



Nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung (LURCH)

Grundwasser ist ein wesentlicher Bestandteil des natürlichen Wasserkreislaufs und für den Menschen eine lebensnotwendige Wasserressource. In Deutschland werden etwa 70 Prozent des Trinkwassers aus Grundwasser gewonnen. Gleichzeitig birgt es ein vielfältiges und bislang noch wenig erforschtes Ökosystem, dessen Reinigungsfunktion ursächlich ist für die gute Wasserqualität im Untergrund. Grundwasser ist zudem wichtig für weitere Lebensräume, die daran gebunden sind.

Allerdings ist das Grundwasser in den letzten Jahrzehnten verstärkt unterschiedlichen Belastungen ausgesetzt: Die Folgen des Klimawandels, zunehmende Schadstoffeinträge durch Landwirtschaft, Kommunen und Industrie sowie eine übermäßige Wasserentnahme führen regional immer häufiger zu Problemen: Böden trocknen aus, Flusspegel und Grundwasserstände sinken, das Ökosystem wird beeinträchtigt. Das Ergebnis sind zunehmende Nutzungskonkurrenzen und -konflikte zwischen Trinkwasserversorgung, Land- und Forstwirtschaft, Industrie und Energiesektor. Diese gefährden den guten Zustand der Grundwassersysteme in Deutschland.

Vor diesem Hintergrund hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) die Förderrichtlinie Nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung (LURCH) auf den Weg gebracht. Ihr Ziel ist es, die nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung in Deutschland zu sichern. Zehn Verbundprojekte sind im Frühjahr 2023 gestartet. Sie entwickeln Technologien, Konzepte, Strategien und angepasste Lösungen in drei Themenfeldern: Grundwasserquantität, Grundwasserqualität und nachhaltige Bewirtschaftung. Dabei setzen die Projekte auf integrierte Ansätze, die sich am Bedarf der Praxis orientieren und eine hohe Beteiligung von Unternehmen, Verbänden und Behörden aufweisen. Die Fördermaßnahme läuft unter dem Dach des Bundesprogramms Wasser: N – Forschung und Innovation für Nachhaltigkeit und ist Teil der BMBF-Strategie Forschung für Nachhaltigkeit (FONA).

Das Vernetzungs- und Transfervorhaben LURCHPlus unterstützt die Arbeiten. Es übernimmt verbundprojektübergreifende, inhaltliche und organisatorische Aufgaben sowie die Öffentlichkeitsarbeit. Darüber hinaus bildet ein Lenkungskreis als begleitendes Gremium die Schnittstelle zwischen Forschung und Praxis und dient dem direkten

Wissens- und Informationsaustausch. Dem Lenkungskreis gehören externe Fachleute aus der wasserwirtschaftlichen Praxis an.

Nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung (LURCH)

Laufzeit der Fördermaßnahme

01.12.2022 - 31.05.2026

Ansprechpartner beim BMBF

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

Ansprechpartner beim Projektträger

Dr. Anna Xanke; Iris Bernhardt
Projektträger Karlsruhe (PTKA)
E-Mail: anna.xanke@kit.edu; iris.bernhardt@kit.edu

Internet

bmbf-lurch.de

Kontakt Vernetzungs- und Transfervorhaben LURCHPlus

Koordination

Dr. Thomas Track
DECHEMA e.V.
E-Mail: lurch@dechema.de

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Ressourcen, Kreislaufwirtschaft; Geoforschung
53170 Bonn

Stand

November 2023

Text und Gestaltung

Projektträger Karlsruhe (PTKA)

Druck

BMBF

Grafik

Projektträger Karlsruhe (PTKA)

bmbf.de

Übersicht der Untersuchungsstandorte der LURCH-Verbundprojekte



Quelle: PTKA

- 1 CHARMANT
- 2 gwTriade
- 3 GW_4.0
- 4 iMolch
- 5 IsoGW

- 6 KIMoDis
- 7 NitratLurch
- 8 PFClean
- 9 StressRes
- 10 WaRM



CHARMANT – Charakterisierung, Bewertung und Management von urbanen Grundwasserleitern

Nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung (LURCH)

Grundwasser in Städten weist auf kleinem Raum unterschiedliche Eigenschaften auf, die sich durch äußere Einflüsse auch schnell ändern können. So wirken sich etwa starke Wärmeeinträge durch aufgeheizte versiegelte Flächen, aus U-Bahnen und Tiefgaragen sowie Schadstoffeinträge auf den Zustand des Grundwassers aus. Dadurch kommt es zu Nutzungskonkurrenzen zwischen Entnahmen von Trink- und Brauchwasser aus dem Grundwasser und der Nutzung durch geothermische Anlagen. Das Verbundvorhaben CHARMANT entwickelt am Beispiel der Stadt Berlin Modellansätze und Strategien für eine vorausschauende und nachhaltige Bewirtschaftung von städtischen Grundwasserressourcen.

Grundwasser ganzheitlich betrachten

Der Ballungsraum Berlin wächst und wird auch als Industriestandort immer attraktiver. Das erhöht den Druck auf die Grundwasserressourcen. Immer mehr Trinkwasser wird benötigt, um die Versorgung einer steigenden Einwohnerzahl bei gleichzeitig abnehmender Grundwasserneubildung und einer Zunahme klimatischer Extreme zu sichern. Hinzu kommen geothermische Anlagen im Untergrund, deren Zahl im Hinblick auf Klimaschutzpolitische Vorgaben stetig wächst. Wärmequellen wie asphaltierte Flächen, Bürotürme, U-Bahnen oder Tiefgaragen führen besonders in Städten zu einem Temperaturanstieg im Grundwasser. Das stellt möglicherweise eine Herausforderung für die hydrochemischen und biologischen Verhältnisse dieser unterirdischen Ressource dar. Sie ist Lebensraum für vielfältige, hochangepasste Mikroorganismen und höhere Wirbellose, die eine große Bedeutung für die Wasserqualität haben können.

Bisher werden in der Raum- und Stadtplanung Fragen des Grundwasserzustandes und -schutzes zumeist im Kontext der Altlastensanierung und der Abgrenzung von Wasserschutzgebieten thematisiert. In jüngerer Zeit spielt auch das Thema der Grundwasserstände eine größere Rolle im Zusammenhang mit Fragen wassersensibler Stadtplanung: Zum Beispiel bei der sogenannten Schwammstadt, die Wasser nach Bedarf speichert und abgibt. Die Rolle und Bedeutung des thermischen und ökologischen Zustands von Grundwasser ist allerdings bisher kaum systematisch untersucht worden und in die räumliche Planung eingeflossen, insbesondere in Bezug auf städtische Räume.

Um eine zukunftsfähige Stadtentwicklung zu ermöglichen und gleichzeitig die Grundwasserökosysteme wirksam zu schützen, entwickelt das Verbundprojekt CHARMANT Maßnahmen für einen ganzheitlichen urbanen Grundwasserschutz am Beispiel Berlins.

Informationen für Behörden und Einwohner

Die Projektbeteiligten planen im ersten Schritt den Aufbau eines online Messnetzes, um zeitlich und räumlich hochaufgelöste Grundwasserdaten zu gewinnen. Zusammen mit den umfassenden und langjährigen Datensätzen der Berliner Grundwasserüberwachung können damit die Randbedingungen und die Dynamik des urbanen Grundwasserökosystems besser analysiert und charakterisiert werden. Anhand von 3D-Computermodellen des Untergrunds und des Grundwassers wollen die Forschenden den Zustand des Grundwassers unter veränderlichen Rahmenbedingungen sowie mögliche zukünftige Auswirkungen



Dichte Bebauung und Oberflächenversiegelung führen nicht nur zu einem Anstieg der Lufttemperaturen, sondern wirken sich auch auf die Temperatur im Grundwasser und damit auf die städtischen Grundwasserökosysteme aus.

auf die Grundwasserökosysteme abschätzen. Die Modelle erlauben nicht nur eine Bewertung des momentanen ökologischen Zustands des Grundwassers, sondern zeigen auch, wie anpassungsfähig es gegenüber klimatischen und städtebaulichen Änderungen ist.

Basierend auf den gewonnenen Daten und Erkenntnissen entwickeln die Forschenden ein Verfahren für die Planung und die Bewirtschaftung von Grundwasserleitern in Städten. Dessen Praxistauglichkeit wird durch die Erprobung an konkreten Fragestellungen der Grundwasser- und Untergroundnutzung sichergestellt. Dabei werden auch regulatorische und rechtliche Aspekte der Raum- und Umweltplanung berücksichtigt. Begleitend werden Aktivitäten zur Umweltkommunikation durchgeführt, um Bürgerinnen und Bürger für das Ökosystem Grundwasser zu sensibilisieren und in Entscheidungs- und Planungsprozesse einzubinden.

Für Berlin und andere Städte

Das in CHARMANT entwickelte Verfahren für ein ganzheitliches Grundwassermanagement soll als wichtiger Baustein in die klimaangepasste Stadt- und Raumplanung und Genehmigungsverfahren integriert werden und als Blaupause für andere Städte dienen können. Die Ergebnisse und Methoden sollen zudem in die Fortschreibung der EU-Wasserrahmenrichtlinien fließen, sodass zukünftig thermische und biologische Kriterien bei der qualitativen Zustandsbewertung des Grundwassers in ganz Europa berücksichtigt werden können.



Grundwasserprobennahme an einer für Berlin typischen Schwengelpumpe. Für die Umweltkommunikation werden diese Probennahmen in Maßnahmen der Öffentlichkeitsarbeit eingebunden.

Fördermaßnahme

Nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung (LURCH)

Projekttitel

Charakterisierung, Bewertung und Management von urbanen Grundwasserleitern (CHARMANT)

Laufzeit

01.03.2023 – 28.02.2026

Förderkennzeichen

02WGW1666A-G

Fördervolumen des Verbundprojektes

1.857.134 Euro

Kontakt

Dr. Kathrin Menberg
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Kaiserstraße 12
76131 Karlsruhe
Telefon: +49 (0) 721 608-43414
E-Mail: menberg@kit.edu

Projektpartner

Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland, Landesverband Berlin e.V. (BUND), Berlin
Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V., Dresden
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Geowissenschaften und Geographie, Halle (Saale)
SEBA Hydrometrie GmbH & Co. KG, Kaufbeuren
Senatsverwaltung für Verkehr, Mobilität, Klimaschutz und Umwelt, Abteilung Integrativer Umweltschutz, Berlin
Universität Stuttgart, Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung, Stuttgart

Internet

ingeo.agw.kit.edu/69_573.php

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Ressourcen, Kreislaufwirtschaft; Geoforschung
53170 Bonn

Stand

November 2023

Text und Gestaltung

Projekträger Karlsruhe (PTKA)

Druck

BMBF

Bildnachweise

Vorderseite: K. Menberg
Rückseite: C. Schweer, BUND Berlin e.V.

bmbf.de



GW 4.0 – Klimaangepasste Grundwasserbewirtschaftung durch Echtzeit-Planungs-Tools und modellbasierte Zukunftsszenarien

Nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung (LURCH)

Der Klimawandel, Veränderungen in der Landnutzung sowie die Wirtschafts- und Bevölkerungsentwicklung haben Auswirkungen auf die nachhaltig nutzbaren Wassermengen und den Wasserbedarf in Grundwasserleitern. Das Verbundprojekt GW 4.0 entwickelt Instrumente zur Unterstützung von Wasserversorgern und Behörden, um den operativen Betrieb und die langfristige Planung der Grundwasserbewirtschaftung zu optimieren. Mithilfe mathematischer Berechnungsmodelle simulieren die Beteiligten mögliche Szenarien des Klima- und Landnutzungswandels in ihrem Untersuchungsgebiet und darauf angepasste Bewirtschaftungsstrategien. Die Projektionen zur voraussichtlichen Entwicklung maßgebender Faktoren für das Grundwasserdargebot und die Grundwasserqualität und ein Simulationsmodell für kurzfristige bis saisonale Planungen sollen über eine webbasierte Informations- und Planungsplattform zur Verfügung gestellt werden.

Zukunftsszenarien für das Untersuchungsgebiet

In Süddeutschland zeigen sich seit 2003 abnehmende Jahresniederschläge und bereits seit Ende der Achtzigerjahre ein Anstieg der mittleren Jahrestemperatur. Das Ergebnis ist eine deutlich verringerte Grundwasserneubildung, die mit dem Klimawandel noch weiter abnehmen wird. Viele Feldfrüchte werden daher stärker bewässert werden müssen. Die veränderten klimatischen Bedingungen beeinflussen auch die Grundwasserqualität. Diese Faktoren erschweren die nachhaltige Bewirtschaftung von Grundwasserressourcen und verstärken saisonale Nutzungskonflikte zwischen Haushalten, Industrie und Landwirtschaft.

Damit der Schutz und die Nutzung von Grundwasserressourcen auch in Zeiten des Klimawandels sichergestellt werden können, müssen zum einen langfristige Trends beim Grundwasserdargebot und der Nachfrage abgeschätzt werden. Zum anderen sind Werkzeuge notwendig, die die aktuellen Ressourcen berechnen und saisonale Vorhersagen treffen, wie sich zu erwartende Entnahmen verschiedener Nutzergruppen auswirken und gegenseitig beeinflussen. Dies ermöglicht es, bei Bedarf Prioritäten für die Grundwassernutzung festzulegen.

Das Verbundprojekt GW 4.0 entwickelt solche Planungs- und Entscheidungshilfen auf Grundlage verschiedener mathematischer Prognosemodelle für das Obere Gäu und das Neckartal bei Tübingen. Die Forschenden orientieren sich dabei an Zukunftsszenarien, die im engen Austausch mit den lokalen Akteuren festgelegt werden. Die Szenarien

bilden die künftige Entwicklung aller planungsrelevanten Parameter in Bezug auf Klima, Wasserbedarf und Landnutzung im Untersuchungsgebiet ab.

Mathematische Prognosemodelle

Die für die langfristigen Planungen der Versorgungsinfrastruktur und von Bewirtschaftungsstrategien notwendigen Prognosemodelle erarbeitet das Projektteam auf Basis von Vorarbeiten in früheren Projekten und den Ergebnissen des aktuellen Masterplans Wasserversorgung Baden-Württemberg. Mit den Modellen können die Forschenden das Wasserdargebot, den Bewässerungsbedarf verschiedener Feldfrüchte und Bewirtschaftungsmaßnahmen simulieren. Dies ermöglicht es ihnen zu überprüfen, inwieweit mit der vorhandenen Infrastruktur eine nachhaltige Wasserversorgung langfristig möglich ist. Dabei werden auch Nutzungskonflikte und wirtschaftliche Aspekte berücksichtigt.



Brunnenschacht des Pumpwerkes Kiebingen im Untersuchungsgebiet

Die entwickelten Modellwerkzeuge werden gekoppelt und in ein online Planungswerkzeug für das Untersuchungsgebiet integriert. Mit dem Planungswerkzeug können Nutzende eigene Berechnungen für die kurzfristige bis saisonale Planung von Grundwasserentnahmen durchführen. Damit stünde Wasserversorgern und Behörden erstmals ein online Echtzeit-Planungswerkzeug als nutzerfreundliche Entscheidungshilfe zur Verfügung, um Bewilligungsverfahren zu unterstützen und den Betrieb auf der Grundlage wissenschaftlich fundierter Prognosen zu steuern.

Webbasiertes Informations- und Planungsinstrument

Das im Verbundprojekt GW 4.0 entwickelte webbasierte Informations- und Planungsinstrument kann nach Projektabschluss unmittelbar eingesetzt werden. Die potenziellen Nutzenden können es selbst betreiben, was aus wirtschaftlicher und operativer Sicht vorteilhaft ist. Das entwickelte Vorgehen bietet sich gleichzeitig auch als Blaupause für den Aufbau landes- und bundesweiter Instrumente und Plattformen für die modellbasierte Bewirtschaftung von Grundwasserressourcen an.

Fördermaßnahme

Nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung (LURCH)

Projekttitel

Klimaangepasste Grundwasserbewirtschaftung durch Echtzeit-Planungs-Tools und modellbasierte Zukunftsszenarien (GW 4.0)

Laufzeit

01.03.2023 – 28.02.2026

Förderkennzeichen

02WGW1670A-F

Fördervolumen des Verbundprojektes

1.310.479 Euro

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Olaf A. Cirpka
Eberhard-Karls-Universität Tübingen
Geo- und Umweltforschungszentrum
Schnarrenbergstraße 94-96
72076 Tübingen
Telefon: +49 (0) 7071-29 78928
E-Mail: olaf.cirpka@uni-tuebingen.de

Projektpartner

Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH,
Leinfeldern-Echterdingen
Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, Karlsruhe
Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg,
Karlsruhe
Universität Hohenheim, Fachgebiet Biogeophysik, Stuttgart
Zweckverband Ammertal-Schönbuchgruppe, Holzgerlingen

Internetuni-tuebingen.de/de/244405**Herausgeber**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Ressourcen, Kreislaufwirtschaft; Geoforschung
53170 Bonn

Stand

November 2023

Text und Gestaltung

Projekträger Karlsruhe (PTKA)

Druck

BMBF

Bildnachweis

Ralf Götsche, Ammertal Schönbuch Gruppe



gwTriade – Ökologisches und ökotoxikologisches Grundwasserqualitätsmonitoring auf Basis eines integrativen Triade-Ansatzes

Nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung (LURCH)

Deutschland gewinnt 70 Prozent seines Trinkwassers aus Grundwasser. Gut ein Drittel aller Grundwässer verfehlen jedoch aufgrund von Schadstoffbelastungen die EU-Qualitätsanforderungen für den chemischen Zustand. Dies kann das Ökosystem Grundwasser sowie die Trinkwasserversorgung nachhaltig beeinträchtigen. Das Verbundprojekt gwTriade entwickelt ein integriertes Bewertungskonzept für Grundwassersysteme. Es kombiniert ökotoxikologische Biotestverfahren, chemische Analytik und eine Untersuchung der im Grundwasser lebenden Tierarten. Zusätzlich werden gesellschaftliche Zielvorstellungen zur Grundwassernutzung einbezogen.

Sauberes Grundwasser für Umwelt und Mensch

36 Prozent aller Grundwässer in Deutschland verfehlen den von der europäischen Wasserrahmenrichtlinie geforderten guten chemischen Zustand. Gründe hierfür sind beispielsweise Einträge von Abwasser sowie aus Verkehr und Landwirtschaft. Zu den eingetragenen vorwiegend anthropogenen (menschengemachten) Spurenstoffen zählen unter anderem Pharmaka, Pflanzenschutzmittel und perfluorierte Stoffe (PFAS). Durch die spezifischen Gegebenheiten des Grundwassers, wie tiefe Temperaturen und geringere Abbauvorgänge, sind Fremdstoffe im Untergrund langlebiger als im Oberflächenwasser. Das wirkt sich negativ auf das Ökosystem Grundwasser mit den dort lebenden Organismen aus. Diese tragen dazu bei, das Grundwasser zu reinigen und sind somit sehr wichtig für die Trinkwasserversorgung.

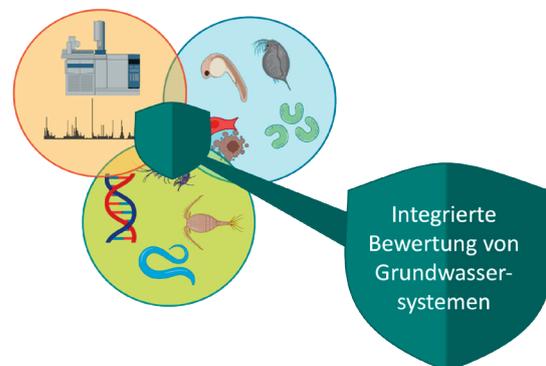
In der aktuellen Praxis wird Grundwasser lediglich als Ressource behandelt, nicht jedoch hinsichtlich des ökologischen Zustandes bewertet. Die Biodiversität spielt somit keine Rolle für den Grundwasserschutz. Zudem beschränkt sich die Erfassung des chemischen Zustands auf wenige Schadstoffgruppen, die nicht die tatsächliche Spurenstoffbelastung des Grundwassers widerspiegeln. Was fehlt, ist ein umfassendes Bewertungssystem, das frühzeitig Hinweise auf eine schlechte Qualität erlaubt.

Um das Ökosystem Grundwasser in Zukunft ausreichend schützen und weiterhin eine sichere Trinkwasserversorgung gewährleisten zu können, erweitert das Verbundprojekt gwTriade das vorhandene Bewertungskonzept um wichtige Qualitätskriterien. Dafür nehmen die Beteiligten

die vielfältigen anthropogenen Einflüsse auf das Grundwasser in den Blick, identifizieren Schlüsselschadstoffe und entwickeln geeignete Testverfahren, um die Auswirkungen dieser Stoffe auf die Artenvielfalt im Grundwasser zu bewerten.

Ganzheitliche Bewertung

Das im Projekt entwickelte integrierte Bewertungskonzept basiert auf einem Triadeansatz. Er kombiniert standardisierte ökotoxikologische Biotestverfahren mit chemischer Analytik und einer Untersuchung der Grundwasser-Lebensgemeinschaften. Die naturwissenschaftlichen Bewertungskriterien überprüfen die Forschenden zusätzlich mittels sozialökologischer Methoden. Damit soll ein Bezug zu gesellschaftlichen Zielvorstellungen hinsichtlich



Das Projekt gwTriade entwickelt ein ganzheitliches Bewertungskonzept für Grundwassersysteme. Es kombiniert standardisierte ökotoxikologische Biotestverfahren mit chemischer Analytik und der Untersuchung von Grundwasser-Lebensgemeinschaften.

Nutzung und zum Schutz des Grundwassers hergestellt werden. Auf diese Weise ist es möglich, den Zustand des Grundwassers umfassend zu bewerten.

Als erste Säule des Triadeansatzes identifizieren die Forschenden besonders relevante Grundwasserschadstoffe, sogenannte Indikatorsubstanzen, die mit chemischer Analyse der Proben identifiziert werden. Sie haben dabei insbesondere (hoch)polare Stoffe im Blick, die gut wasserlöslich sind und daher als Indikatoren für die Gefährdung des Grundwasserökosystems dienen können. Innerhalb der zweiten Säule wird die biologische Vielfalt im Grundwasser umfassend untersucht. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler setzen dafür klassische morphologische Methoden ein, indem sie die gefundenen Organismen anhand der äußeren Gestalt und Form beschreiben. Zudem werden moderne eDNA-Methoden genutzt; hierbei wird die in der Umwelt vorliegende DNA analysiert.

Die letzte Säule des gwTriade-Konzepts umfasst die ökotoxikologische Bewertung der Grundwasserproben. Mit Hilfe von wirkungsbasierten Biotestverfahren analysieren die Forschenden, wie bestimmte Organismen auf chemische Stoffe in den Proben reagieren. Die Stoffe können beispielsweise hormonelle und neurotoxische Effekte haben. Die Verfahren werden an die grundwasserspezifischen Anforderungen angepasst und optimiert. Für die sozial-ökologische Bewertung ermittelt das gwTriade-Team die Praxisbedarfe, tauscht sich mit Praktikern aus und berücksichtigt unterschiedliche Zielvorstellungen bei der Grundwasserbewertung sowie mögliche Konfliktkonstellationen. Daraus können Mechanismen und Lösungsansätze zur Konfliktbewältigung abgeleitet sowie die im Projekt erarbeiteten naturwissenschaftlichen Bewertungskriterien in Bezug auf gesellschaftliche Zielvorstellungen geprüft und priorisiert werden.

Handlungsempfehlungen

Mit dem in gwTriade entwickelten ganzheitlichen Bewertungskonzept für Grundwassersysteme soll es möglich sein, Beeinträchtigungen der unterirdischen Ressourcen durch unerwünschte Schadstoffe frühzeitig festzustellen und nach einem einheitlichen Konzept chemisch, ökotoxikologisch und ökologisch zu beurteilen. Auf Grundlage der Ergebnisse wollen die Projektbeteiligten zielgruppenspezifische Handlungsempfehlungen für potenzielle Anwender wie Wasserversorger, Verbände oder Naturschutzbehörden erarbeiten.

Fördermaßnahme

Nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung (LURCH)

Projekttitel

Ökologisches und ökotoxikologisches Grundwasserqualitätsmonitoring auf Basis eines integrativen Triade-Ansatzes (gwTriade)

Laufzeit

01.03.2023 – 28.02.2026

Förderkennzeichen

02WGW1668A-E

Fördervolumen des Verbundprojektes

1.474.100 Euro

Kontakt

Prof. Dr. Dr. h.c. Henner Hollert
Goethe-Universität Frankfurt
Max-von-Laue Straße 13
60438 Frankfurt
Telefon: +49 (0)69 798 42171 oder 42173
E-Mail: hollert@bio.uni-frankfurt.de

Projektpartner

Rheinland-Pfälzische Technische Universität
Kaiserslautern-Landau, Landau
Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung,
Mülheim an der Ruhr
Zweckverband Landeswasserversorgung, Stuttgart
Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE),
Frankfurt a.M.

Internet

gwtriade.de

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Ressourcen, Kreislaufwirtschaft; Geoforschung
53170 Bonn

Stand

November 2023

Text und Gestaltung

Projekträger Karlsruhe (PTKA)

Druck

BMBF

Bildnachweis

Goethe-Universität, Frankfurt

[bmbf.de](https://www.bmbf.de)



iMolch – Nachhaltige Wassermanagement-Konzepte für Deutschland mithilfe innovativer Monitoring-Strategien

Nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung (LURCH)

Ein weltweit stetig steigender Bedarf an sauberem Trinkwasser für Industrie, Landwirtschaft oder Privathaushalte stellt die Wasserversorgung vor neue Herausforderungen. Auch in Deutschland kommt es infolge des Klimawandels regional zu längeren Trockenperioden, die zu niedrigeren Flusspegeln und Grundwasserspiegeln führen. Ein Problem stellt zudem die Vielzahl organischer Verunreinigungen und Mikroorganismen in Gewässern dar. Das Verbundprojekt iMolch entwickelt innovative Grundwassermonitoring- und Prognosewerkzeuge, um das ganze System Grundwasser besser zu verstehen und darauf abgestimmte Konzepte für eine nachhaltige Nutzung zu erarbeiten.

Neue Nutzungskonzepte gefragt

Grundwasser ist hierzulande die wichtigste Trinkwasserquelle. Jedoch stellen sinkende Grundwasserspiegel und Wasserpegel in Flüssen die bisherigen Nutzungskonzepte in Deutschland auf den Prüfstand. Ursachen hierfür sind der Klimawandel sowie steigende Bedarfe für Industrie, die landwirtschaftliche Bewässerung und in Ballungsräumen. Mit dem steigenden Wasserverbrauch einher geht eine höhere Abwassermenge. Die Abwässer werden zwar geklärt. Doch nicht alle Verunreinigungen können entfernt werden mit negativen Folgen für die Qualität der Oberflächengewässer und für das Grundwasser, das häufig im direkten Austausch mit Flüssen und Seen steht.

Um Qualitäts- und Mengenschwankungen abzupuffern, muss die Bewirtschaftungspraxis von Grundwasserleitern optimiert werden. Das Verbundprojekt iMolch entwickelt ein umfassendes Konzept zur nachhaltigen Nutzung von Grundwasserressourcen. Es beinhaltet drei Bausteine: neue Monitoringwerkzeuge zum Erkennen von kurz- und langfristigen Wasserqualitätsproblemen. Zweitens Modelle, die den ökologischen Zustand im Untergrund abbilden und die Wasserqualität und verfügbaren Wassermengen vorhersagen sowie drittens Strategien zur Grundwasserbewirtschaftung.

Vorhersage von Grundwassermenge und -qualität

Kleinste Verunreinigungen im Grundwasser sind für den Menschen gesundheitlich nicht bedenklich. Sie enthalten jedoch wichtige Informationen über Prozesse im Grundwasser und Verhältnisse im Oberflächenwasser, die die Funktionsweise des Einzugsgebiets verstehen helfen. Die Forschenden untersuchen daher ein breites Spektrum an bestimmten Substanzen in Grundwasserkörpern verschiedener Einzugsgebiete. Dazu gehören beispielsweise organische Spurenstoffe wie Antibiotika, Antiallergika und Pflanzenschutzmittel oder Hauptinhaltsstoffe wie Chlorid. Als weitere Parameter betrachten die Projektbeteiligten auch hydrogeologische Kennwerte wie Wasserstände sowie die Aktivität und die genetische Vielfalt von lebenden Organismen in Grundwasserproben. Aus dieser Vielzahl an Untersuchungsparametern sollen geeignete Indikatoren abgeleitet werden, die Aussagen über den Zustand des Grundwassers und einen möglicherweise bereits bestehenden Einfluss des Menschen erlauben.



Die Forschenden im Projekt iMolch nutzen unter anderem ein Massenspektrometer, um kleinste Verunreinigungen im Bereich von Nanogramm pro Liter (ng/L) im Grundwasser nachzuweisen.

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler beproben Brunnen und Messstellen in Düsseldorf und Dormagen, um so besonders vielfältige Einzugsgebiete (industriell, privathaushaltlich und landwirtschaftlich geprägt) zu untersuchen. Die Messungen verschiedener Brunnen liefern notwendige Informationen über die Änderung der Grundwasserqualität unter verschiedenen Verhältnissen, zum Beispiel bei Niedrigwasser. Die gesammelten Daten speisen mathematische Modelle, die die räumliche und zeitliche Verteilung von Schadstoffen und des ökologischen Zustandes im Untergrund simulieren. Auf dieser Grundlage sollen Prognosen zur Wasserqualität und der verfügbaren Wassermengen erstellt werden. Die Prognosen dienen wiederum dazu, neue Nutzungskonzepte zu entwickeln, mit dem Ziel die Trink- und Grundwasserbelastung zu minimieren. Diese optimierte Bewirtschaftung soll die gerechte und sinnvolle Verteilung der Wassernutzung auf Dauer ermöglichen.

Die Zukunft sichern

Die im Projekt iMolch entwickelten Werkzeuge, Modelle und Strategien für eine nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung werden dazu beitragen, dass Leitungswasser in Deutschland auch in Zukunft bedenkenlos getrunken werden kann. Nach der Umsetzung im Projektgebiet sollen die Ansätze auch an anderen Standorten überprüft und angepasst werden. Zudem sollen zwei Leitfäden für Wasserversorger und Behörden erstellt werden: Zur Nutzung von Wasserqualitätsparametern für die Grundwasserbewirtschaftung sowie zur Bewertung des ökologischen Zustands.



Das Wasserwerk Flehe liegt in der Nähe zur Universität und des Uni-Klinikums in Düsseldorf. Es gehört zu den in iMolch untersuchten Einzugsgebieten.

Fördermaßnahme

Nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung (LURCH)

Projekttitel

Nachhaltige Wassermanagement-Konzepte für Deutschland mithilfe innovativer Monitoring-Strategien (iMolch)

Laufzeit

01.03.2023 – 28.02.2026

Förderkennzeichen

02WGW1667A-F

Fördervolumen des Verbundprojektes

2.051.582 Euro

Kontakt

Prof. Dr. Tobias Licha
Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik
Ruhr-Universität Bochum
Universitätsstraße 150
44780 Bochum
Telefon: +49(0)234 32 23987
E-Mail: tobias.lich@rub.de

Projektpartner

GFI Grundwasser-Consulting-Institut GmbH, Dresden
Stadtwerke Düsseldorf AG, Düsseldorf
TU Bergakademie Freiberg, Freiberg
TU Berlin, Berlin
Universität Duisburg-Essen, Essen

Internet

tu.berlin/geochemie/forschung/laufende-projekte/imolch

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Ressourcen, Kreislaufwirtschaft; Geoforschung
53170 Bonn

Stand

November 2023

Text und Gestaltung

Projektträger Karlsruhe (PTKA)

Druck

BMBF

Bildnachweise

Vorderseite: Ruhr-Universität Bochum
Rückseite: Stadtwerke Düsseldorf

bmbf.de



IsoGW – Grundwasser-Isoscapes für Deutschland – Wasserisotope als innovatives Werkzeug für eine nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung

Nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung (LURCH)

Isotope sind im Wasserkreislauf wichtige Indikatoren, um Wechselwirkungen zwischen Niederschlag, Oberflächenwasser, und Grundwasser zu beurteilen. Jedoch gibt es aktuell noch kein Instrument, das eine flächendeckende Information der Isotopenverteilung im Grundwasser bundesweit bereitstellt. Das zentrale Ziel des Verbundprojektes IsoGW ist es, eine Isotopen-Datenbank für Deutschland zu erstellen, frei zugänglich zu machen und langfristig fortlaufend zu aktualisieren.

Grundwasser-Datenbank und Karte für Deutschland

Wasser besteht immer aus einem Sauerstoff- und zwei Wasserstoffatomen. Allerdings kommen diese beiden Elemente in unterschiedlich schweren Varianten, den sogenannten Isotopen, vor. Weil der Anteil verschiedener Isotope im Wasser beispielsweise mit der Temperatur und einigen anderen Faktoren schwankt, liefern deren Verhältnisse Hinweise auf die Herkunft des Wassers.

Bei Isotopen handelt es sich also um „Tracer“ (aus dem Englischen von „to trace“: verfolgen, aufspüren). Die im Regen gemessenen Konzentrationen der „schweren“ Wasserstoff- und Sauerstoff-Isotopen sind in alpinen Bereichen typischerweise viel geringer als im Flachland. Wenn der Niederschlag in den Boden versickert, übertragen sich diese Unterschiede in das neugebildete Grundwasser. Beobachtet man eine bestimmte Region, unterscheidet sich das Grundwasser in seinen Isotopenverhältnissen auch vom Fluss- und Seewasser, welches aus weiter entfernten Regionen stammen kann und der Verdunstung unterliegt.

Datenbanken, die die Verteilung von verschiedenen Stoffen im Grundwasser erfassen, gibt es in Europa seit längerer Zeit. Die Datensätze und deutschlandweite Verteilungskarten sind online zugänglich. Auch zu Wasserisotopen liegen zum Teil Messdaten vor, sind aber für das Grundwasser weder bundesweit einheitlich zusammengestellt noch abrufbar. Das Verbundprojekt IsoGW verfolgt das Ziel, ein solches digitales Verzeichnis für Grundwasser-Isotope zu erstellen. Die Daten sollen der Öffentlichkeit als interaktive Karte kostenlos zur Verfügung stehen.

Uferfiltrat, Starkregen und Klimawandel

Mit dieser als Isoscape bezeichneten Verteilungskarte der Isotopen-Daten lassen sich die Verhältnisse im Grundwasser selbst und Einflüsse von außen erheblich einfacher und schneller als bisher erkennen. So können zum Beispiel folgende Fragen beantwortet werden: Wie nachhaltig ist der Betrieb von Brunnen, aus denen viel Wasser gefördert wird? Zapft der Brunnen vielleicht Vorräte von uraltem Wasser an, das sich vor vielen Jahrtausenden gebildet hat und viel langsamer ersetzt als entnommen wird? Wie verändert der fortschreitende Klimawandel die Grundwasserbilanz?

Neben der neuen Isotopen-Datenbank und Karte befasst sich das IsoGW-Projekt auch mit Standorten in Deutschland, an denen die erstellte Karte sofort eingesetzt werden kann. An einigen Standorten geht es um Trinkwassergewinnung aus Uferfiltrat. Uferfiltrate entstehen aus dem



Eine Grundwassermessstelle; das Grundwasser wird an die Oberfläche gepumpt, um Proben abzufüllen.

Wasser von Flüssen, welches die Sande und Kiese im Uferbereich auf dem Weg zu einem Brunnen durchquert. Während das Wasser durch den Untergrund fließt, werden daraus Verunreinigungen gefiltert. Anschließend wird das Wasser an einem Förderbrunnen an die Oberfläche gepumpt und kann gegebenenfalls mit entsprechender Aufbereitung als Trinkwasser genutzt werden. Wie rasch dieses Uferfiltrat fließt und wie groß sein Anteil im Verhältnis zum gleichzeitig entnommenen Grundwasser ist, gehört zu den Fragen, denen IsoGW nachgeht.

Ein weiterer Fokus des Projektes nimmt Starkregen unter die Lupe. Diese könnten mit dem Klimawandel häufiger fallen, während gleichzeitig Landregen mit zwar leichten, dafür aber lang anhaltenden Niederschlägen seltener zu werden scheinen. Bei einem solchen Landregen versickert nahezu der gesamte gefallene Niederschlag und bildet so neues Grundwasser. Nach einem Starkregen schießen dagegen oft große Mengen als Hochwasser flussabwärts, und es bildet sich deutlich weniger Grundwasser. Die Forschenden untersuchen, wie groß diese Unterschiede sind.

Grundstein für Karten in Nachbarländern

Nach dem Ende des Projektes soll die Isotopen-Datenbank des Grundwassers in Deutschland von den am Projekt beteiligten Behörden weiter betrieben und aktualisiert werden. Solche digital abrufbaren Daten und zugehörige Karten existieren bisher erst in einigen wenigen Ländern Europas und weltweit. Das Projekt kann den Grundstein für eine Erweiterung der Karten auf angrenzende Länder Europas sein.



Wasserisotope können mit einem Massenspektrometer gemessen werden. Das Bild zeigt die Wartung des Geräts.

Fördermaßnahme

Nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung (LURCH)

Projekttitle

Grundwasser-Isoscapes für Deutschland – Wasserisotope als innovatives Werkzeug für eine nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung (IsoGW)

Laufzeit

01.03.2023 – 28.02.2026

Förderkennzeichen

02WGW1671A-F

Fördervolumen des Verbundprojektes

1.696.321 Euro

Kontakt

PD Dr. Robert van Geldern
Friedrich Alexander Universität Erlangen-Nürnberg
GeoZentrum Nordbayern (GZN)
Schlossgarten 5
91054 Erlangen
Telefon: +49 (0) 9131 85-22514
E-Mail: robert.van.geldern@fau.de

Projektpartner

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Berlin
Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Koblenz
CDM Smith Consult GmbH, Berlin
Hydroisotop GmbH, Schweitenkirchen
Isodetect GmbH, Leipzig

Internet

isogw.fau.de

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Ressourcen, Kreislaufwirtschaft; Geoforschung
53170 Bonn

Stand

November 2023

Text und Gestaltung

Projekträger Karlsruhe (PTKA)

Druck

BMBF

Bildnachweise

Vorderseite: Universität Erlangen-Nürnberg
Rückseite: Robert van Geldern

bmbf.de



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

Nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung (LURCH)

Wärmere Sommer mit längeren Trockenperioden haben in den letzten Jahren dazu geführt, dass die Grundwasserstände in Teilen Deutschlands deutlich sinken. Um die verfügbaren Grundwasserressourcen optimal und nachhaltig zu nutzen, entwickelt das Verbundprojekt KIMoDIs ein Monitoring-, Datenmanagement- und Informationssystem. Dieses soll eine Vorhersage von Grundwasserstand und -versalzung ermöglichen und außerdem frühzeitig vor kritischen Zuständen warnen. Für die Prognosen werden Methoden der künstlichen Intelligenz (KI) genutzt. Die Ergebnisse werden in einem Entscheidungshilfwerkzeug zusammengeführt, das eine intelligente Planung von Gegenmaßnahmen ermöglichen soll.

Grundwasserbewirtschaftung in Zeiten des Klimawandels

Grundwasser deckt circa 70 Prozent des deutschen Trinkwasserbedarfs und wird zunehmend zu einem knappen Gut. Klimaprognosen zeigen, dass sich der bisherige Trend zu trockeneren und wärmeren Sommerhalbjahren in Deutschland bis zum Jahr 2100 weiter fortsetzen wird. Das klimatisch bedingte Absinken der Grundwasserspiegel wird zudem durch einen mutmaßlich steigenden Wasserbedarf verstärkt. Darüber hinaus droht in einigen Gebieten eine Versalzung des Grundwassers durch den Aufstieg salzhaltiger Tiefenwässer oder das Eindringen von Meerwasser in Küstennähe.

Das Grundwasser wird in Deutschland systematisch überwacht. Die gewonnenen Daten werden jedoch nur eingeschränkt ausgewertet. Zudem werden langfristige Entwicklungen, die relevant für die Genehmigung der Grundwasserentnahmen sind, bisher oftmals nicht berücksichtigt. Grund hierfür sind die komplexen Zusammenhänge und zahlreichen zeitlich variablen Einflussfaktoren wie Klima, Landnutzung, Hydrogeologie, der Austausch mit Oberflächengewässern sowie Wasserentnahmen für Industrie und landschaftliche Bewässerung. Bisher fehlt es an intelligenten Werkzeugen zur Vorhersage von extremen Grundwasserständen mit entsprechenden Möglichkeiten zur Gegensteuerung, zum Beispiel durch angepasstes Ressourcenmanagement.

Die Beteiligten des Verbundprojektes KIMoDIs wollen daher ein auf künstlicher Intelligenz (KI) basierendes Monito-

ring-, Datenmanagement- und Informationssystem für die Grundwasserbewirtschaftung entwickeln. Es soll in der Lage sein, Grundwasserstände und die Versalzung des Grundwassers kurz- (saisonal), mittel- (bis zu zehn Jahren) und langfristig (bis zum Jahr 2100) vorherzusagen.

Intelligentes Grundwassermanagement

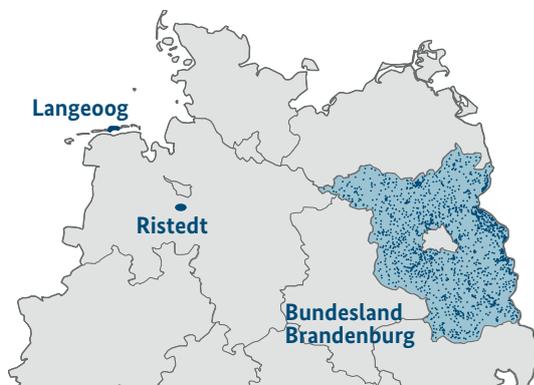
Der in KIMoDIs verfolgte Ansatz integriert alle verfügbaren Bewirtschaftungsdaten der Wasserversorger sowie des klassischen Monitorings an Grundwassermessstellen und kombiniert diese mit satellitengestützten Echtzeitdaten der Bewässerungslandwirtschaft. Zum Einsatz kommen KI-Methoden zur gekoppelten Vorhersage von Grundwasserständen und Versalzung, zur Messnetzoptimierung und zur Frühwarnung vor kritischen Zuständen bei der Trinkwasserversorgung und grundwasserabhängigen Ökosystemen. KI-Methoden bieten hier einen deutlichen Mehrwert gegenüber den etablierten Verfahren, da sie als



An Grundwassermessstellen werden regelmäßig der Grundwasserstand und die Qualität des Grundwassers bestimmt.

datenbasierte Modelle in der Lage sind, komplexe Zusammenhänge aus vorhandenen Daten zu extrahieren und sowohl räumlich als auch zeitlich zu übertragen.

Die methodische Entwicklung und Demonstration des Ansatzes erfolgen überregional im Land Brandenburg. Dabei betrachten die Forschenden großräumig alle relevanten Aspekte wie Entnahmen für Trinkwasserversorgung, Industrie und Landwirtschaft sowie die Gefahr durch Tiefenversalzung infolge von Übernutzung. Auch die Bewässerungslandwirtschaft wird zeitlich hochaufgelöst beobachtet. Den entwickelten Ansatz überträgt das Projektteam anschließend exemplarisch auf zwei weitere Pilotregionen im Einzugsgebiet der Harzwasserwerke und der Nordseeinsel Langeoog in Niedersachsen. Dabei erarbeiten sie für jede Region eine Bandbreite von Klima- und Nutzungsszenarien mit dem jeweils spezifischen lokalen Fokus. Die dafür prognostizierten Grundwasserstände werden in einem anwenderspezifischen Entscheidungsunterstützungssystem visualisiert.



Überblick über die drei Pilotregionen des Verbundprojektes KIMoDIs und Lage der Grundwassermessstellen in Brandenburg

Interaktives Planungstool

Das im Projekt KIMoDIs entwickelte interaktive Entscheidungsunterstützungssystem wird sich vor allem an zuständige Behörden, Wasserversorger sowie Land- und Forstwirtschaft richten und soll bereits frühzeitig vor Grundwasserniedrigständen und Versalzung sowie den damit verbundenen Schäden warnen. Die definierten Nutzungsszenarien sollen zudem standortspezifisch eine intelligente Planung von Gegenmaßnahmen ermöglichen und somit ein nachhaltiges Grundwassermanagement sicherstellen.

Fördermaßnahme

Nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung (LURCH)

Projekttitel

KI-basiertes Monitoring-, Datenmanagement- und Informationssystem zur gekoppelten Vorhersage und Frühwarnung vor Grundwasserniedrigständen und -versalzung (KIMoDIs)

Laufzeit

01.03.2023 – 28.02.2026

Förderkennzeichen

02WGW1662A-I

Fördervolumen des Verbundprojektes

2.647.626 Euro

Kontakt

Dr. Stefan Broda
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
Wilhelmstr. 25-30
13593 Berlin
Telefon: +49 (0) 30 36993 250
E-Mail: stefan.broda@bgr.de

Projektpartner

Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Koblenz
Deutscher Wetterdienst (DWD), Offenbach am Main
Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe
Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
Niedersachsen (LBEG), Hannover
Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe
Brandenburg (LBGR), Cottbus
Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU), Potsdam
Orbica, Berlin
Technische Universität München (TMU), München

Internet

bgr.bund.de/kimodis

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Ressourcen, Kreislaufwirtschaft; Geoforschung
53170 Bonn

Stand

November 2023

Text und Gestaltung

Projekträger Karlsruhe (PTKA)

Druck

BMBF

Bildnachweise

Vorderseite: Lucas Meyer, LBGR Brandenburg
Rückseite: BGR

bmbf.de



NitratLurch – Stimulation von H₂/CH₄-oxidierenden Bakterien in Porengrundwasserleitern zur Reinigung von nitratbelastetem Trink- und Brauchwasser

Nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung (LURCH)

Viele oberflächennahe Grundwasserleiter sind mit Nitrat belastet. Dies zwingt die Wasserversorger zu aufwändigen Aufbereitungsmaßnahmen oder zur Nutzung tiefer Grundwasserressourcen. Ein Projektteam unter Koordination der TU München entwickelt ein neues Verfahren, das Nitrat mithilfe von Mikroorganismen und unter Zugabe von Methan und Wasserstoff direkt im Grundwasserleiter abbaut.

Oberflächennahes Grundwasser nachhaltig nutzen

Die Nitratbelastung des Grundwassers ist ein weltweites Problem. Auch in Deutschland ist noch immer zu viel gelöstes Nitrat im Grundwasser. An rund 27 Prozent der Messstellen wurde 2020 der Grenzwert von 50 Milligramm pro Liter Nitrat überschritten. Gleichzeitig stellt Grundwasser hierzulande die wichtigste Trinkwasserressource dar. Von großer Bedeutung sind vor allem oberflächennahe Grundwasserleiter, die durch die Grundwasserneubildung über Niederschläge und häufig hohe Versickerungsraten nachhaltig bewirtschaftet werden können.

Das Selbstreinigungspotenzial des Grundwassers gegenüber Schadstoffen wie Nitrat ist jedoch oft begrenzt. Selbst wenn die Stickstoffeinträge weiter gesenkt werden, lassen sich oft Jahrzehnte später noch erhöhte Nitratkonzentrationen in diesen Grundwasserleitern nachweisen. Daher besteht ein großer Bedarf an innovativen und günstigen Technologien, nitratbelastete oberflächennahe Grundwasserleiter für die Wasserversorgung wieder nutzbar zu machen.

Aktuell eingesetzte Verfahren zur Nitratentfernung konzentrieren sich auf die nachträgliche Reinigung von gefördertem Grundwasser, zum Beispiel durch Anionenaustausch, Entsalzung oder durch Behandlung des Trinkwassers in Bioreaktoren. Dies ist teuer und bewirkt keine grundsätzliche Verbesserung des Grundwasserleiters. Das Projekt NitratLurch entwickelt und erprobt ein neuartiges Verfahren, das Nitrat mithilfe von Mikroorganismen direkt in oberflächennahen Grundwasserleitern eliminiert. Dieser mikrobiell gesteuerte Prozess wird als Denitrifikation bezeichnet.

Das Selbstreinigungspotenzial aktivieren

Die mikrobielle Denitrifikation ist die effektivste Möglichkeit, Nitrat aus Grundwasser zu entfernen. Dabei nutzen im Grundwasser vorhandene Mikroorganismen Nitrat anstelle von Sauerstoff zur sogenannten anaeroben Atmung. Unter Beihilfe der Gase Methan (CH₄) und Wasserstoff (H₂), die die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler dem Grundwasser zusetzen, wird der Abbau von Nitrat zu gasförmigem Stickstoff (N₂) beschleunigt: Die Gase stimulieren die Mikroorganismen durch Abgabe von Elektronen, um dabei die chemische Reaktion des Nitratabbaus zu katalysieren. Auf diese Weise können durch minimale Eingriffe in das Ökosystem die natürlichen Selbstreinigungspotenziale verstärkt werden.



In einer Fließrinne an der Versuchsanstalt der TU München wird das im Verbundprojekt NitratLurch entwickelte Verfahren zur Nitratentfernung in Porengrundwasserleitern erprobt und optimiert.

Die Gase sind einerseits in den eingesetzten Konzentrationen für die menschliche Gesundheit unbedenklich. Andererseits haben Methan und Wasserstoff gegenüber anderen elektronenliefernden organischen Verbindungen wie Methanol oder Acetat den Vorteil, mikrobielle Lebensgemeinschaften zu stimulieren, die bei vergleichsweise hoher Aktivität ein deutlich verringertes Biomassewachstum aufweisen. Dies ermöglicht einen nachhaltigen und langfristigen Betrieb des Verfahrens. Das Projektteam erprobt das Verfahren zunächst im Labor. In einem zweiten Schritt wird die Praxistauglichkeit in Zusammenarbeit mit einem regionalen Wasserversorger in einem Grundwasserleiter bei Donauwörth überprüft. Dieser weist hohe Nitratbelastungen von teilweise weit über dem Grenzwert auf. Eine ökonomische Studie soll die Wirtschaftlichkeit der Anlage im Vergleich zu bestehenden Verfahren nachweisen. Zusätzlich arbeiten die Forschenden eine Genehmigungsplanung aus, die es auch anderen Wasserversorgern ermöglicht, die Technologie in Pilotanlagen anzuwenden.

Für alle Gebiete mit hoher Nitratbelastung

Die im Projekt NitratLurch entwickelte Anlage eignet sich im Erfolgsfall für alle Gebiete mit hoher Nitratbelastung in Porengrundwasserleitern – das heißt Grundwasserleiter aus Lockergestein wie Kies, Sand, Schotter oder Schluff –, da das Nitrat wirksam und kostengünstig vor Ort mikrobiell entfernt werden kann. Das Verfahren ersetzt keine notwendigen Maßnahmen zur Minderung des Nitratreintrags ins Grundwasser; aber es schon die Tiefenwasserreserven und verbessert im Gegensatz zu bisherigen Technologien den Zustand des Ökosystems. So kann ein Beitrag geleistet werden, den stetig steigenden Bedarf an Trink- und Brauchwasser aus nachhaltiger Förderung auch zukünftig zu decken und Nutzungskonflikte zwischen Wasserversorgung, Industrie und Landwirtschaft zu entschärfen.

Fördermaßnahme

Nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung (LURCH)

Projekttitle

Stimulation von H₂/CH₄-oxidierenden Bakterien in Porengrundwasserleitern zur Reinigung von nitratbelastetem Trink- und Brauchwasser (NitratLurch)

Laufzeit

01.03.2023 – 28.02.2026

Förderkennzeichen

02WGW1664A-E

Fördervolumen des Verbundprojektes

1.940.000 Euro

Kontakt

Prof. Dr. Florian Einsiedl
Technische Universität München (TUM)
Arcisstraße 21
80333 München
Telefon: +49 (0) 89 289 25840
E-Mail: f.einsiedl@tum.de

Projektpartner

BASE Technologies GmbH, München
Bayreuther Zentrum für Ökologie und Umweltforschung (BayCEER), Lehrstuhl für Ökologische Mikrobiologie, Bayreuth
Helmholtz Zentrum für Umweltforschung GmbH (UFZ), Department Hydrogeologie, Leipzig
Z-Design, Dipl. Ing. Werner Zyla GmbH, Owingen

Internet

cee.ed.tum.de/hydro/projects/hydrogeology-biogeochemistry-and-modelling-group/nitrat-lurch-deutsch

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Ressourcen, Kreislaufwirtschaft; Geoforschung
53170 Bonn

Stand

November 2023

Text und Gestaltung

Projekträger Karlsruhe (PTKA)

Druck

BMBF

Bildnachweis

Florian Einsiedel/TU München

bmbf.de



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

Nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung (LURCH)

Mehr als 1.500 Orte in Deutschland sind vermutlich mit per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen, kurz PFAS, kontaminiert. PFAS sind schmutz-, wasser und fettabweisend und stecken in unzähligen Produkten wie Jacken, Pfannen, Kartons sowie Feuerlöschschäumen. Hohe Konzentrationen dieser Chemikalien im Blut können Organe schädigen oder Krebs auslösen. Seit Jahrzehnten gelangen PFAS in die Umwelt und lagern sich in Böden und im Grundwasser an. Bisher ist es nicht möglich, belastete Untergründe vor Ort wirkungsvoll zu sanieren. Das Projekt PFClean hat zum Ziel, in-situ – also vor Ort – Sanierungstechnologien für verunreinigte Böden und Grundwasser zu entwickeln und zu erproben.

Direkt an der Quelle ansetzen

Die Stoffgruppe der per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS) stellt derzeit eine der größten Herausforderungen für die nachhaltige Kreislaufwirtschaft, Gewässerbewirtschaftung und Trinkwasserversorgung dar. Der Begriff PFAS umfasst je nach Definition rund 5.000 bis mehrere Millionen Einzelsubstanzen, die schlecht abbaubar und teilweise gesundheitsschädlich sind. Sind die PFAS erst einmal in den Wasserkreislauf gelangt, verbleiben sie dort und werden im Grundwasser nicht wie die meisten anderen Schadstoffe nach und nach mikrobiell abgebaut. Dieser Eigenschaft verdanken die PFAS ihre Bezeichnung als „Ewigkeitschemikalien“. Bisher werden die Substanzen mit verschiedenen Aufbereitungstechniken zum Beispiel in Wasserwerken aus belasteten Wässern entfernt. Solche als „Pump and treat“ (englisch für abpumpen und behandeln) bezeichneten Methoden sind sehr aufwändig und teuer.

Das Forschungsvorhabens PFClean zielt darauf ab, verschiedene Ansätze zur Entfernung von PFAS aus Boden und Grundwasser weiterentwickeln und zu erproben. Dabei konzentrieren sich die Beteiligten vor allem auf so genannte 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 südlich von Heidelberg.

Sorption, Trichter, Biologie

Bei einem der im Projekt erprobten Ansätze geht es darum, die Sorptionskapazität des Bodens zu erhöhen: Damit ist die Fähigkeit des Bodens gemeint, Stoffe aufzunehmen, zu speichern und mit Verzögerung wieder abzugeben. Dafür mischen die Forscherinnen und Forscher bestimmte, zum Beispiel aktivkohlehaltige, Substanzen unter den Boden. Damit soll dessen Rückhaltevermögen gegenüber PFAS erhöht werden und der Eintrag ins Grundwasser gemangt 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 (Funnel = Trichter) die Grundwasserströmungsrichtung steuern. An einer zentralen Stelle, dem Gate, werden die PFAS zurückgehalten und ausgeschleust.



Mit Methoden der chemischen Analytik, die in den letzten Jahren große Fortschritte gemacht hat, können PFAS in der Umwelt nachgewiesen und bearbeitet werden.

Eine weitere Möglichkeit ist die Anregung des biologischen Abbaus schädlicher Stoffe: Dabei wollen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler testen, inwieweit Verhältnisse im Boden geschaffen werden können, die den Abbau von sogenannten PFAS-Vorläuferverbindungen durch Mikroorganismen verbessern. Vorläuferverbindungen sind chemische Stoffe, die im Lauf der Zeit durch Umweltprozesse zu schädlichen Substanzen umgewandelt werden können. Den mikrobiellen Abbau von Vorläuferverbindungen zu unschädlichen Endabbauprodukten wollen die Forschenden durch leichte Temperaturerhöhungen und Zugabe von Elektronenakzeptoren, beispielsweise Nitrat, stimulieren. Diese dienen als Energiequelle für Mikroorganismen.

PFClean beschäftigt sich auch mit den Transferprodukten, das heißt möglichen Umwandlungsprodukten, die bei der PFAS-Behandlung entstehen können. So sollen potenzielle Probleme und Risiken bereits bei der Verfahrensentwicklung berücksichtigt werden.

Verantwortungsvoller Umgang mit den Ressourcen

Die Beteiligten des Projektes PFClean wollen kompakte, effiziente und wirtschaftlich günstige Technologieansätze zur Verfügung stellen, um PFAS aus kontaminierten Standorten vor Ort auszuschleusen. So wird verhindert, dass sich die Schadstoffe im Wasserkreislauf ausbreiten. Die Sanierungstechnologien können an den spezifischen Anwendungsfall angepasst werden. Der Markt für innovative Sanierungsverfahren ist groß: Nach groben Schätzungen ist deutschlandweit allein mit tausenden punktuellen Schadensfällen durch Löschschaumeinsätze (Großbrände, Feuerlöschübungsflächen) zu rechnen. Dazu addieren sich flächenhafte PFAS-Verunreinigungen auf Ackerflächen, wie zum Beispiel im Südwesten rund um Rastatt, Baden-Baden und Mannheim.



Vorbereitungen zur Probenahme am landwirtschaftlich geprägten Pilotstandort

Fördermaßnahme

Nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung (LURCH)

Projekttitel

Innovatives modulares System zur nachhaltigen Reduzierung von PFAS-Kontaminanten aus Boden und Grundwasser (PFClean)

Laufzeit

01.03.2023 – 28.02.2026

Förderkennzeichen

02WGW1665A-G

Fördervolumen des Verbundprojektes

2.099.563 Euro

Kontakt

Dr.-Ing. Claus Haslauer
Universität Stuttgart
IWS-VEGAS
Pfaffenwaldring 61
70569 Stuttgart
Telefon: +49 (0) 711 685 64717
E-Mail: vegasinfo@iws.uni-stuttgart.de

Projektpartner

Arcadis Germany GmbH, Darmstadt
Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Tübingen
Geiger Entsorgung GmbH und Co KG, Oberstdorf
Industrie Engineering GmbH, Reutlingen
Landratsamt Rastatt, Rastatt
Sax und Klee, Mannheim
TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe

Internet

uni-stuttgart.de/pfclean

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Ressourcen, Kreislaufwirtschaft; Geoforschung
53170 Bonn

Stand

November 2023

Text und Gestaltung

Projekträger Karlsruhe (PTKA)

Druck

BMBF

Bildnachweise

Vorder- und Rückseite: VEGAS



StressRes – Monitoring- und Modellsystem zur Beurteilung von Stress auf Grundwasserressourcen und Trinkwassermanagement

Nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung (LURCH)

Die Grundwasserbewirtschaftung und das Trinkwassermanagement stehen aktuell vor großen Herausforderungen. Bei der Planung der Wasserversorgung müssen beispielsweise Folgen des Klimawandels wie Dürren und daraus entstehende Konkurrenzen um die Grundwassernutzung oder Wasserqualitätsprobleme berücksichtigt werden. Das Verbundprojekt StressRes untersucht das Zusammenwirken der Herausforderungen und entwickelt ein neues digitales Echtzeit-Monitoring und integriertes Modellsystem für landwirtschaftlich genutzte Trinkwassergewinnungsgebiete. Ziel ist es, ganzheitliche und belastbare Entscheidungswerkzeuge für eine nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung bereitzustellen, um die Trinkwasserversorgung zu sichern.

Grundwasser im Stress

Trinkwasser wird in Deutschland zu über 70 Prozent aus Grundwasser gewonnen. Zugleich wirken auf das Grundwasser aber eine Reihe von Stressfaktoren ein. Dürre zum Beispiel hat in den letzten Jahren die Neubildung von Grundwasser reduziert. Das hat dazu geführt, dass auch in Deutschland verschiedene Nutzergruppen in bestimmten Situationen um Wasser konkurrieren. So stehen bisweilen die Ziele der Wasserversorgung und Wasserwirtschaft unter anderem mit jenen der Landwirtschaft und des Naturschutzes in Konkurrenz. Auch ist die Wasserqualität während und nach Dürrezeiten stark gefährdet. Zudem werden die Ansprüche und Rahmenbedingungen für die Trinkwasserversorgung immer komplexer.

Daten und Modelle liefern wichtige Grundlagen für Entscheidungen, die bei der Bewirtschaftung von Grundwasser abgewogen werden müssen. Oft gibt es jedoch zu wenige oder gar keine aktuell verfügbaren Messdaten über den Zustand der Grundwasserressourcen. Auch sind die vielfältigen Aspekte, zum Beispiel Menge und Qualität, zu wenig miteinander verknüpft. Das Verbundprojekt StressRes analysiert die politischen und gesetzlichen Rahmenbedingungen und die Nutzungskonkurrenzen im Detail. Auf dieser Grundlage entwickeln die Beteiligten ein kombiniertes Modellsystem, das neue digitale Messmethoden anwendet, verschiedene spezielle Modelle koppelt und mit zukunftsorientierten Stresstestszenarien verbindet.

Digitalisierungslücke schließen

Neben der flächenhaften Grundwasserneubildung über die Versickerung im Boden, wird Grundwasser auch indirekt über die Flüsse und Seen gespeist. Der Austausch zwischen Oberflächen- und Grundwasser variiert entlang eines Flusses und ist schwer zu quantifizieren. Für die Datengewinnung kommen mit Thermalkameras ausgestattete Drohnen entlang der Flüsse zum Einsatz. StressRes entwickelt zudem ein neuartiges kompaktes und anwendungsfreundliches Messsystem, das die Sickerwassermenge und gleichzeitige auch die Nitratkonzentration vor Ort und in Echtzeit misst. Die gewonnenen Daten speisen das von den Forschenden zu entwickelnde integrierte Modellsystem, das die Wasserverfügbarkeit umfassend beschreiben kann.



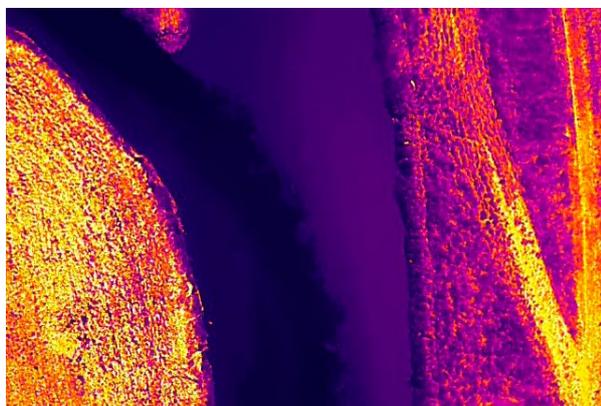
Konkurrenz ums Wasser: In einem Trinkwasserschutzgebiet müssen die Ziele der Wasserversorgung, Landwirtschaft und Freizeitaktivitäten in Einklang gebracht werden. Im Bild: die Dreisam bei Freiburg im Br.

Für das StressRes-Gesamtmodell koppeln die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler verschiedene wichtige Modellkomponenten wie Landnutzung, direkte und indirekte Grundwasserneubildung, Grundwasserströmung, Stoffeintrag und Stofftransport.

Mittels sogenannter Stresstests können Vorhersagen möglicher Entwicklungen gemacht werden. Hierfür erstellt StressRes zusammen mit Wasserversorgungsunternehmen, Landwirtinnen und Landwirten, Behördenmitarbeitenden und anderen Akteuren lokale Szenarien, die die verschiedenen Interessen berücksichtigen. Diese Szenarien sollen konkrete, potenziell mögliche, Ereignisse beschreiben: zum Beispiel eine Dürre wie im Jahr 2018, jedoch mit veränderten landwirtschaftlichen Maßnahmen und unter Annahme eines neuen Gesetzes zur Wasserverteilung zwischen verschiedenen Nutzern. Das lokale Überwachungs- und Modellsystem installieren und testen die Projektbeteiligten in Trinkwassergewinnungsgebieten im Umfeld von Freiburg im Breisgau.

Übertragbarer Baukasten

Die im Projekt StressRes neu entwickelten Messmethoden und Entscheidungswerkzeuge werden es Wasserversorgern ermöglichen, ihr Trinkwassermanagement besser an vielfältige Stressfaktoren anzupassen. Das betrifft sowohl die Menge als auch die Qualität des geförderten Grundwassers. Es ist geplant, die Werkzeuge in einem Modell-Baukasten zusammenzustellen, der auch auf andere Wassereinzugsgebiete übertragbar ist.



Mit Thermalkameras ausgestattete Drohnen liefern Daten für das Echtzeit-Monitoring. Das Thermalbild zeigt den Zusammenfluss zweier unterschiedlich kalter Bäche mit angrenzenden landwirtschaftlichen Flächen.

Fördermaßnahme

Nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung (LURCH)

Projekttitel

Monitoring- und Modellsystem zur Beurteilung von Stress auf Grundwasserressourcen und Trinkwassermanagement (StressRes)

Laufzeit

01.04.2023 – 31.03.2026

Förderkennzeichen

02WGW1663A-D

Fördervolumen des Verbundprojektes

2.154.246 Euro

Kontakt

Prof. Dr. Kerstin Stahl
Universität Freiburg
Friedrichstr. 39
79098 Freiburg
Telefon: +49 (0) 761 2033530
E-Mail: kerstin.stahl@hydro.uni-freiburg.de

Projektpartner

TRUEBNER GmbH, Neustadt
Universität Hohenheim, Stuttgart
WWL Umweltplanung und Geoinformatik GbR,
Bad Krozingen

Internet

drought.uni-freiburg.de/stressres

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Ressourcen, Kreislaufwirtschaft; Geoforschung
53170 Bonn

Stand

November 2023

Text und Gestaltung

Projekträger Karlsruhe (PTKA)

Druck

BMBF

Bildnachweise

Vorder- und Rückseite: WWL



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

Nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung (LURCH)

Die Metropolregion Frankfurt/Rhein-Main ist stark abhängig von regionalen Grundwasserressourcen. In dem Ballungsraum mit mehr als 2,4 Millionen Menschen konkurrieren die Wasserwirtschaft, eine intensive Landwirtschaft und wichtige Naturräume darum. Gleichzeitig ist die Qualität des Grundwassers gefährdet, und auch die verfügbaren Wassermengen in der Region sind begrenzt. Klimawandel und Bevölkerungswachstum verschärfen die Nutzungskonflikte und verlangen umfassende Lösungskonzepte für ein nachhaltiges und flexibles Wassermanagement. Im Verbundprojekt WaRM entwickeln zehn Beteiligte aus Forschung, Industrie und Verwaltung ein Wassersystemmodell. Es integriert Modellierungsansätze, die die Menge und Qualität des Grundwassers abbilden und bewertet, wie sich Maßnahmen in bestimmten Zukunftsszenarien auf die Ressourcen auswirken.

Konfliktpotenzial verringern

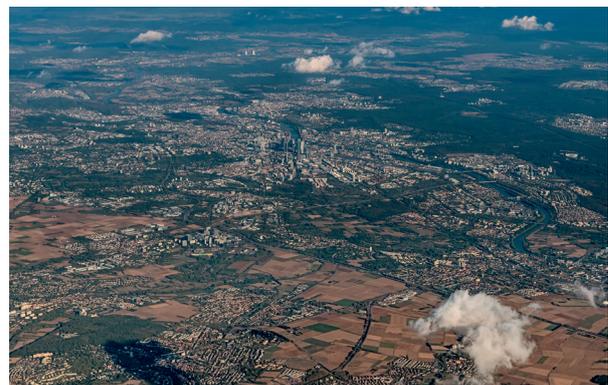
Die wasserwirtschaftlichen Rahmenbedingungen und Veränderungen, aber auch die sozioökonomischen Prozesse in der Metropolregion Frankfurt/Rhein-Main sind vielschichtig und eng miteinander verwoben. Die Landwirtschaft als wichtiger Wirtschaftszeig der Region ist ebenso abhängig von Wasserressourcen wie die Städte im Ballungsraum mit ihren Bewohnern und wirtschaftlichen Strukturen. Darüber hinaus muss auch für Naturräume wie Gewässer, Wälder oder Moore ausreichend sauberes Wasser zur Verfügung stehen. Für alle Bereiche sind Maßnahmen für eine nachhaltige und flexible Grundwasserbewirtschaftung notwendig. Dazu gehört beispielsweise, dass in der Landwirtschaft möglichst effizient bewässert sowie in Städten Wasser recycelt und Regenwasser nachhaltig bewirtschaftet wird. Es geht aber auch darum, so wenig wie möglich Schadstoffe in die Umwelt einzutragen und Naturräume zu renaturieren, um den Wasserrückhalt in der Landschaft zu verbessern.

Um die Wirkungen aller Maßnahmen in ihrem Gesamtzusammenhang zu bewerten und so mögliche Konflikte um die Wasserressourcen zu verringern, erarbeitet das Verbundprojekt (WaRM) ein Wassersystemmodell für das Rhein-Main Gebiet. Es ergänzt bereits vorhandene Modelle zur Grundwasserqualität und -menge um ein Modell, das

wasserwirtschaftlich-technische und politisch-administrative Maßnahmenwirkungen bewertet.

Maßnahmenplan ableiten

Die Basis für die Entwicklung des ganzheitlichen Wassersystemmodells bilden umfassende Vorarbeiten der Projektbeteiligten. So erweitern und integrieren sie bereits bestehende Modelle zur Grundwassermengenbewirtschaftung unter Berücksichtigung des Klimawandels. Dabei werden auch die verschiedenen Nutzungen mit



Die Metropolregion Frankfurt Rhein/Main ist geprägt durch eine heterogene Flächennutzung.

ihren Bedarfen abgebildet. Beide werden durch große Wandelprozesse in den Bereichen Klima, Demografie und Landnutzung sowie technologische und soziale Entwicklungen beeinflusst, die über Szenarien dargestellt werden. Für ein besseres Verständnis der hydraulischen Zusammenhänge und hydrochemischen Prozesse im Einzugsgebiet betrachten die Forschenden darüber hinaus zum Beispiel den Transport und die Umsetzung von Stoffen wie Nitrat im Boden und im Grundwasserleiter.

Eine weitere Säule des Wassersystemmodells Rhein-Main sind Maßnahmen, die die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auf Basis von Feld- und Laboruntersuchungen und in Zusammenarbeit mit betroffenen Akteuren im Rhein-Main-Gebiet entwickeln. Ziel ist es, den sich durch den Klimawandel weiter verschärfenden Nutzungskonflikten zu begegnen. Die Maßnahmen müssen in einem Geflecht von Wirkungen, Interessen, politischen Strukturen, Nutzenabwägungen und anderen Aspekten bewertet, priorisiert und im Rahmen eines integrierten Plans zusammengeführt werden. Der Plan soll konkrete, für die Betroffenen direkt nutzbare Bewirtschaftungsoptionen mit dafür notwendigen Instrumenten und Regelungsstrukturen enthalten.

Übertragbar auf andere Ballungsräume

Das in WaRM entwickelte integrierte Wassersystemmodell soll nach Projektende im Rhein-Main-Gebiet zum Einsatz kommen. Die Projektergebnisse können jedoch auch auf andere Ballungsräume übertragen werden. Das macht das Forschungsprojekt besonders relevant für vom Klimawandel betroffene Gebiete, die mit einem Nutzungskonflikt zwischen Wasserversorgung, Landwirtschaft und Naturschutz konfrontiert sind.

Fördermaßnahme

Nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung (LURCH)

Projekttitel

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

Laufzeit

01.03.2023 – 28.02.2026

Förderkennzeichen

02WGW1669A-G

Fördervolumen des Verbundprojektes

1.925.722 Euro

Kontakt

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

Projektpartner

BGD ECOSAX GmbH, Dresden
Brandt-Gerdes-Sitzmann Umweltplanung GmbH, Darmstadt
Hessenwasser GmbH & Co. KG, Darmstadt
Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, Wiesbaden
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen
Technische Universität Darmstadt, Darmstadt

Internet

w-rm.de

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Ressourcen, Kreislaufwirtschaft; Geoforschung
53170 Bonn

Stand

November 2023

Text und Gestaltung

Projekträger Karlsruhe (PTKA)

Druck

BMBF

Bildnachweis

Hessenwasser

bmbf.de