter. Zusätzlich tragen intensiviertere landwirtschaftliche Aktivitäten und Urbanisierung zur Verschmutzung bei [3].

Wie sich der Klimawandel auf den quantitativen und qualitativen Zustand des Grundwassers in Deutschland auswirkt, beschäftigt Forschung und Praxis gleichermaßen [2].

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) hat im Frühjahr 2023 die Fördermaßnahme „Nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung“ (LURCH) gestartet.

LURCH umfasst zehn Verbundprojekte und ein Vernetzungs- und Transfervorhaben LURCHplus. Die Verbundprojekte vereinen eine Vielzahl von Partnern aus Wissenschaft, Industrie und öffentlicher Verwaltung, die gemeinsam an Lösungen für die nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung arbeiten. LURCHplus wird von der DECHEMA e.V. bearbeitet.

**Kontakt Vernetzungs- und Transfervorhaben:**

*Dr. Thomas Track*

E-Mail: [thomas.track@dechema.de](mailto:thomas.track@dechema.de)

*Dr. Christina Jungfer*

E-Mail: [christina.jungfer@dechema.de](mailto:christina.jungfer@dechema.de)

*M.Sc. Sarah Fieger*

E-Mail: [sarah.fieger@dechema.de](mailto:sarah.fieger@dechema.de)

## Themenfelder und Inhalte der LURCH-Projekte

### In LURCH werden drei übergreifende Themenfelder adressiert:

- 1) Grundwasserquantität
- 2) Grundwasserqualität
- 3) Nachhaltige Bewirtschaftung

In den Verbundprojekten werden diese Themenfelder mit integrierten Ansätzen behandelt.

Es werden innovative Monitoring-Strategien und Indikatoransätze entwickelt, um den Zustand des Grundwassers zu erfassen, zu bewerten und Verbesserungsmaßnahmen abzuleiten. Auf lokalem und regionalem Maßstab werden Modellsysteme entwickelt, die Klimavorhersagen und -projektionen integrieren und die als Planungswerkzeug dienen. Anhand verschiedener Szenarien werden Stressfaktoren für das Grundwasser untersucht und auf dieser Grundlage angepasste Bewirtschaftungsmaßnahmen vorgeschlagen. Als weiteres Werkzeug wird eine frei zugängliche, deutschlandweite Verteilungskarte der stabilen Wasserisotope entwickelt. Anhand verschiedener Fallbeispiele und spezifischer Fragestellungen wird ihr Nutzen für die Grundwasserbewirtschaftung demonstriert. Auch der Umgang mit nitratbelasteten Grundwasserressourcen und Möglichkeiten zur Nitratreduktion sowie zur Sanierung von PFAS-belastetem Grundwasser werden in Labor-, Technikums- und Feldversuchen erprobt.

### Vernetzungs- und Transfervorhaben LURCHplus

Die Verwertung der Ergebnisse und Erkenntnisse aus den zehn Verbundprojekten wird durch das Vernetzungs- und Transfervorhaben LURCHplus unterstützt.

Dabei steht die interne und externe Vernetzung sowie die Unterstützung des Ergebnistransfers in die Praxis im Mittelpunkt. Interne Vernetzung er-

folgt durch Querschnittsthemen und weitere Austauschformate. Dieser Austausch zwischen den Verbundprojekten wird durch LURCHplus unterstützt. Weiterhin ermöglicht LURCHplus durch die Koordination von Netzwerken und durch Kooperationen zwischen Wissenschaft, Industrie und Behörden eine effektive Zusammenarbeit und die Entwicklung praxisnaher Lösungen. Durch Workshops und Fachveranstaltungen können Praxisvertreter ihr Fachwissen einbringen und von den Erkenntnissen profitieren, die in der Fördermaßnahme generiert werden.

Die Fördermaßnahme LURCH läuft unter dem Dach des Bundesprogramms „Wasser: N – Forschung und Innovation für Nachhaltigkeit“, das vom BMBF initiiert wurde. Wasser: N ist Teil der Strategie „Forschung für Nachhaltigkeit (FONA)“.



Quelle: M.Bockstiegel, Verbundprojekt WaRM

# Untersuchungsstandorte der Verbundprojekte



# Übersicht der Verbundprojekte

**1 CHARMANT:** Charakterisierung, Bewertung und Management von urbanen Grundwasserleitern

**Verbundkoordination:** PD Dr. Kathrin Menberg, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Angewandte Geowissenschaften, Arbeitsgruppe Ingenieurgeologie, Karlsruhe

**2 gwTriade:** Ökologisches und ökotoxikologisches Grundwasserqualitätsmonitoring auf Basis eines integrativen Triade-Ansatzes

**Verbundkoordination:** Prof. Dr. Henner Hollert, Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main, Institut für Ökologie, Evolution und Diversität, Abteilung für Evolutionsökologie und Umwelttoxikologie (E3T), Frankfurt

**3 GW\_4.0:** Klimaangepasste Grundwasserbewirtschaftung durch Echtzeit-Planungstools und modellbasierte Zukunftsszenarien

**Verbundkoordination:** Prof. Dr.-Ing. Olaf A. Cirpka, Eberhard Karls Universität Tübingen, Fachbereich Geowissenschaften, Geo- und Umweltforschungszentrum, Arbeitsgruppe Hydrogeologie, Tübingen

**4 iMolch:** Nachhaltige Wassermanagement-Konzepte für Deutschland mithilfe innovativer Monitoring-Strategien

**Verbundkoordination:** Prof. Dr. Tobias Licha, Ruhr-Universität Bochum, Institut für Geologie, Mineralogie, und Geophysik, Arbeitsgruppe Hydrogeochemie, Bochum

**5 IsoGW:** Grundwasser-Isoscapes für Deutschland – Wasserisotope als innovatives Werkzeug für eine nachhaltige Wasserbewirtschaftung

**Verbundkoordination:** PD Dr. Robert van Geldern, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU), Geozentrum Nordbayern (GZN), Lehrstuhl für Angewandte Geologie, Erlangen

**6 KIMoDIs:** KI-basiertes Monitoring-, Datenmanagement- und Informationssystem zur gekoppelten Vorhersage und Frühwarnung vor Grundwasserniedrigständen und -versalzung

**Verbundkoordination:** Dr. Stefan Broda, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Berlin

**7 NitratLurch:** Stimulation von H<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>-oxidierenden Bakterien in Porengrundwasserleitern zur Reinigung von nitratbelastetem Trink- und Brauchwasser

**Verbundkoordination:** Prof. Dr. Florian Einsiedl, Technische Universität München (TUM), Ingenieur fakultät Bau Geo Umwelt, Arbeitsgruppe Hydrogeologie, München

**8 PFClean:** Innovatives modulares System zur nachhaltigen Reduzierung von PFAS-Kontaminanten aus Boden und Grundwasser

**Verbundkoordination:** PD Dr. Claus Haslauer, Universität Stuttgart, Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung, Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung (VEGAS), Stuttgart

**9 StressRes:** Monitoring- und Modellsystem zur Beurteilung von Stress auf Grundwasserressourcen und Trinkwassermanagement

**Verbundkoordination:** Prof. Dr. Kerstin Stahl, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Professur für Umwelthydrosysteme, Freiburg

**10 WaRM:** Nachhaltige, flexible Grundwasserbewirtschaftung in Ballungszentren auf Basis eines Wassersystemmodells am Beispiel der Metropolregion Frankfurt/Rhein-Main – Modellierung, Maßnahmen, Governance

**Verbundkoordination:** Dr.-Ing. Thomas Hillenbrand, Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung eingetragener Verein, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe

## CHARMANT

## Charakterisierung, Bewertung und Management von urbanen Grundwasserleitern



### PROJEKTZIELE

Das übergeordnete Ziel von CHARMANT ist die Entwicklung eines Verfahrens, das ein integriertes Grundwassermanagement und die Planung hydraulischer sowie thermischer Grundwassernutzungen für die komplexen Bedingungen in urbanen Gebieten unter Erhalt der Ökosystemleistungen ermöglicht. Als Grundlage dafür werden Methoden entwickelt, welche die Aufnahme und Auswertung der für verschiedene Fragestellungen wichtigen Parameter und damit eine räumlich und zeitlich hochaufgelöste Charakterisierung dynamischer Grundwasserleiter ermöglichen. Zudem wird ein prozessbasiertes Modellwerkzeug geschaffen, das auf Grundlage dieser Daten die Simulation von thermisch-hydraulischen, chemischen und biologischen Veränderungen im Grundwasser auf unterschiedlichen, räumlich-zeitlichen Skalen ermöglicht. Um den ökologischen Zustand urbaner Grundwasserleiter im Hinblick auf Grundwasserfauna und -mikrobiologie in ein solches Verfahren einzubinden, werden zudem existierende Bewertungsansätze an die dynamischen und urban-gestressten Verhältnisse angepasst, weiterentwickelt und validiert.

### ZWISCHENERGEBNISSE

Im vergangenen Jahr wurden zunächst gemeinsam von allen Partnern die für den Standort Berlin zur Verfügung stehenden Daten zu Grundwassergüte und Grundwasserfauna aus verschiedenen Monitoringprogrammen und auch anderen Projekten gesichtet, gefiltert und vereinheitlicht. Ergänzend wurde von mehreren Projektpartnern eine gemeinsame Stichtagsmessung von Temperatur-Tiefenprofilen an 241 Messstellen durchgeführt (s. Abbildung). Darauf aufbauend wurden Karten der Grundwassertemperatur erzeugt, die erstmals die zeitliche Erwärmung des Berliner Hauptgrundwasserleiters räumlich aufgelöst darstellen. Daneben hat sich gezeigt, dass nur vier der regelmäßig beprobten Messstellen dauerhaft über 1 mg/l an gelöstem Sauerstoff aufweisen, und damit als dauerhaft geeignete Habitate für stygobionte Grundwasserfauna angesehen werden können. Dieser Befund spiegelt sich auch in der Analyse der Daten zur Grundwasserfauna wieder, bei der nur an acht von insgesamt 70 beprobten Standorten bei mindestens einer Messung stygophile oder stygobionte Fauna angetroffen wurde. Faunistische Zeitreihen dieser

### Laufzeit

01.03.2023 – 28.02.2026

### Verbundpartner

- Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt, Berlin
- SEBA Hydrometrie GmbH & Co. KG
- Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
- Universität Stuttgart
- Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland Landesverband Berlin e.V.
- Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V.

### Koordination

PD Dr. Kathrin Menberg  
*Karlsruher Institut für Technologie (KIT),  
 Institut für Angewandte Geowissenschaften*  
 Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe  
 E-Mail: menberg@kit.edu

### Webseite

[https://ingeo.agw.kit.edu/69\\_573.php](https://ingeo.agw.kit.edu/69_573.php)





Abbildung:  
Kollegen des  
Karlsruher  
Instituts für  
Technologie (KIT)  
während der  
Messkampagne für  
Temperatur-Tiefen-  
profile in Berlin im  
Mai 2024

Quelle:  
CHARMANT

Messstellen zeigen zudem auch die gänzliche Abwesenheit von Grundwasserfauna bei einzelnen Messungen, ebenso wie vereinzelt Funde mit mehreren hundert Tieren. Interessanterweise wurden bei den öffentlichen Grundwasserprobennahmen im Rahmen der Citizen Science Veranstaltungen an ca. der Hälfte der beprobten Schwengelpumpen Tiere (v.a. Würmer und Milben) gefunden, die noch näher bestimmt werden müssen.

Für eine zeitlich hochauflösende, sowie tiefenaufgelöste Messung von relevanten Parametern wurden zwei Grundwassermessstellen zu Pilotmessstellen ausgebaut, und entsprechende Multisensoren-Messsysteme für die Messung von gelöstem Sauerstoff, elektrischer Leitfähigkeit und pH-Wert entwickelt. Für die geplante Untergrundmodellierung wurde ein 3D geologisches Modell des zentralen Bereichs von Berlin aufgesetzt und in kleine Boxmodelle für die thermisch-hydraulische Modellierung von unterirdischer Infrastruktur und Grundwassernutzungen unterteilt. Erste Simulationsergebnisse in diesen Boxmodellen zeigen eine gute Übereinstimmung mit gemessenen Temperatur-Tiefenprofilen im Innenstadtbereich.

In Bezug auf die Raum- und Umweltplanung wurde eine Analyse aktueller Planwerke für Berlin und Karlsruhe durchgeführt sowie geographische Datensätze zu Oberflächenversiegelung, Flächennutzung, Stadtentwicklung, usw. zusammengetragen. Diese Analyse hat gezeigt, dass Grundwasser in der bisherigen Raumplanung in Berlin nur am Rande berücksichtigt wird,

und in Karlsruhe überhaupt nicht in Planwerke integriert ist. Generell wird Wasser in diesen Planwerken meist nur in Form von Oberflächen-gewässern thematisiert.

### AUSBLICK

Für eine genauere Untersuchung der Grundwasserfauna in Berlin wird momentan die Kartierung der Grundwasserfauna auf weitere Messstellen ausgeweitet. Daneben wird eine Bestimmung auf Artniveau sowie die Beprobung einzelner Messstellen mit DNA-Fingerprinting durchgeführt werden, um die bisherigen Befunde in Bezug auf das Vorkommen stygophiler und stygobionter Arten zu überprüfen. Neu zur Verfügung stehende Messwerte mikrobieller Parameter von einer Vielzahl an Messstellen werden herangezogen, um faunistische Bewertungsschemata in Abwesenheit der Makrofauna anzuwenden. Demnächst werden auch die umgebauten Pilotmessstellen einsatzbereit sein, um zusätzliche Daten zur Verteilung der Gehalte an gelöstem Sauerstoff innerhalb einer Messstelle und deren zeitlicher Dynamik zu liefern. In Verbindung mit den bisher erhobenen Daten werden diese u.a. zur Entwicklung von konzeptionellen Modellen für Grundwasserfauna-Habitate in Berlin dienen. In der Modellierung laufen momentan erste Schritte zur Klassifizierung der Grundwasser-Archetypen in Berlin mit Hilfe von statistischen Verfahren (Regression-Tree-Analysis) auf Basis der aufbereiteten Datensätze zu Grundwassereigenschaften und gesammelten geographischen Informationen zu obertägigen Stadteigenschaften.

gwTriade

## Ökologisches und ökotoxikologisches Grundwasserqualitätsmonitoring auf Basis eines integrativen Triade-Ansatzes



### PROJEKTZIELE

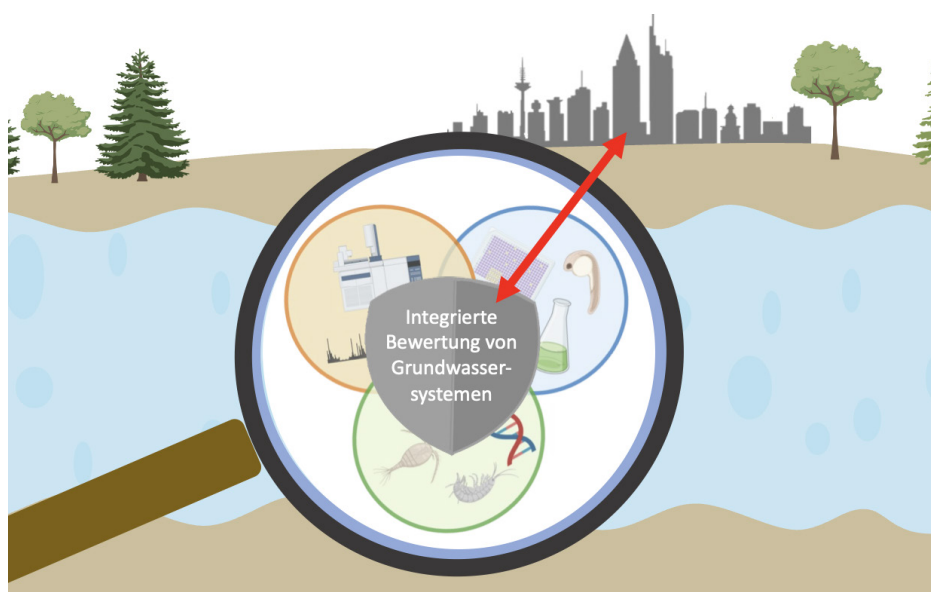
In gwTriade wird ein integriertes Bewertungskonzept spezifisch für Grundwassersysteme entwickelt und angewandt. Das Triadekonzept basiert dabei auf der Erkenntnis, dass weder chemische Analytik, Biotests noch Untersuchungen der Biozönose allein ausreichen, um den ökologischen Zustand umfassend zu bewerten. Vielmehr ist eine Kombination aller drei Säulen für eine Bewertung notwendig. Aufgrund der bisherigen Erfahrungen aus solchen integrativen Triadekonzepten aus dem Bereich der Sediment- und Oberflächenwasserbewertung wird auch die gesellschaftliche Dimension in die naturwissenschaftlich-technischen Ergebnisse des Verbundprojektes integriert. Mit der sozial-ökologischen Bewertung, die die Analyse der Praxisbedarfe, den Dialog mit Praktikern, den Einbezug unterschiedlicher Zielvorstellungen bei der Grundwasserbewertung und die Analyse von Konfliktsituationen umfasst, können Mechanismen und Lösungsansätze zur Konfliktbewältigung abgeleitet sowie die im Projekt erarbeiteten Bewertungskriterien in Bezug auf gesellschaftliche Zielvorstellungen ge-

prüft und priorisiert werden. Die Ergebnisse der holistischen Grundwasserbewertung dienen der Erarbeitung einer zielgruppenspezifischen Handlungsempfehlung, die potentiellen Anwendern (z. B. DVGW, Naturschutzbehörden) zur Verfügung gestellt werden soll.

### ZWISCHENERGEBNISSE

Im bisherigen Projektverlauf wurden bereits vier Probenahmen an verschiedenen Standorten durchgeführt. Die Auswahl der Probenahmestandorte erfolgte auf Grund der bekannten Vorbelastung mit per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS; Nato-Flughafen Gangelt und Flughafen Köln-Bonn) und dem städtischen Einfluss (Hannover). In Kooperation mit dem LURCH-Verbundprojekt WaRM wurde darüber hinaus eine Probenahme an verschiedenen Grundwassermessstellen nahe Darmstadt vorgenommen, an denen eine Infiltration des Grundwassers durch den nahegelegenen Landgraben festgestellt wurde.

Im Rahmen der Triade-basierten Analysen wurden die in Hannover und in Gangelt entnommenen Pro-



**Abbildung 1:** Schematische Darstellung des im gwTriade-Projekt angewandten Triade-Ansatzes. Bei der integrierten Bewertung werden neben den drei traditionellen Beweislinien der Triade auch sozial-ökologische Perspektiven integriert. Der orangene Kreis stellt die chemische Bewertung dar, der grüne die faunistische und der blaue die ökotoxikologische Bewertung des Grundwassers.

Quelle: E3T, Goethe-Universität Frankfurt, erstellt mit Biorender.com

ben bereits hydrochemischen und bioanalytischen Untersuchungen unterzogen sowie eine Spurenstoffanalyse durchgeführt. Die Analyse des Grundwassers aus Gangelt ergab erwartungsgemäß eine Belastung mit PFAS, wobei zudem ein Einfluss der Landwirtschaft nachgewiesen werden konnte. Die Stadt Hannover ist insbesondere durch städtische Bebauung, Industrie, aber zum Teil auch durch Landwirtschaft geprägt. Diese Ergebnisse konnten auch in der Suspect-Analyse des Grundwassers bestätigt werden, welche Hinweise auf Industriechemikalien und Abwassereinflüsse sowie landwirtschaftliche Einflüsse im Süden und Osten des Stadtgebiets Hannovers ergab. Im Nordosten wurden darüber hinaus Arzneimittelrückstände im Grundwasser nachgewiesen. Diese Messstellen im Nordosten wiesen zudem Auffälligkeiten in der Bioanalytik auf, denn die Proben zeigten eine erhöhte zytotoxische und endokrine Wirksamkeit. Im Rahmen der ökotoxikologischen Untersuchung der Extrakte aus Gangelt konnten keine Auffälligkeiten in Bezug auf eine mögliche genotoxische Wirksamkeit festgestellt werden. Ebenso zeigten die nativen Proben keine akute Wirkung gegenüber Fischembryonen, Wasserflöhen oder dem grundwassernahen Copepod *Eucyclops serrulatus*. Die ökologische Auswertung wurde bereits durch die morphologische Bestimmung der Fauna in den Probenahmestellen in Gangelt und Hannover durchgeführt. Aufgrund der unzureichenden Erfassung von Crustaceen für eine ökologische Bewertung der Standorte wird die eDNA-Analyse um die Analyse von Protisten und Bakterien erweitert bzw. umgestellt. Um das Konfliktfeld der Grundwassernutzung und des Grundwasserschutzes unter Berücksichtigung sozialer und ökologischer

Aspekte genauer zu bewerten, wurde eine Policy-Analyse durchgeführt. Diese analysiert verschiedene Konfliktkonstellationen mittels qualitativer Experteninterviews. Zudem wurde ein Fachgespräch mit Vertretern von Behörden, Ministerien, Wasseraufbereitern und NGOs durchgeführt.

### AUSBLICK

Im Herbst erfolgt die letzte Probenahme am Standort Rastatt. Hier wurden aktuell schon Grundwasserproben an einer Vielzahl an Messstellen für eine Identifizierung eines Gradienten entnommen. Diese werden aktuell hinsichtlich einer unterschiedlichen Besiedlungsrate von Grundwassertieren untersucht. Darauf basierend werden innerhalb der nächsten Wochen die Probenahmestellen für ökotoxikologische und chemische Analysen ausgewählt.

Während in der ersten Projekthälfte die Probenahme und die Probenaufbereitung im Vordergrund standen, liegt der Fokus des Projektes in der zweiten Projekthälfte nun mehr auf der Erhebung ökotoxikologischer, ökologischer und chemischer Daten, der integrativen Bewertung, der Finalisierung der Handlungsanweisung und der Überführung des Triade-Ansatzes in die Praxis.

Neben den experimentellen Untersuchungen und den erhaltenen Daten fließen auch die Ergebnisse aus Experteninterviews und eines zweiten Fachgesprächs mit Stakeholdern und potenziellen Anwendern in die Handlungsempfehlung ein, die neben den natur- und ingenieurwissenschaftlichen Perspektiven auch die der Praxisakteure sowie die Ergebnisse der sozial-ökologischen Bewertung mit einbezieht.

### Laufzeit

01.03.2023 – 28.02.2026

### Verbundpartner

- Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) GmbH
- IWW Holding gemeinnützige GmbH
- Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern-Landau (RPTU)
- Zweckverband Landeswasserversorgung (LW)

### Koordination

Prof. Dr. Henner Hollert,  
*Johann Wolfgang Goethe-Universität  
Frankfurt am Main*

*Institut für Ökologie, Evolution und  
Diversität*

Max-von-Laue-Str.13, 60438 Frankfurt  
E-Mail: [hollert@bio.uni-frankfurt.de](mailto:hollert@bio.uni-frankfurt.de)

### Webseite

<https://www.gwtriade.de/de/>

## GW\_4.0

## Klimaangepasste Grundwasserbewirtschaftung durch Echtzeit-Planungs-Tools und modellbasierte Zukunftsszenarien



### PROJEKTZIELE

GW\_4.0 entwickelt modellbasierte Planungs- und Entscheidungshilfen für die saisonale bis langfristige Grundwasserbewirtschaftung am Beispiel des Oberen Gäus und des Neckartals bei Tübingen. Mit der Abschätzung langfristiger Trends für Grundwasserdargebot und Nachfrage werden die Informationsgrundlagen geschaffen, um den Wasserbedarf von Haushalten, Industrie und Landwirtschaft auch künftig in einem Umfeld zunehmender Konflikte und Extremwetterlagen nachhaltig decken zu können. Ein Online-Echtzeit-Planungswerkzeug soll Wasserversorger bei mittelfristigen Planungen wie der saisonalen Priorisierung der Grundwassernutzung unterstützen und es ermöglichen, den Betrieb auf Grundlage wissenschaftlich fundierter Prognosen zu steuern.

Vor diesem Hintergrund wird untersucht, wie sich klimabedingte Änderungen der Landbewirtschaftung auf die Grundwasserneubildung und die Sickerwasserqualität auswirken.

### ZWISCHENERGEBNISSE

Für das Projektgebiet wurden ein räumlich hochaufgelöstes Bodenwasserhaushaltsmodell (GWN-BW)

erstellt und die als obere Randbedingung für das Grundwassermodell benötigte Sickerwassermenge für die Historie ab 1951 sowie auf Basis von 13 regionaler RCP 8.5 Klimaprojektionen für die Zukunft bis 2100 berechnet. Zudem wurde eine Methodik entwickelt, um halb-empirische Klimaprojektionen durch Verkettung bislang beobachteter warmer Winter-/ Sommerhalbjahre abzuleiten.

Bodenphysikalische und landwirtschaftliche Daten zum Projektgebiet wurden zusammengetragen und analysiert. Daraus wurden Hauptfruchtarten und -folgen für die Ackerflächen im Projektgebiet abgeleitet, wobei zwischen Ökolandbau und konventioneller Landwirtschaft unterschieden wird. Standardannahmen zur Bewirtschaftung der Hauptfruchtarten werden in enger Zusammenarbeit mit den Landwirtschaftsberatern vor Ort ausgearbeitet.

Zur Abschätzung der Sickerwassermengen und Nitratfrachten unter Ackerstandorten wurde ein regionales Modell (Expert-N) erstellt, das für rd. 300 Standorte mit unterschiedlichen Wetter-Boden-Kombinationen das Wachstum und die Wasseraufnahme der Pflanzen basierend auf der Bewirtschaftung

#### Laufzeit

01.03.2023 – 28.02.2026

#### Verbundpartner

- Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH (KUP)
- Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW)
- Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe
- Universität Hohenheim, Fachgebiet Biogeophysik
- Zweckverband Ammertal-Schönbuchgruppe (ASG)

#### Assoziierte Partner

- GIT HydroS Consult GmbH
- Regierungspräsidium Freiburg
- Universität Kassel

#### Koordination

Prof. Dr.-Ing. Olaf A. Cirpka  
*Eberhard Karls Universität Tübingen,  
 Fachbereich Geowissenschaften,  
 Geo- und Umweltforschungszentrum  
 Schnarrenbergstr. 94-96, 72076 Tübingen  
 E-Mail: olaf.cirpka@uni-tuebingen.de*

#### Webseite

<https://uni-tuebingen.de/de/244405>



tung sowie der Verfügbarkeit von Nährstoffen, Licht und Wasser berechnet. Die Modellvalidierung wurde anhand langjähriger Berechnungsversuche für die wichtigsten Getreidearten im Projektgebiet (Winterweizen, Sommergerste) durchgeführt.

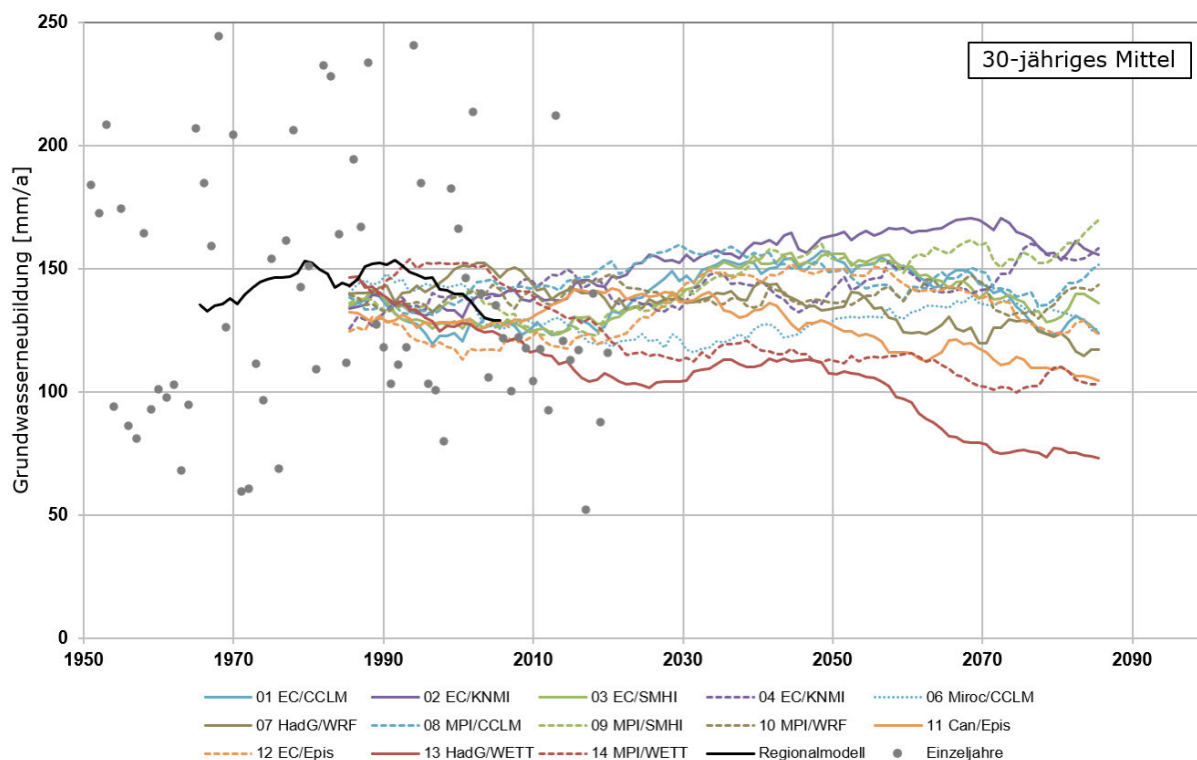
Für die Entwicklung der Landwirtschaft mit dem Klimawandel im Projektgebiet wurden verschiedene Zukunftsszenarien in Form bestimmter Fruchtfolge- und Bewirtschaftungsentwicklungen definiert. Weitere Zukunftsszenarien wurden für die Entwicklung der Bevölkerung sowie von Siedlungs- und Industrieflächen und entsprechende Auswirkungen hinsichtlich Wasserbedarf und Versiegelung festgelegt.

Das Grundwassermodell für die genutzten Grundwasserleiter im Muschelkalk und in den Neckarkiesen wird derzeit kalibriert. Das Daten-Assimilationsmodul ist fertiggestellt und wurde in mehreren synthetischen Studien getestet. Für die praktische Implementierung wurden ein Echtzeit-Messsystem erfolgreich getestet und Messorte für eine Ausrüstung mit Datenloggern festgelegt. Für das Online-Planungsinstrument wurden ein Konzept entworfen und eine entsprechende Datenbank sowie eine erste Version der Web-Oberfläche prototypisch implementiert.

## AUSBLICK

GWN-BW wird um ein Berechnungsmodul erweitert. Alle Landwirtschaftsszenarien werden im Detail entwickelt und in Kombination mit verschiedenen Klimaprojektionen im Expert-N Modell implementiert. Für alle Szenarien werden Sickerwasserbildung, Nitratfrachten und Berechnungsmengen für das Projektgebiet berechnet. Anhand der modellierten Bodenfeuchte werden im Projektgebiet Bereiche mit zukünftiger Bewässerung identifiziert und die benötigte Bewässerungsmenge berechnet. Die Szenarien des Bodenwasserhaushalts und der Sickerwasserbildung werden mit den Zukunftsszenarien für die wirtschaftliche und demografische Entwicklung und deren Auswirkungen zu Entwicklungspfaden zusammengeführt. Das Grundwassermodell wird durch ein Flussmodell des Neckars ergänzt. Nach Abschluss der Installation des Messsystems für das Echtzeit-Messnetz wird das Datenassimilationsmodul mit dem Grundwassermodell kombiniert und an historischen Daten getestet.

Die erste Version der Web-Oberfläche des Online-Planungsinstruments wird gemeinsam mit den Projektpartnern weiter verbessert und Anpassungen im Konzept direkt implementiert. Schwerpunkt wird die Integration des von den Projektpartnern der Uni Tübingen entwickelten Wasserhaushaltsmodells sein.



**Abbildung 2** Bandbreite der zukünftigen Entwicklung der Grundwasserneubildung im GW4.0 Projektgebiet auf Basis von 13 RCP8.5 Klimaprojektionen. Quelle: GIT HydroS Consult GmbH

## iMOLCH

## Nachhaltige Wassermanagement-Konzepte für Deutschland mithilfe innovativer Monitoring-Strategien



### PROJEKTZIELE

Ziel des Verbundprojektes iMolch ist es, durch die Entwicklung und Nutzung innovativer Prozess- und Quellindikatoren sowie reaktiver Stofftransportmodelle eine umfassende Zustandsbeschreibung ausgesuchter Grundwasserkörper im Hinblick auf Wasserqualität, Wassermenge und ökologischen Zustand zu erstellen. Basierend auf dem Monitoring werden konzeptionelle und numerische Prognosemodelle erstellt, die die Entwicklung der Grundwasserqualität und dessen ökologischen Zustand beschreiben und bewerten sollen.

Das Konzept zur Umsetzung einer nachhaltigen Nutzung von Grundwasserressourcen lässt sich im Vorhaben iMolch in drei Themenfelder gliedern: (1) Entwicklung und Erprobung innovativer Monitoringwerkzeuge basierend auf Indikatoren und Indizes zur Beschreibung des chemischen und ökologischen Zustandes sowie zur Bestimmung der Herkunft von möglichen Beeinträchtigungen, (2) Entwicklung von konzeptionellen und numerischen Modellen zur räumlichen und zeitlichen Verteilung von Wassermengen, Stoffströmen und biologischen Aktivitäten im Untergrund und zur Prognose zukünftiger Wasserqualität und –menge sowie (3) Entwicklung von Handlungsstrategien der Grundwasserbewirtschaftung und Wissen-

schaftskommunikation insbesondere unter dem Aspekt aktueller und zukünftiger Spannungsfelder der Wassernutzung.

### ZWISCHENERGEBNISSE

Mit den von den Stadtwerken Düsseldorf zur Verfügung gestellten Daten erfolgte eine Standortcharakterisierung im Hinblick auf Geologie, Hydrogeologie und klimatischer Bedingungen sowie eine umfassende Analyse bereits aufgezeichneter Daten organischer Parameter. Zeitliche und räumliche Konzentrationsänderungen geben Aufschluss über die Herkunft der Spurenstoffe; dabei kann zwischen landseitig eingetragenen Stoffen und rheinseitig transportierten Stoffen unterschieden werden. Die Datensätze der letzten Dekaden wurden mittels Python und GIS grundlegend verarbeitet und statistische Auswertungen erstellt. Erste Berechnungen basierend auf dem Indikatoransatz zum Uferfiltratanteil liegen vor.

Fünf Probenahmen unter verschiedenen hydraulischen Randbedingungen im Bereich Düsseldorf und Dormagen in verschiedenen Schutzzonen und Jahreszeiten wurden durchgeführt. Die Anzahl der Probenahmestellen wurde vergrößert, um den Einfluss von chemischen und biologischen Faktoren



#### Abbildung:

Grundwasserprobenahme auf dem Grind, Wassergewinnungsgebiet der Stadtwerke Düsseldorf (Copyright: Astrid Dannehl, UDE)

aus dem Rheinwasser auf das Grundwasser zu untersuchen. Zudem soll der Einfluss von städtischen und landwirtschaftlich genutzten Landflächen auf die Mikrobiologie und Chemie im Grundwasser untersucht werden. Methoden der Probenverarbeitung wurden getestet und etabliert. Die chemischen Indikatoren wurden auf zwei Methoden aufgeteilt und um wenige Stoffe ohne Indikatorcharakter am Standort reduziert. Für die Entwicklung des mikrobiellen Indexes wurde der bestehende DAC-Index herangezogen. Die Methodik für die Messung der mikrobiellen Aktivität, der Zelldichte, des Humifikationsindexes (HIX), des Biologischen Indexes (BIX) und der Konzentration des gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC) wurden etabliert und verfeinert. Da der bestehende DAC-Index mit statistischen Parametern auf der Basis von 16S rRNA Gen-Sequenzen erweitert werden soll, wurden hier Methoden etabliert. Die Beta Diversität wurde als Principal Component Analysis geplottet und die resultierenden Cluster zeigten eine gute Repräsentation der Landnutzungstypen. Eine erste Canonical Correspondance Analysis zeigte, dass pH, O<sub>2</sub>, Leitfähigkeit und DOC die mikrobielle Gemeinschaft am stärksten beeinflussten. Eine vielversprechende Erweiterung des DAC-Indexes mit dem höchsten Informationsgehalt und der Fähigkeit, Ausreißer zu erkennen, bestand aus der Kombination von Zelldichte, HIX und BIX sowie der CO<sub>2</sub>-Produktion und dem Verhältnis zwischen Ammonium-oxidierenden Bakterien zu Ammonium-oxidierenden Archaeen. Generell ist zum jetzigen Zeitpunkt festzustellen, dass chemischer und ökologischer Zustand des Grundwassers nicht immer übereinstimmen, beide Verfahren jedoch komplementär sein können.

## AUSBLICK

Die Probenahmen mit allen Monitoringverfahren werden weiter regelmäßig für die nächsten Monate in den Wassergewinnungsgebieten sowie in den jeweiligen Schutzzonen fortgeführt. Zusätzlich sollen Proben für die Bestimmung der stabilen Wasserisotope genommen werden, um Aussagen über Alter und Anteil des Uferfiltrats treffen zu können. Diese Werte werden dann mit den chemischen Indikatoren verglichen. Die Probenahmen tragen zur Vervollständigung des Datenpools bei, der wiederum die Basis für die Modellierungen der Projektpartner ist. Die Modelle werden die Grundlage für das risikoangepasste Management der Einzugsgebiete. Die Erstellung des hydrogeologischen Konzeptmodells dient als Basis für ein Grundwasserströmungsmodell. Mit diesem werden verschiedene hydrologische Szenarien berechnet, um das Bewirtschaftungskonzept hinsichtlich bestimmter Gefahren (z.B. Hochwasser oder Kontaminationen des Rheinwassers) resilienter zu gestalten und konkrete Handlungsstrategien abzuleiten.

Aus dem Indikatoransatz lassen sich für die Stadtwerke Düsseldorf wichtige Handlungsstrategien für die Bewirtschaftung ableiten. Dazu zählt für den Uferfiltratstandort Flehe, dass eine landseitige Beeinflussung der Brunnengalerie nur bei Niedrigwasser vorkommt, dass aber der rheinseitige Eintrag weit in den Grundwasserleiter hineingetragen wird und sogar die Pumpen überspült. Insofern ist für die Bewirtschaftung bei mittleren und hohen Wasserständen die Beschaffenheit des Rheinwassers entscheidend und nur bei Niedrigwasser wird das landseitige Grundwasser relevant.

### Laufzeit

01.03.2023 – 28.02.2026

### Verbundpartner

- Grundwasser-Consulting-Institut GmbH (GFI)
- Stadtwerke Düsseldorf AG
- Technische Universität Bergakademie Freiberg
- Technische Universität Berlin
- Universität Duisburg-Essen

### Koordination

Prof. Dr. Tobias Licha  
*Ruhr-Universität Bochum, Institut für  
 Geologie, Mineralogie, und Geophysik,  
 IA5/169 Universitätsstraße 150,  
 44801 Bochum  
 E-Mail: tobias.lich@rub.de*

### Webseite

<https://www.tu.berlin/geochemie/forschung/laufende-projekte/imolch>

## IsoGW

# Grundwasser-Isoscapes für Deutschland – Wasserisotope als innovatives Werkzeug für eine nachhaltige Wasserbewirtschaftung



## PROJEKTZIELE

Grundwasser, als wichtigste Trinkwasserressource in Deutschland wird aus einem Teil der Niederschläge kontinuierlich neu gebildet. Die Signaturen der stabilen und radiogenen Isotope der Niederschläge finden sich im Grundwasser wieder. Genaue Zusammenhänge von Niederschlag und Grundwasserneubildung bleiben jedoch so lange unbekannt bis beide Wasserkompartimente flächendeckend isotopisch charakterisiert sind. Während für den Niederschlag eine relative gute Datenlage existiert, ist dies für das Grundwasser bislang nicht der Fall. Dynamische „Isoscapes“ sind eine wichtige Grundlage für die nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung, da sie wichtige Informationen zu Grundwasserneubildungsgebieten, Trinkwassergewinnung aus Uferfiltration und Mischungsverhältnissen liefern. In Deutschland gibt es aktuell noch keine systematische Erfassung von Grundwasserisotopendaten auf Landes- oder Bundesebene.

Das übergeordnete Ziel des Verbundprojektes mit insgesamt sechs Partnern aus Wissenschaft, Behörden und Wirtschaft ist es, für Deutschland

erstmalig eine erweiterbare flächendeckende Verteilungsübersicht (Isoscape) der stabilen Wasserisotope sowie der Tritiumkonzentrationen im Grundwasser zu erstellen. Die Daten werden Nutzern interaktiv, langfristig und ausbaufähig über eine Internetanwendung an der BGR zur Verfügung stehen. Anhand von ausgewählten Pilotstandorten werden Best Practice Anleitungen erstellt. Dabei wird die Praxistauglichkeit der Isotopenanwendungen für unterschiedliche Fragestellungen erprobt und aufgezeigt.

## ZWISCHENERGEBNISSE

Für die Datenanfragen wurde zunächst ein einheitliches Abfrageschema erarbeitet, um die später in der Datenbank erforderlichen und die optionalen Metadaten bestmöglich zu erfassen. Die Datenrecherche bei den 16 Bundesländern läuft intensiv und vorhandene Datensätze werden überwiegend manuell geprüft, aufbereitet und nach erfolgter Qualitätsprüfung Schritt für Schritt in die Datenbank iAqua an der BGR eingespielt.

Die Isotopendaten werden in der iAqua-Datenbank gesammelt. Die Datenbank steht den Pro-

### Laufzeit

01.03.2023 – 01.03.2026

### Verbundpartner

- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
- Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)
- CDM Smith Consult GmbH
- Hydroisotop GmbH
- Isodetect GmbH

### Koordination

PD Dr. Robert van Geldern  
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen  
Nürnberg (FAU), GeoZentrum Nordbayern  
(GZN), Lehrstuhl für angewandte Geologie  
Schlossgarten 5, 91054 Erlangen  
E-Mail: robert.van.geldern@fau.de

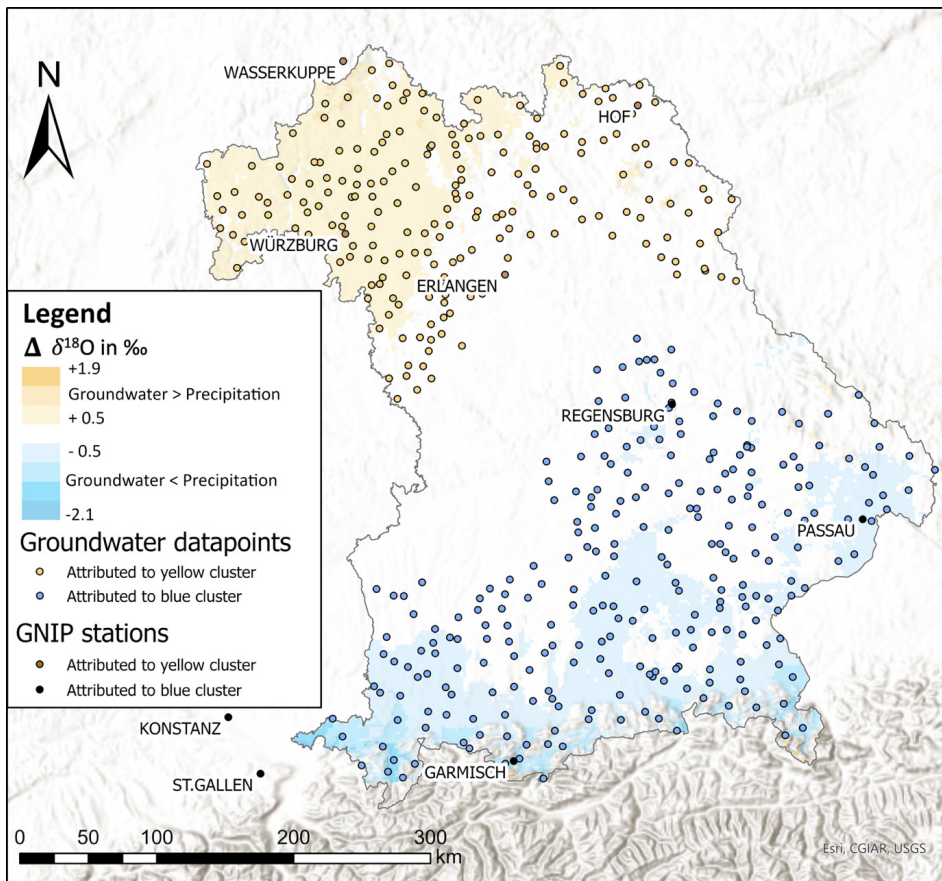
### Assoziierte Partner

- Fernwasserversorgung Franken (FWF)
- Landesamt für Umwelt (LfU) Bayern

### Webseite

<https://www.isogw.fau.de/>





Unterschiede ( $\Delta\delta$ ) zwischen der Isotopie des Niederschlags und der Grundwasser-Isotopendaten für Bayern. (Gaillard et al., under review). In den südlichen (blau) und nordwestlichen Regionen (orange) unterscheiden sich die Isotopenverhältnisse zwischen Niederschlag und Grundwasser teilweise deutlich. Dies ist durch verschiedene Prozesse bei der Grundwasserneubildung und die Lage der Neubildungsgebiete zu erklären.

jektpartnern intern in einer ersten Version zur Verfügung und wird kontinuierlich ergänzt.

Für Regionen, in denen bisher keine oder wenige Isotopendaten vorliegen, sollen zusätzliche Probenahmen erfolgen. Die Bundesländer Hessen, Niedersachsen, Saarland und Rheinland-Pfalz führen aktuell neue Probenahmen durch. Gespräche und Abstimmungen mit weiteren Bundesländern laufen. Die notwendige Logistik, wie Auswahl der Messstellen, Versand der Probenflaschen und Rücksendung der Proben wurde und wird laufend durch die Projektpartner in IsoGW organisiert. Die zugesandten Proben werden, in Abhängigkeit der verfügbaren Kapazitäten, auf die Isotopenlabore der Projektpartner aufgeteilt und kontinuierlich analysiert.

Für die Pilotstandorte zur Uferfiltration wurde ein Beprobungsplan entwickelt. Aktuell werden in Zusammenarbeit mit den örtlichen Versorgern an den Standorten Allgäu, Main und Berlin regelmäßige Probenahmen durchgeführt. Die Beprobung erfolgt in einem zeitlich engmaschigen Turnus. Darüber hinaus finden weitere Untersuchungen zur Oberflächenwasser-Grundwasserinteraktion in Lehmen (Mosel), zum Einfluss von Starkregen

in Wackersberg und zum Einfluss des Klimawandels mittels Daten aus Lysimeterstationen statt.

### AUSBLICK

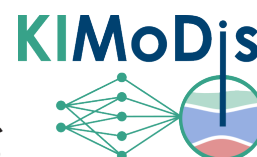
In der zweiten Hälfte des Projektes werden alle Arbeitspakete, insbesondere die Datenrecherche, Probenahme und die Untersuchungen an den Pilotstandorten fortgeführt und, wo erforderlich, nochmals intensiviert. Dies betrifft insbesondere Bundesländer, aus denen bislang nur wenige oder keine Isotopendaten vorliegen.

Darüber hinaus wird im Projekt aktuell eine sozialwissenschaftliche Nutzerstudie durchgeführt. Dadurch können die Bedürfnisse künftiger Nutzer, hier insbesondere die Anforderungen und Wünsche der Wasserversorger, zur Datenbereitstellung besser berücksichtigt werden.

Ein wichtiger Fokus der zweiten Projektphase ist die Bereitstellung und Visualisierung der erhobenen Datensätze über eine Internetanwendung. Die technische Umsetzung hierzu wird aktuell intensiv diskutiert und zwischen den Bereichen „Informatik/IT“ und den Wünschen der Wissenschaft und Anwendungen aus dem Bereich der „Isotopenhydrologie“ abgestimmt.

## KIMoDis

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



## PROJEKTZIELE

Ziel des Projekts KIMoDis ist die Entwicklung eines auf Künstlicher Intelligenz (KI) basierenden Monitoring-, Datenmanagement- und Informationssystems zur kurz- (saisonal), mittel- (dekadisch) und langfristigen (bis zum Jahr 2100) Vorhersage von Grundwasserständen und -versalzung. Um die Übertragbarkeit des Ansatzes zu gewährleisten, werden Pilotgebiete auf verschiedenen räumlichen Skalen betrachtet: überregional das Bundesland Brandenburg, regional das Gebiet West-Hümmling sowie lokal die Einzugsgebiete der Wasserwerke Langoog, Ristedt und Potsdam. Durch die intensive Zusammenarbeit der Forschungspartner mit den Landesämtern und lokalen Wasserversorgern wird der Transfer innovativer KI-Ansätze aus der Forschung in die Praxis ermöglicht.

Der zu entwickelnde Prototyp eines nutzerspezifischen Entscheidungshilfe-Tools visualisiert nicht nur den aktuellen Grundwasserstand, sondern zeigt zudem standortspezifisch auch eine Bandbreite relevanter Klima- und Nutzungsszenarien und soll frühzeitig vor Grundwasserniedrigständen warnen. Dadurch wird eine intelligente Planung von Gegenmaßnahmen ermöglicht und ein nachhalti-

ges Grundwassermanagement sichergestellt.

## ZWISCHENERGEBNISSE

Zur Vorbereitung der Messnetzausrüstung mittels Datenloggern wurden umfangreiche Messnetzanalysen durchgeführt. Für das Grundwasserstandsmessnetz des Bundeslandes Brandenburg beinhaltete dies eine Trendanalyse sowie eine Defizitanalyse in Bezug auf die räumliche Verteilung der Messstellen in unterirdischen Einzugsgebieten und Grundwasserleiterkomplexen. Ein weiterer Schritt umfasste die Anwendung eines KI-basierten Ansatzes zur Messnetzoptimierung, um Ganglinien zu identifizieren, die eine außergewöhnliche Dynamik besitzen, welche sich nicht aus anderen Messstellen ableiten lässt. Auch für hydrogeochemische Zeitreihen der beiden Salinarmessnetze Brandenburgs wurden genetische Bewertungen durchgeführt, um den möglichen Einfluss salinärer Tiefenwässer zu quantifizieren. Mit dem Ziel, die Vorhersagegenauigkeit bestehender Modelle zu erhöhen, wurden zusätzliche klimatische Inputvariablen, wie die potenzielle Evapotranspiration, Bodenfeuchte und Telekonnektionsindizes (beispielsweise für El Niño und Nordatlantik-Oszillation) extrahiert. Um den phänologischen Zustand der landwirtschaftlichen

## Laufzeit

01.03.2023 – 28.02.2026

## Verbundpartner

- Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)
- Deutscher Wetterdienst (DWD)
- Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
- Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen (LBEG)
- Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR)
- Landesamt für Umwelt (LfU) Brandenburg

· Mapular UG

· Technische Universität München (TUM)

## Koordination

Dr. Stefan Broda

*Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)*

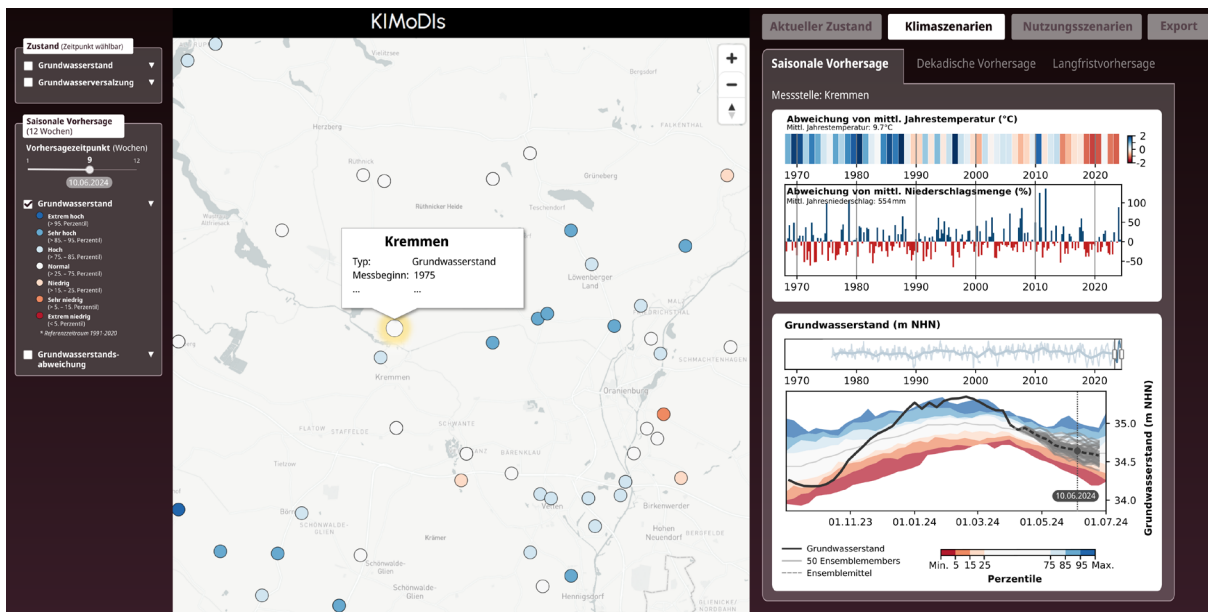
Wilhelmstr. 25-30, 13593 Berlin

E-Mail: stefan.broda@bgr.de

## Webseite

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





**Abbildung 1:** Der zu entwickelnde Prototyp eines nutzerspezifischen Entscheidungsunterstützungssystems (Decision Support System, DSS) visualisiert standortspezifisch eine Bandbreite relevanter Klima- und Nutzungsszenarien sowie weitere wesentliche Hintergrundinformationen. Quelle: BGR

Kulturpflanzen in die Modelle zu integrieren, wurde ein neuartiger Workflow zur Aufbereitung zeitlich hochaufgelöster Satellitendaten erstellt. Der konzipierte Python-Client erlaubt es, mittels Cloud-Architektur Sentinel-2-Daten für beliebige Zeiträume und ausgewählte räumliche Bereiche herunterzuladen.

Zur besseren Vorhersage von Grundwasserstand und -versalzung wurden neuartige ML-Modellansätze konzipiert. Dies beinhaltet zum einen Multi-Target-Modelle zur gekoppelten Vorhersage von Grundwasserstand und Versalzung (elektrische Leitfähigkeit) basierend auf Zeitreihen von Datenloggern im Pilotgebiet Langeoog. Des Weiteren wurde erstmalig ein globaler Ansatz zur saisonalen Grundwasserstandsprognose angewendet, welcher neben dynamischen meteorologischen Eingangsvariablen auch statische standortspezifische Umwelteigenschaften verwendet, um Zusammenhänge zwischen Messstellen mit ähnlichen Umweltcharakteristika zu generalisieren und präzisere Vorhersagen zu ermöglichen.

Erste Schritte bei der Entwicklung des Entscheidungsunterstützungstools lagen bei der Einrichtung der technischen Infrastruktur und der Konzeptualisierung der Frontend-Anwendung. Letztere umfasst eine interaktive Karte der aktuellen und prognostizierten Grundwasserstände sowie weitere zusätzliche räumliche Informationen (z.B. Wasserschutzgebiete). Um die Bedarfe der Nutzer schon während des Entwicklungsprozesses des Prototyps

zu berücksichtigen, wurden im Rahmen der Nutzererfahrungsforschung (User Experience - UX) Nutzerinterviews mit den Landesämtern durchgeführt.

## AUSBLICK

Im nächsten Schritt wird ein Clustering-Workflow genutzt, um für ein Gebiet repräsentative Grundwassermessstellen zu identifizieren. Grundlage hierfür sind Zeitreiheneigenschaften der Grundwasserganglinien, die deren jeweilige Dynamik beschreiben. Bezüglich der Auswahl der Messstellen zur Installation weiterer Datenlogger wird unter anderem eine Hauptkomponentenanalyse der Ganglinien zur Identifizierung anthropogen beeinflusster Messstellen durchgeführt. Bestehende ML-Modelle werden kontinuierlich für die verschiedenen Bedarfe weiterentwickelt. Dank der zusätzlichen klimatischen Eingangsvariablen wird untersucht, welche dieser dynamischen Parameter zu verbesserten Grundwasserstandsprognosen führen können. Auch ein exemplarischer Vergleich der Prognosen von numerischen Strömungsmodellen und datenbasierten ML-Modell wird für die Region West-Hümmling erarbeitet. Weitere Entwicklungen der ML-Modelle umfassen inverse Ansätze zur Multiskalen-Feature-Attribution des Einflusses der Bewässerungslandwirtschaft auf die Grundwasserstandsentwicklung. Neben den Klimaszenarien werden zudem für die drei Wasserwerksstandorte auch verschiedene Befahrungsszenarien der Brunnen und deren Einfluss auf den Grundwasserstand (und -versalzung) simuliert.

PFClean

## Innovatives modulares System zur nachhaltigen Reduzierung von PFAS-Kontaminanten aus Boden und Grundwasser



**Abbildung:** Immobilisierung der ungesättigten Bodenzone am Pilotstandort Hügelsheim. Das Sorptionsmittel wurde in definierter Masse pro Fläche aufgebracht und mit definiertem Wasservolumen pro Bodenvolumen durchmischt

Quelle: Hue Nguyen, 2024

### PROJEKTZIELE

Das Projekt PFClean zielt darauf ab, verschiedene Ansätze zur Entfernung von PFAS aus Boden und Grundwasser weiterzuentwickeln und zu erproben. Der Fokus liegt dabei auf sogenannten in-situ Sanierungstechnologien. Das bedeutet, dass sie vor Ort direkt an der Quelle der Verunreinigung eingesetzt werden können. Pilotstandorte für dieses Projekt sind landwirtschaftlich genutzte Flächen im Rheintal bei Rastatt/Baden-Baden sowie eine punktuelle Grundwasserbelastung mit Feuerlöschschäumen in Reilingen.

Bei einem der im Projekt erprobten Ansätze geht es darum, die Sorptionskapazität des Bodens zu erhöhen. Dafür mischen die Forschenden bestimmte, zum Beispiel aktivkohlehaltige, Substanzen unter den Boden. Damit soll dessen Rückhaltevermögen gegenüber PFAS erhöht und der Eintrag ins Grundwasser minimiert werden. Außerdem untersuchen die Projektbeteiligten das Ausschleusen der PFAS mit Funnel & Gate-Systemen. Dabei bringen sie wasserdichte Wände in den Untergrund ein, die wie ein Trichter die Grundwasserströmungsrichtung steuern. An einer zentralen Stelle, dem Gate, werden die

PFAS zurückgehalten und ausgeschleust. Eine weitere Möglichkeit ist die Anregung des biologischen Abbaus schädlicher Stoffe: Dabei testen die WissenschaftlerInnen, inwieweit Verhältnisse im Boden geschaffen werden können, die den Abbau von PFAS-Vorläuferverbindungen durch Mikroorganismen verbessern. Der mikrobielle Abbau von Vorläuferverbindungen zu nicht-schädlichen Endabbauprodukten soll durch leichte Temperaturerhöhungen und Zugabe von Elektronenakzeptoren, beispielsweise Nitrat, die als Energiequelle für Mikroorganismen dienen, stimuliert werden.

### ZWISCHENERGEBNISSE

Bei der analytisch-methodischen Entwicklung von Screening-Ansätzen für PFAS und Transformationsprodukte für die Pilotstandorte konnten am Standort Reilingen mit AFFF-Kontamination für das Nontarget-Screening angepasste Extraktionsmethoden etabliert und mit LC-HRMS 124 PFAS aus 42 Substanzklassen identifiziert werden. Diese AFFF-Kontaminanten werden auch bei den laufenden Versuchen zur Immobilisierung und forcierten Mobilisierung berücksichtigt.

Zur Verbesserung der Kommunikation wurde ein Vorschlag für eine einheitliche Terminologie der AFFF-Substanzen entwickelt. Weiter wurde ein Modell für die Semi-Quantifizierung für diese Kontaminanten entwickelt und mit Ergebnissen des PhotoTOP-Assays kombiniert. Laborversuche zur thermischen Sanierung von PFAS in einem Rohofen zeigten bei Temperaturen höher als 250 °C beginnende Zersetzung der Modellschubstanz PFOA.

Insgesamt sind im Verbundprojekt ca. 1000 Proben aus Feld- und Laborversuchen geplant. Diese Proben werden mittels LC-MS/MS-Target-Analytik auf PFAS analysiert. Ausgewählte Proben werden zur Sichtbarmachung von Präkursoren mittels Analysenverfahren für summarische Parameter (TOP-Assay, EOF, AOF) untersucht. Daneben wird zur Erfassung sogenannter nicht extrahierbarer PFAS-Rückstände in Böden, die sich nicht mit gängigen Lösungsmitteln extrahieren lassen, an der methodischen Optimierung des direkten TOP-Assays (dTOP) als oxidativem Aufschlussverfahren gearbeitet. Ziel der Optimierung ist die Integration ultra-kurzketziger Perfluoralkylcarbonsäuren (TFA, PFPrA). Beim Clean-up-Schritt mittels Fest-Flüssig-Extraktion mit Acetonitril wurden bislang Wiederfindungen im Bereich von 50-100 % erzielt.

Zur Technologieentwicklung und Umsetzung an den Pilotstandorten liefen Vorversuche zur Auswahl der Sorptionsmittel sowohl bei der Immobilisierung als auch bei der Mobilisierung und Funnel&Gate. In Hügelsheim wurde der Standort charakterisiert und eine Teilfläche immobilisiert. Eine zweite Teilfläche als Referenz wurde ebenfalls instrumentiert und das PFAS-Ausbreitungs-

verhalten wird auf beiden Teilflächen im Boden, im Porenwasser und im Grundwasser beobachtet. Parallel laufen Ausbreitungsversuche unter kontrollierten Bedingungen (Grundwasserneubildungsrate) am natürlichen Boden aus Hügelsheim mit und ohne Sorptionsmittel. Zur Mobilisierung, den dabei entstehenden Transferprodukten und -raten sowie Elektrosorption wurden Vorversuche zur Dimensionierung der Technologien am Pilotstandort in Reilingen durchgeführt.

### AUSBLICK

Am Pilotstandort Hügelsheim überwachen wir das PFAS-Transportverhalten weiterhin mit dem Ziel, das Langzeitverhalten von PFAS in immobilisierten Flächen zu beurteilen. Zur Bestärkung der Beurteilung finden begleitende Versuche unter kontrollierten Bedingungen zur Adsorption und zum mikrobiellen Umbau statt.

Am Pilotstandort Reilingen wird im Herbst 2024 die Infrastruktur zur Mobilisierung und zur Elektrosorption aufgebaut. Das PFAS-Ausbreitungsverhalten wird dann bis Projektende evaluiert. Die dort demonstrierten Techniken sollen PFAS aus dem Grundwasser ausschleusen.

Weitere mikrobiologische Transformationsversuche zur Untersuchung der mikrobiellen Abbaubarkeit von PFAS (Präkursoren) in kontaminierten (und zusätzlich) dotierten Böden mit typischer PFAS-Belastung unter Variation von Temperatur und Elektronenakzeptoren (aerob, denitrifizierend) wurden gestartet.

Es finden Thermo-Desorptionsversuche im Labor- und Technikumsmaßstab statt um die Transformationsprodukte und -raten bei PFAS Einzelsubstanzen und Mischungen bei verschiedenen Temperaturen zu erkunden.

### Laufzeit

01.03.2023 – 28.02.2026

### Verbundpartner

- Arcadis Germany GmbH
- DVGW-Technologiezentrum Wasser
- Eberhard Karls Universität Tübingen
- Geiger Entsorgung GmbH und Co KG
- IEG Industrie-Engineering GmbH
- Sax + Klee GmbH Bauunternehmung

### Koordination

PD Dr. Claus Haslauer  
*Universität Stuttgart*  
 Pfaffenwaldring 61, 70569 Stuttgart  
 E-Mail: claus.haslauer@iws.uni-stuttgart.de

### Webseite

<http://uni-stuttgart.de/pfclean>

## StressRes

## Monitoring- und Modellsystem zur Beurteilung von Stress auf Grundwasserressourcen und Trinkwassermanagement



### PROJEKTZIELE

Das Projekt StressRes entwickelt ein ganzheitliches Verständnis und ein Modellsystem, das innovatives Echtzeitdaten-Monitoring, spezielle Modellkopplungen von Hydrologie, Hydrogeologie sowie land- und forstwirtschaftliche Flächennutzung und zukunftsorientierte Stresstestszenarien verbindet und anwendet. Ziel von StressRes ist es dabei, die räumlichen, politischen und ökonomischen Bedingungen und Stressoren auf die Resilienz der Wasserressourcen an sich sowie auf das Trinkwassermanagement zu analysieren.

Darüber hinaus soll das Monitoring und Systemverständnis hinsichtlich der Bedeutung von indirekter Grundwasserneubildung über Oberflächen-Grundwasser-Interaktion unter praxisnahen Bedingungen und Orientierung an regionalen Rahmenbedingungen einer Fallstudie verbessert werden. Ein wichtiger Bestandteil ist dabei die Entwicklung neuer fernabfragbarer Messsysteme für quantitative und qualitative Echtzeitdaten zur GW-Neubildung und Nitratkonzentration zur Schließung einer Digitalisierungslücke.

Die Erkenntnisse sollen dann in verallgemeinerbare digitale Stresstest-‘Ereignisszenarien‘ übersetzt werden, die neben hydro-klimatischen Ereignissen auch landwirtschaftliche Bewirtschaftung und konkurrierende Wassernutzungen in Dürrephasen sowie politische Regulierungen abbilden können. Hiermit soll die Erfolgs- und Nutzungsbereitschaft für neue digitale Lösungen in der Grundwasserbewirtschaftung verbessert werden, als Basis für Maßnahmen und Strategien zur Erhöhung der Resilienz von Trinkwassermanagement - regional im Studiengebiet sowie darüber hinaus.

### ZWISCHENERGEBNISSE

Im ersten Schritt wurden die Rahmenbedingungen der Trinkwasserversorgung in Deutschland

analysiert. Dabei konnte gezeigt werden, dass die naturräumlich unterschiedlichen Bedingungen – insbesondere hinsichtlich Hydrogeologie und Landnutzung – mit dem chemischen und mengenmäßigen Zustand des Grundwassers in Zusammenhang stehen. Dies ermöglicht erstmalig die deutschlandweite Klassifizierung der Vulnerabilität der Trinkwasserförderungen. Parallel konnte mit einer Politikfeldanalyse die Komplexität der Regelungswerke von europäischer bis zur kommunalen Ebene, die die konkrete Wassernutzung steuern, aufgeschlüsselt werden. Über fokussierte Interviews mit wichtigen Stakeholdern aus Landwirtschaft, Behörden und kommunalen Trinkwasserversorgern konnten unterschiedliche Schwerpunktthemen identifiziert werden, die für die nachhaltige Trinkwasserversorgung von besonderer Bedeutung sind.

Für das regionale Untersuchungsgebiet bei Freiburg im Breisgau wurde eine umfangreiche Datenbank mit hydrologischen Messreihen vieler verschiedener Messstellenbetreiber angelegt. Parallel wurden bereits zahlreiche Ergänzungsmessstellen in hoher räumlicher Auflösung angelegt. Diese dienen insbesondere der Erforschung der relevanten aber schwer quantifizierbaren Grundwasser-Oberflächenwasser-Interaktionen. Dabei wurden auch zahlreiche Versuchsreihen zu innovativen Messkonzepten (z.B. Thermalbilder aus Drohnenbefliegungen) durchgeführt. Auch bei der Sensorentwicklung für ein zukünftiges fernabfragbares, Echtzeit-Monitoring von Grundwasserquantität und –qualität konnten die meisten Komponenten bereits erfolgreich im Labor getestet werden. Ebenso wurden Lösungen für die Echtzeit-Datenübertragung aus dem Feld gefunden.

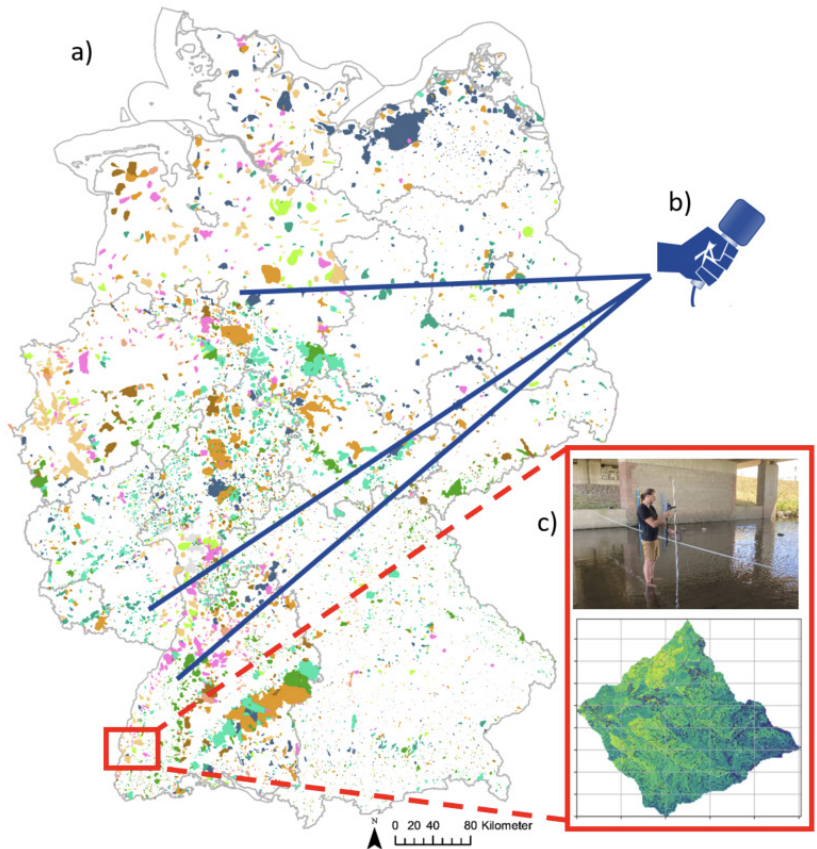
Für den zentralen Modellierungsteil des Projekts konnte das Wasserhaushaltsmodell RoGeR erfolgreich mit dem Grundwasserströmungsmodell

MODFLOW gekoppelt werden. An den vordefinierten Schnittstellen können die Modelle fortlaufend ihre Randbedingungen über das jeweils andere Modell aktualisieren. Für die notwendige Parametrisierung von RoGeR wurde darüber hinaus eine Schnittstelle zum agrarökonomischen Modell PALUD geschaffen. Dieses bestimmt auf Grundlage der gegebenen ökonomischen und naturräumlichen Bedingungen die Landnutzung für jeden landwirtschaftlichen Schlag. Mit dem so geschaffenen komplexen integrierten Modellsystem konnten erste präzise Modellläufe für einen Ausschnitt des Trinkwassereinzugsgebiets durchgeführt werden.

### AUSBLICK

Mithilfe der begonnen Messkampagnen sowie der noch in der Erprobung befindlichen neuen Sensoren sollen umfangreiche weitere Daten gewonnen werden, die einen neuen, hochaufgelösten Einblick in die Dynamiken von Boden-, Grund- und Oberflächenwasser sowie die damit verbundene Wasserqualität erlauben. Zusammen mit der vorliegenden Datenbank wird mit den Daten das integrierte Modellsystem evaluiert und kalibriert. Eine Akzeptanzanalyse für Maßnahmen des Trinkwasserschutzes in der Landwirtschaft wird derzeit online durchgeführt. Unter Einbezug relevanter Stakeholder werden im Rahmen von Workshops parallel Stresstests (sowohl in meteorologischer, als auch in sozioökonomischer Hinsicht) entwickelt, die mit dem Modellsystem analysiert werden. So können die entscheidenden Faktoren für eine nachhaltige Grundwassernutzung in Bezug auf Wassermenge und Wasserqualität identifiziert werden und Handlungsempfehlungen erarbeitet werden.

Abschließend werden die Ergebnisse der regio-



**Abbildung 1:** Untersuchungsräume und Methoden im StressRes-Projekt (schematisch). a) deutschlandweite Analysen zur Charakteristik von Trinkwassergewinnungsgebieten; b) sozialwissenschaftliche Forschung mit Befragungen und Workshop in ausgewählten verschiedenen Regionen; c) Felduntersuchungen und integrierte Modellierungen in spezifischem Wasserschutzgebiet.

Quelle: StressRes

nalen Datenerhebung und Modellierung verallgemeinert und mittels der Erkenntnisse aus den deutschlandweiten Klassifizierungen übertragbar gemacht. In einem interaktiven Webtool werden die Stresstests für die Stakeholder bereitgestellt und Best Practices für die nachhaltige Grundwassernutzung unter verschiedenen naturräumlichen und sozioökonomischen Bedingungen bereitgestellt.

### Laufzeit

01.04.2023 – 31.03.2026

### Verbundpartner

- TRUEBNER GmbH
- Universität Hohenheim
- WWL Umweltplanung und Geoinformatik GbR

### Koordination

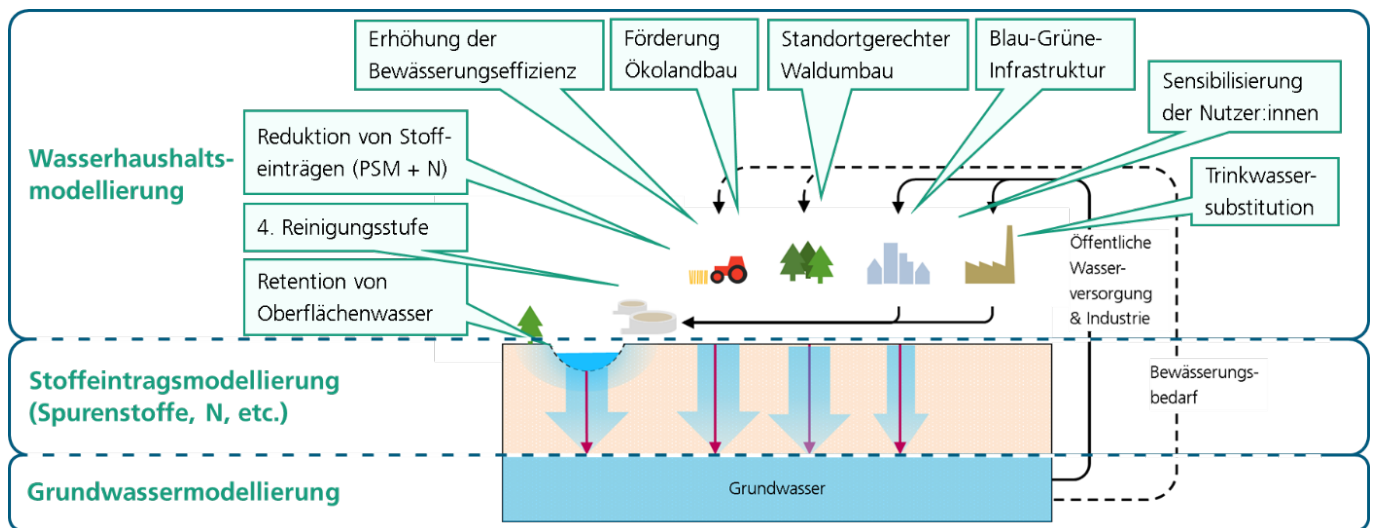
Prof. Dr. Kerstin Stahl  
 Universität Freiburg,  
 Friedrichstr. 39, 79098 Freiburg  
 E-Mail: kerstin.stahl@hydrology.uni-freiburg.de

### Webseite

<https://www.drought.uni-freiburg.de/stressres>

WaRM

# Grundwasserbewirtschaftung in Ballungszentren auf Basis eines Wasserversystemmodells am Beispiel der Metropolregion Frankfurt/Rhein-Main: Modellierung, Maßnahmen, Governance



**Abbildung** Schematische Darstellung der eingesetzten Modelle und Ansatzpunkte ausgewählter Maßnahmen.  
Quelle: Fraunhofer ISI.

## PROJEKTZIELE

Die stark grundwasserabhängige Metropolregion Frankfurt/Rhein-Main steht vor großen wasserwirtschaftlichen Herausforderungen aufgrund eines steigenden Wasserbedarfs (Wachstumsregion, Landwirtschaft, Auswirkungen des Klimawandels) sowie knapper und auch hinsichtlich der Qualität gefährdeter Wasserressourcen. Über ein Wasserversystemmodell, das wassermengen- und wasserqualitätsbezogene Modellierungen mit einem Policy-Ansatz verbindet, sollen geeignete Maßnahmen zur Steigerung von Wasserdargebot und -qualität und zur Verbesserung der Wassernutzungseffizienz identifiziert und bewertet werden. Dazu werden zeit- und skaldifferenzierende Maßnahmenoptionen herausgearbeitet und deren Einfluss auf das Grundwasser und den Wasserbedarf unter Einwirkung von Wandelszenarien modelltechnisch quantifiziert. Ziel ist ein auch auf andere Regionen übertragbarer integrierter Lösungsansatz. Ein besonderes Augen-

merk liegt dabei auf Transport- und Stoffumsetzungsprozessen (u.a. Nitrat) in ungesättigter und gesättigter Zone mit Modellerweiterungen auf Basis von Feld- und Laborarbeiten.

## ZWISCHENERGEBNISSE

In Bodenwasserhaushaltsberechnungen wurde für ein auf das Projektgebiet und die Fragestellung abgestimmtes Klimaensemble die Änderung der flächenhaften Grundwasserneubildung als maßgebliche Größe des Grundwasserdargebots für die nahe (bis 2050) und ferne Zukunft (bis 2100) ermittelt. Enthalten ist die Berechnung des variierenden Wasserbedarfs für landwirtschaftliche Kulturen. Die berechnete regionale mittlere Grundwasserneubildung zeigt bis 2050 überwiegend eine moderate Entwicklung. Für die ferne Zukunft zeigt sich eine große Bandbreite zwischen deutlicher Abnahme und deutlicher Zunahme. Insbesondere im Zeitraum bis 2100 weisen die Klimaprojektionen auf ausgeprägtere

mehrfährige Nass- und Trockenphasen hin, die für die Grundwasserbewirtschaftung im Untersuchungsgebiet maßgeblich sind. Das Klimaänderungssignal beim Bewässerungsbedarf in der Landwirtschaft wirkt vor allem durch einen Anstieg der Verdunstung in der Vegetationsperiode. Langfristig ist für alle berechneten Klimaprojektionen von einem Anstieg des Bewässerungsbedarfs bei gleicher Kulturführung auszugehen.

Im Rahmen der wasserqualitätsbezogenen Arbeiten wurden im Projektgebiet fünf Monitoringstationen installiert, um den Eintrag von Nährstoffen wie Nitrat sowie anorganischen und organischen Spurenstoffen in den Grundwasserleiter zu untersuchen. Vier Stationen befassen sich mit dem vertikalen Eintrag über die ungesättigte Zone, drei davon befinden sich auf landwirtschaftlichen Flächen mit unterschiedlichen Kulturen und Bodenarten und eine im Wald. Sie sind mit verschiedenen Sensoren zur Überwachung hydraulischer Kenngrößen sowie mit einer Reihe von Probenahmemöglichkeiten ausgestattet. Für einen Standort wurde bereits ein reaktives Stofftransportmodell erstellt und die Denitrifikationsraten (1. Ordnung) durch Parameteroptimierung bestimmt. Ergänzend zu diesen In-situ-Untersuchungen werden naturnahe Laborversuche unter Wahrung der Maßstabsfaktoren zwischen Labor- und Feldbereich durchgeführt, um Denitrifikationsraten und Abbauraten ausgewählter organischer Spurenstoffe für verschiedene Bodentypen selektiv ermitteln zu können. Die 5. Station befasst sich mit

der Infiltration von Oberflächenwasser, das einen hohen Anteil an geklärtem Abwasser aufweist. Sie besteht aus drei unterschiedlich weit vom Fluss entfernten Brunnen, die jeweils mit drei Entnahmestängen und unterschiedlich tiefen Filterstrecken ausgestattet sind.

Parallel wurden aus thematisch relevanten Strategiepapieren auf Landes- und Bundesebene Maßnahmen identifiziert, die alle betroffenen Themenfelder abdecken und im Rahmen der weiteren Arbeiten konkretisiert und bewertet werden.

### AUSBLICK

Die Arbeiten zu den Stoffumsetzungs- und Transportprozessen in gesättigter und ungesättigter Bodenzonen sind modellbasiert auf das Modellgebiet zu übertragen. Parallel ist eine Kopplung mit den weiter zu vertiefenden, wassermengenbezogenen Modellierungen erforderlich als Basis für die Bewertung der ausgewählten, unter Einbindung von Stakeholdern und unter Berücksichtigung verschiedener Wandelprozesse (Klima, Demografie, Wirtschaft, Landwirtschaft) zu konkretisierenden Maßnahmen.

Für die notwendigen Analysen sowie die mit der Umsetzung verbundenen Akzeptanz- und Governance-Fragen wird unter anderem ein dynamisches Systemmodell erarbeitet, mit dem die Akteurssysteme der Maßnahmen und deren Entscheidungsheuristiken abgebildet und die Wechselwirkungen dargestellt werden sollen.

### Laufzeit

01.03.2023 – 28.02.2026

### Verbundpartner

- BGD Ecosax GmbH
- BGS Umwelt
- Hessenwasser GmbH & Co. KG
- Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt, Geologie (HLNUG)
- Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
- Technische Universität Darmstadt

### Assoziierte Partner

- Hessisches Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt, Weinbau, Forsten, Jagd und Heimat

- Kreis Groß-Gerau
- Stadt Frankfurt, Umweltamt
- Stadt Frankfurt, Untere Wasser- und Bodenschutzbehörde

### Koordination

Dr.-Ing. Thomas Hillenbrand  
*Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI)*  
 Breslauer Str. 48, 76139 Karlsruhe  
 E-Mail: thomas.Hillenbrand@isi.fraunhofer.de

### Webseite

[www.w-rm.de](http://www.w-rm.de)

## QUERSCHNITTSTHEMEN

## Klimaprojektionen/-szenarien



Quelle: iStock, no\_limit\_pictures

**EINFÜHRUNG**

Bei der Auftaktveranstaltung zur Fördermaßnahme LURCH im Mai 2023 war das Interesse zu zukünftigen Klimasimulationen groß, da in vielen LURCH-Verbundprojekten Klimavorhersagen und -projektionen angewendet werden.

Daher wurde beschlossen einen LURCH-übergreifenden Austausch zum aktuellen Stand der zukünftigen Klimasimulationen für Deutschland in Form eines Querschnittsthemas anzubieten, das vom DWD betreut wird.

**BISHERIGE AKTIVITÄTEN**

Bisher gab es ein Austauschtreffen am 19.07.2023, bei dem Dr. Andreas Paxian (DWD) die aktuellen Klimasimulationen für Deutschland vorstellte. Dies beinhaltete sowohl die Witterungs-, saisonalen und dekadischen Klimavorhersagen für die kommenden Wochen, Monate und Jahre als auch die Klimaprojektionen für die kommenden Jahrzehnte. Besonders die derzeitige Qualitätsprüfung der Klimadaten beim DWD stieß auf großes Interesse. Weiterhin stellten die beteiligten Projekte vor, welche zukünftigen Klimasimulationen sie aktuell nutzen.

Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer diskutier-

ten am Ende der Veranstaltung rege über eine mögliche Vereinheitlichung der verwendeten Klimaprojektionen, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse aus den verschiedenen Regionen zu erleichtern. Dabei wurde verdeutlicht, dass ein gewisses Maß an Flexibilität von Vorteil sein kann, um den individuellen Fragestellungen der Projekte gerecht zu werden. Am 03.09.2024 fand eine weitere Informationsveranstaltung statt, in der der DWD die aktuellen Entwicklungen zur Qualitätsprüfung und Klimaprojektions-Ensembles vorstellte.

**AUSBLICK**

Es wurde vereinbart, dass der Austausch weitergeführt wird und es weitere Treffen geben wird, sobald der DWD neue Entwicklungen im Bereich Klimavorhersagen (z.B. neue Variablen wie Bodenfeuchte oder potentielle Evapotranspiration) und Klimaprojektionen (z.B. eine neue Qualitätsprüfung oder neue Klimasimulationen) präsentieren kann.

**Verantwortlich:**

Dr. Andreas Paxian,  
Deutscher Wetterdienst

## QUERSCHNITTSTHEMEN

# Modellierung

### EINFÜHRUNG

Die nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung erfordert Werkzeuge, um den Zustand von Grundwasserkörpern quantitativ zu beschreiben und Vorhersagen für ihre zukünftige Entwicklung zu treffen. Hierzu sind computerbasierte Modelle unerlässlich. Deshalb enthalten die meisten Projekte der Fördermaßnahme LURCH Teilprojekte mit einem Schwerpunkt auf der Entwicklung und Anwendung von Modellen für die nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung. Die Modelle in den einzelnen Projekten unterscheiden sich jedoch zum Teil drastisch in ihrer Fragestellung, der berücksichtigten Prozesse und Systemkomponenten und ihrer Methodik. Das Querschnittsthema Modellierung dient dem Austausch zwischen Modelliererinnen und Modellierern der Projekte, um Schnittmengen zu identifizieren.

### BISHERIGE AKTIVITÄTEN

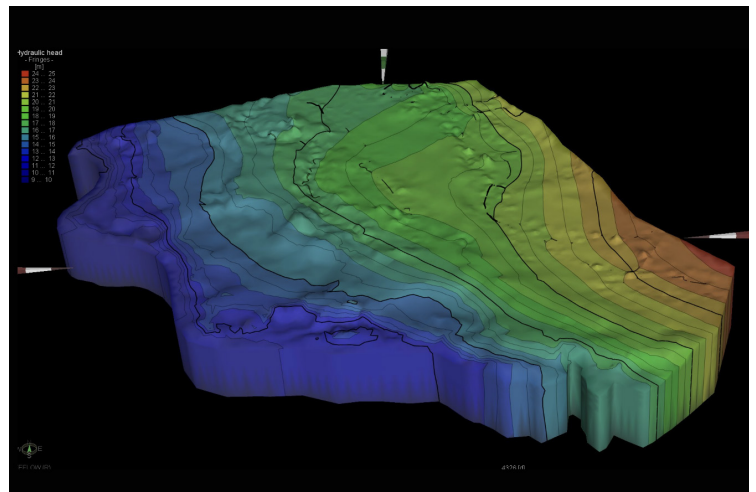
Es fand ein erstes virtuelles Treffen am 09.10.2023 statt, bei dem acht Projekte der Fördermaßnahme LURCH ihre Modellieraktivitäten vorstellten. Es konnten zahlreiche Themen identifiziert werden, bei denen ein bi- oder trilateraler Austausch zwischen einzelnen Projekten erstrebenswert ist, weil z.B. ähnliche Fragen bearbeitet werden oder gleiche Modellwerkzeuge zum Einsatz kommen. Als Gemeinsamkeiten zwischen mehreren Projekten wurden die Entwicklung von Entscheidungsunterstützungswerkzeugen, der Einsatz von Bodenwasserhaushaltsmodellen und die Stickstoffmodellierung identifiziert. Dies wurde in einer Umfrage unter den Forschenden der Projekte bestätigt.

Mit der Modellierung stark verknüpft ist das Forschungsdatenmanagement der Projekte. Deshalb wurde am 04.04.2024 eine virtuelle Informationsveranstaltung zum Datenmanagement in koordinierten Forschungsprojekten durchgeführt. Hierbei wurde über das Nationale Zentrum für Umwelt- und Naturschutzinformationen, über den Stand von NFDI4Earth (Nationale Forschungsdateninfrastruktur für Erdsystemwissenschaften) und am Beispiel eines Sonderforschungsbereichs über notwendige Elemente des Forschungs-

datenmanagements in interdisziplinären Verbundprojekten der Umweltforschung informiert. Außerdem fand am 06.06.2024 ein virtuelles Austauschtreffen zu Bodenwasserhaushaltsmodellen statt, auf dem unterschiedliche Modellkonzepte vorgestellt wurden. Innerhalb dieses Treffens wurden Schnittstellen zwischen den Projekten WaRM und GW\_4.0 identifiziert, welche in bilateralem Austausch weiterverfolgt werden.

### AUSBLICK

Die Heterogenität der zahlreichen Modellaktivitäten innerhalb der LURCH-Projekte bewirkt, dass Schnittmengen häufig nur zwischen zwei Projekten bestehen. Hierzu sind bilaterale Austauschformate am besten geeignet. Da viele Projekte Entscheidungsunterstützungswerkzeuge entwickeln wollen, ist eine Austauschveranstaltung zu diesem Thema für die zweite Hälfte der Förderphase vorgesehen.



Quelle: Soltau, G., Steinrücke, J., Schramm, P., Kleinke, M. (2020): Auswirkungen von Überschwemmungen, Hochwasserpoldern und Starkregen auf das Grundhochwasser, Deutsche Bundesstiftung Umwelt Hrsg., Aachen/Kleve.

### Verantwortlich:

Prof. Dr.-Ing. Olaf A. Cirpka, *Eberhard Karls Universität Tübingen, Fachbereich Geowissenschaften, Geo- und Umweltforschungszentrum*,  
Dr. Stefan Broda, *Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)*

## QUERSCHNITTSTHEMEN

## Sozialwissenschaftliche Fragestellungen in der Grundwasserforschung

## EINFÜHRUNG

Ein nachhaltiges Grundwassermanagement bedarf sowohl solider naturwissenschaftlicher als auch sozialwissenschaftlicher Forschung. Das Querschnittsthema „Sozialwissenschaftliche Fragestellungen in der Grundwasserforschung“ hat daher das Ziel, eine Austauschplattform für die sozialwissenschaftliche Expertise innerhalb der LURCH-Fördermaßnahme zu sein sowie die sozialwissenschaftliche Grundwasserforschung zu stärken und zu vernetzen. Folgende Fragen sind dabei leitend:

- Welchen Beitrag kann sozialwissenschaftliche Forschung im Kontext von nachhaltigem Grundwassermanagement leisten?
- Wie lässt sich sozialwissenschaftliche und naturwissenschaftliche Grundwasserforschung zusammenführen?
- Was sind Herausforderungen für die sozialwissenschaftliche Grundwasserforschung?

Die Idee eines alle 2 Monate stattfindenden Kolloquiums zur sozialwissenschaftlichen Grundwasserforschung, in dem aktuelle Forschungsergebnisse vorgestellt werden, hat großen Anklang gefunden. In 90 Minuten werden in zwei Vorträgen Einblicke in laufende Arbeiten oder Problemstellungen gegeben. Im Anschluss werden die übergeordneten Leitfragen diskutiert. Das Kolloquium soll dabei einen Arbeits- und Werkstattcharakter haben, der den Austausch ins Zentrum stellt. Daher richtet es sich nicht nur an die Wissenschaftler\*innen der LURCH-Fördermaßnahme, sondern an alle Interessierte aus Wissenschaft und Praxis.

Im letzten Kolloquium am 12.07.2024 ging es um Digitalisierung des Grundwassermanagements (StressRes) und um die Gestaltung von grenzüberschreitenden Grundwasserströmen (regulate). Weitere Themen für Kolloquien, die in der konstituierenden Sitzung identifiziert wurden, umfassen: Methodisches Vorgehen, Integration sozialwissenschaftlicher Aspekte und Ansätze in Modellsystemen, Wissenstransfer, Bürgerbeteiligung und der Umgang mit Ablehnung/Leugnung von wissenschaftlichen Erkenntnissen.

## AUSBLICK

Das nächste öffentliche Kolloquium ist für Oktober 2024 vorgesehen. Darüber hinaus adressiert ein Workshop der LURCH Statuskonferenz 2024 die Frage, wie Grundwasserschutz trotz starker Nutzungskonkurrenzen gewährleistet werden kann. Dabei soll der Austausch zwischen den LURCH-Projekten und weiteren externen Interessierten gestärkt werden. Aus der Diskussion können sich neue Impulse für das Querschnittsthema ergeben.



Quelle:  
iStock,  
Andrey Popov

## BISHERIGE AKTIVITÄTEN

Das erste Treffen fand am 11.04.2024 statt. Es nahmen die Projekte gwTriade, StressRes, WaRM, CHARMANT und IsoGW teil, welche ihre sozialwissenschaftlichen Arbeitspakete vorgestellt und sich über mögliche Formate und Formen der Zusammenarbeit im Querschnittsthema ausgetauscht haben. In der Diskussion wurden vor allem Konflikte und Gerechtigkeitsfragen thematisiert.

## Verantwortlich:

- Dr. Johanna Kramm, *Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE)*
- Dr. Sylvia Kruse, *Universität Freiburg, Professur für Forst- und Umweltpolitik (FUP)*

## QUERSCHNITTSTHEMEN

## Monitoringkonzepte

### EINFÜHRUNG

Die Überwachung der für die Wasserversorgung genutzten Ressourcen ist ein zentrales Element des Multi-Barrieren-Systems zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit. Klimaanpassung, größere Bandbreiten zu überwachender Substanzen und der gewachsene Stellenwert des Risikomanagements stellen immer größere Anforderungen an die Grundwasserüberwachung. Daher wurde das im Jahr 2003 erschienene DVGW-Arbeitsblatt W 108 grundlegend überarbeitet und der Anwendungsbereich erweitert. Der Fokus wurde von der Überwachung auf das umfassendere Monitoring verlagert und das Arbeitsblatt um die Betrachtung mengenmäßiger Aspekte erweitert. Die LURCH-Projekte mit ihren zahlreichen Monitoringtechniken geben hier die Möglichkeit, diese Techniken und ihre Kombinationen hinsichtlich komplementärer Aussagekraft zu überprüfen. Hauptziele sind damit (1) Welche Methoden lassen sich effizient zwischen den Verbänden kombinieren/verschneiden? (2) Welchen (zusätzlichen) Informationsgewinn gibt es bei der Kombination von Methoden? und (3) Wie lassen sich Methoden aufgabenspezifisch kombinieren?

### BISHERIGE AKTIVITÄTEN

Zunächst wurde über ein Online-Treffen eine Matrix mit den in den Projekten genutzten Monitoringverfahren erarbeitet. Dies hat gezeigt, dass über die verschiedenen Projekte alle wesentlichen Techniken zur Verfügung stehen. In einem Präsenzworkshop im Mai 2024 wurde die derzeitige Datengrundlage aus der Grundwasserüberwachung kritisch unter die Lupe genommen. Die Erhebung von Daten zur Grundwasserbeschaffenheit dient in den allermeisten Fällen einem vorher definierten Ziel. Es stellt sich die Frage, ob diese Daten aus der Grundwasserüberwachung darüber hinaus nutzbar gemacht werden können. Stellen KI-Verfahren bei der Datenauswertung ein Mittel dar, um diese Daten für investigatives Monitoring nutzbar zu machen? Welche weiteren Informationen sind zusätzlich erforderlich, um sinnvolle Ableitungen vornehmen zu können (z. B. Erhebung von und Anforderung an Metadaten)? Darüber hinaus wurden die Anknüpfungspunkte im Bereich



Messstationen am Rhein Quelle: iMolch

Monitoring zwischen den Projekten diskutiert. Erste Eckpunkte zum Entwurf eines Leitfadens für die Praxis nehmen konkrete Formen an.

### AUSBLICK

Es ist Ende 2024 ein weiterer Präsenzworkshop geplant, welcher sich nochmal intensiv mit den Möglichkeiten der Methodenkombination im Monitoring auseinandersetzen wird. Hier sollen die Erfahrungen und Möglichkeiten der Monitoringkonzepte der einzelnen Projekte weiter diskutiert und aufgearbeitet werden. Damit wird nahtlos an das Treffen vom Mai 2024 angeknüpft. Am Ende steht die Erarbeitung eines Leitfadens zum Thema Monitoring für eine nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung. Dies soll gleichzeitig auch als internationale wissenschaftliche Veröffentlichung erfolgen.

#### Verantwortlich:

- Prof. Dr. Tobias Licha, *Ruhr-Universität Bochum, Institut für Geologie, Mineralogie, und Geophysik*
- Prof. Dr. Henner Hollert, *Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main Institut für Ökologie*



[www.bmbf-lurch.de](http://www.bmbf-lurch.de)