

Eine Initiative des Bundesministeriums
für Bildung und Forschung

GRoW

Globale Ressource Wasser

TECHNICAL BRIEF

#3

Die BMBF-Fördermaßnahme „Globale Ressource Wasser“ (GRoW) hat eine Reihe von neuen Werkzeugen für das Grundwassermanagement hervorgebracht. In diesem Technical Brief wird eine Auswahl dieser Produkte vorgestellt. Weitere GRoW-Produkte mit Bezug zum Thema finden sich im BMBF Innovationsatlas Wasser (www.innovationsatlas-wasser.de).

Eine umfangreichere Darstellung der GRoW-Produkte findet sich auch in den Schlussberichten der jeweiligen Verbundprojekte, die über die GRoW-Webseite (www.bmbf-grow.de), die einzelnen Projekt-Webseiten und die TIB (www.tib.eu) zugänglich sind.

NEUE WERKZEUGE FÜR DAS GRUNDWASSERMANAGEMENT

INHALTSVERZEICHNIS

- 2 HINTERGRUND
- 3 COASTAL AQUIFER MANAGEMENT:
CAM-DIALOGPLATTFORM
- 7 SALZWASSER-ÜBERWACHUNGSSYSTEM SAMOS
- 9 WATER SAFETY PLAN-TOOL FÜR
RISIKOMANAGEMENT IN DER
TRINKWASSERVERSORGUNG
- 11 BERECHNUNG DER GRUNDWASSER-
NEUBILDUNG IN KARSTAQUIFEREN
- 13 WEBBASIERTES DECISION SUPPORT SYSTEM
MEDWATER
- 15 NUMERISCHE SIMULATION DES
GRUNDWASSERSPIEGELS IN EINER KÜNSTLICH
BEWÄSSERTEN REGION ZUR BESTIMMUNG DES
WASSERFUSSABDRUCKS VON BAUMWOLLE
- 17 ENTWICKLUNG GROSSRÄUMIGER REGIONALER
GRUNDWASSERMODELLE
- 20 DIE FÖRDERMASSNAHME GRoW

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

FONA

Forschung für Nachhaltigkeit

NaWaM

Nachhaltiges Wassermanagement





HINTERGRUND

Grundwasser ist mit einem Anteil von 74% die wichtigste Trinkwasserressource in Deutschland. Eine systematische Überwachung der Grundwasserressourcen sowie ein nachhaltiges Grundwassermanagement sind notwendig, um in Zeiten des Klimawandels und zunehmender Nutzungskonflikte eine sichere Trinkwasserversorgung zu gewährleisten.

GROW-Projekte haben neue Werkzeuge für das Grundwassermanagement entwickelt, die mit Hilfe von Echtzeit-Monitoring, Risiko-Analysen und Modellierungen zu einer verbesserten Bewertung des aktuellen Grundwasser-Zustands und zur besseren Vorhersage zukünftiger Risiken beitragen können. Sie liefern Wasserversorgern und Entscheidungstragenden die erforderlichen Informationen, um nachhaltige Anpassungsstrategien zu entwickeln und die Versorgungssicherheit, insbesondere in Gebieten mit kritischen Grundwasserhältnissen, zu erhöhen.

In diesem Technical Brief wird nur eine Auswahl von neuen Werkzeugen aus der Fördermaßnahme GROW für das Grundwassermanagement vorgestellt. Weitere innovative GROW-Produkte zu diesem Thema finden sich im **BMBF Innovationsatlas Wasser** (www.innovationsatlas-wasser.de) und umfassen:

- Automatisierte Satellitendatenauswertung für das Wassermanagement
- Globale Karten zur Charakterisierung von mediterranen Karstaquiferen
- Klassifikationsschema für Karbonatgrundwasserleiter
- Mooflow: Optimierung der Grundwasserbewirtschaftung mit MODFLOW
- Numerisches Grundwassermodell zur Vorhersage der Wasserverfügbarkeit
- Szenarienkatalog für Wasserressourcen und Ökosystemleistungen
- Vergleich von Klimasimulationen in Grundwasserneubildungszonen

COASTAL AQUIFER MANAGEMENT: CAM-DIALOGPLATTFORM

Die online-Plattform CAM wurde entwickelt, um die Einwirkungen von Klimafolgen auf den Küstenwasserhaushalt abzubilden und zu bewerten. Die Bewertung von Klima- und Wasserhaushaltsprojektionen erfolgt auf Basis einer Gruppe physikalischer Wasserindikatoren unter Verwendung von multikriteriellen Entscheidungsanalyse-techniken (MCDA). Die Wasserindikatoren werden mit gekoppelten deterministischen Wasserhaushaltsmodellen und physikalisch-numerischen Grundwasserströmungs- und Transportmodellen berechnet und über eine Schnittstelle (CAMup) in die CAM-Dialog-plattform übergeben (Abbildung 1).

Die verwendeten Hydrosystemmodelle, das deterministische Wasserhaushaltsmodell PANTA RHEI und der numerische Grundwassermodellcode d3f++ (distributed density-driven flow) sind in der Lage, die Klimawirkungen der Zukunft auf die Küstenwasserwirtschaft in der notwendigen regionalen Skala und bis in die „Ferne Zukunft (2100)“ zu berechnen. Die aktuellen Ergebnisse für die norddeutsche Küste weisen darauf hin, dass die Klimawirkungen (RCP 8.5 und 4.5) keine akuten negativen Einwirkungen auf die Lage der Salzwasserfront und damit auf die Grundwasserförderung haben, wohl aber mit Einwirkungen auf die Entwässerung des Deichhinterlands zu rechnen ist. Weiterhin muss davon ausgegangen werden, dass sich die Binnenentwässerung auf eine Zunahme von schadensrelevanten extremen Wetterereignisse einstellen muss. Aus diesem Grunde wurde die CAM-Initiative SiSchöMo (Pilotprojekt Siel- und Schöpfwerkmonitoring) an drei Küstenregelbauwerken ins Leben gerufen.

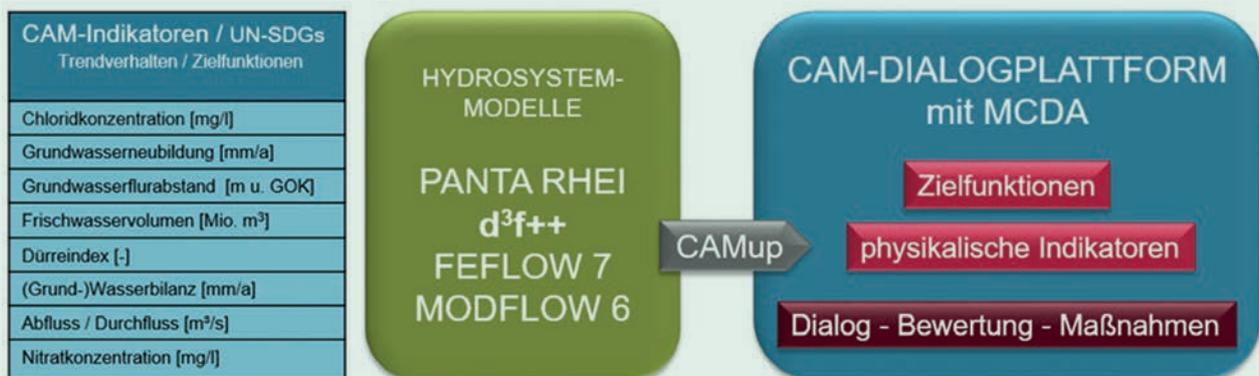


Abbildung 1: Aktuelle Indikatorliste für die Fallregion Nordwestdeutsche Küstenregion, Hydrosystemmodelle und CAM-Plattform.

Mit dem Finite-Volumen-Grundwassermodellcode d3f++ ist es möglich, die dichteabhängige Grundwasserströmung sowie den Schadstofftransport auf großen räumlichen Skalen zu modellieren. Er basiert auf dem Open-Source-Softwarepaket UG4 und ist mit seinem streng hierarchischen Lösungsansatz anderen Ansätzen, die in den Programmen FEFLOW und MODFLOW verwendet werden, deutlich überlegen. Die Verwendung moderner numerischer Methoden wie geometrischer und algebraischer Mehrgitterverfahren und deren Parallelisierung ermöglichen Simulationen über lange Zeiträume bei vertretbarem Rechenaufwand. d3f++ wird verwendet, um ein großes 3D-Dichte-Strömungsmodell aufzustellen, das eine komplexe Geologie, räumlich und zeitlich variierende Anreicherung, Flussentwässerung, Zu- und Abfluss zur/von der Nordsee, Meeresspiegelanstieg, die anfängliche Salzverteilung und Pumpszenarien berücksichtigt (Abbildung 2).

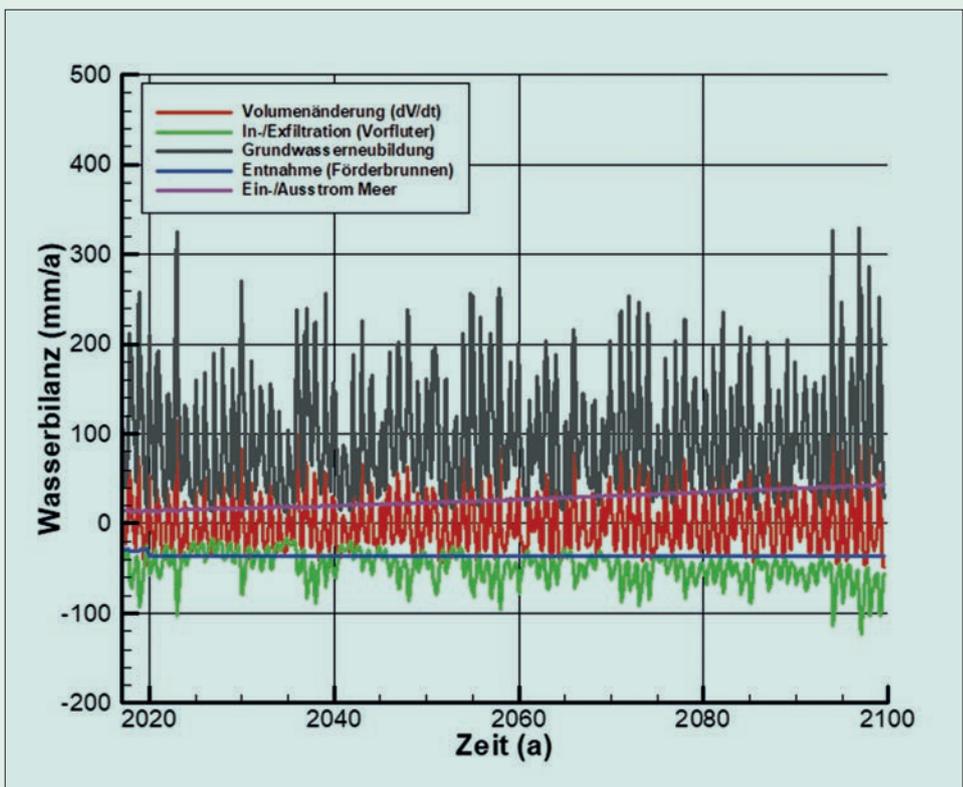
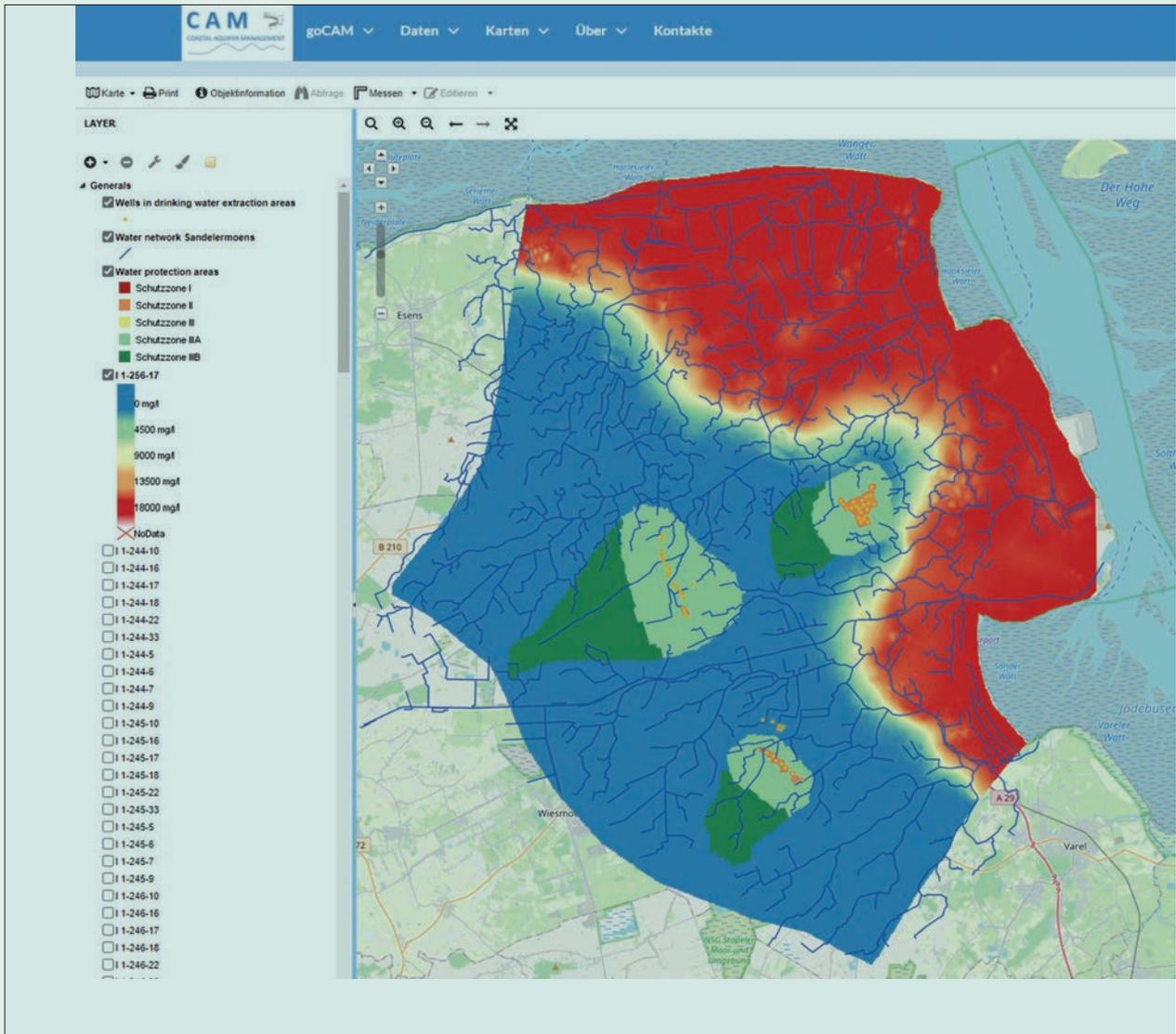


Abbildung 2: Indikator „mittlere erwartete Chloridkonzentration für 2070-2100 in 60 m NN“ (oben) und Wasserbilanz (unten) als d3f+-Simulationsergebnisse für das RCP-Szenario 4.5 mit moderater Erhöhung der Wasserförderung

Die CAM-Plattform bietet eine gebündelte und leicht verständliche Darstellungsform des aktuellen und zukünftigen Zustands der Küstenhydrologie und Wasserversorgung, in Abbildung 3 am Beispiel des Indikators Gesamtabfluss (Oberflächen- und Grundwasserabfluss). Sie ermöglicht die Visualisierung und Bewertung zukünftiger Klimafolgen für einen ressourcenübergreifenden Dialog zwischen den Akteuren der Küstenwasserwirtschaft. Eine Verständigung auf gezielte Anpassungsmaßnahmen gründet auf einer Gruppe oder einzelnen Wasserindikatoren und vorgegebenen Zielfunktionen. Durch den physikalischen Hintergrund der Indikatoren soll die Vertrauenswürdigkeit abgeleiteter Maßnahmen bekräftigt werden.

Die erste Version der CAM-Dialogplattform steht online unter <https://gocam.giscon.de> zur Verfügung und ist für verschiedene Benutzer wie Wasseragenturen, Fachbehörden, Wasserversorger und Boden- und Wasserverbände weltweit zugänglich. Da die Plattform im Rahmen eines gemeinsamen Forschungsprojekts (go-CAM) entwickelt wurde, unterliegt sie einem ständigen Entwicklungsprozess. Obwohl die Entwicklung der CAM-Plattform aus Herausforderungen des Küstenwassermanagements hervorgegangen ist, ist seine Anwendung auch auf andere geographische Regionen möglich.

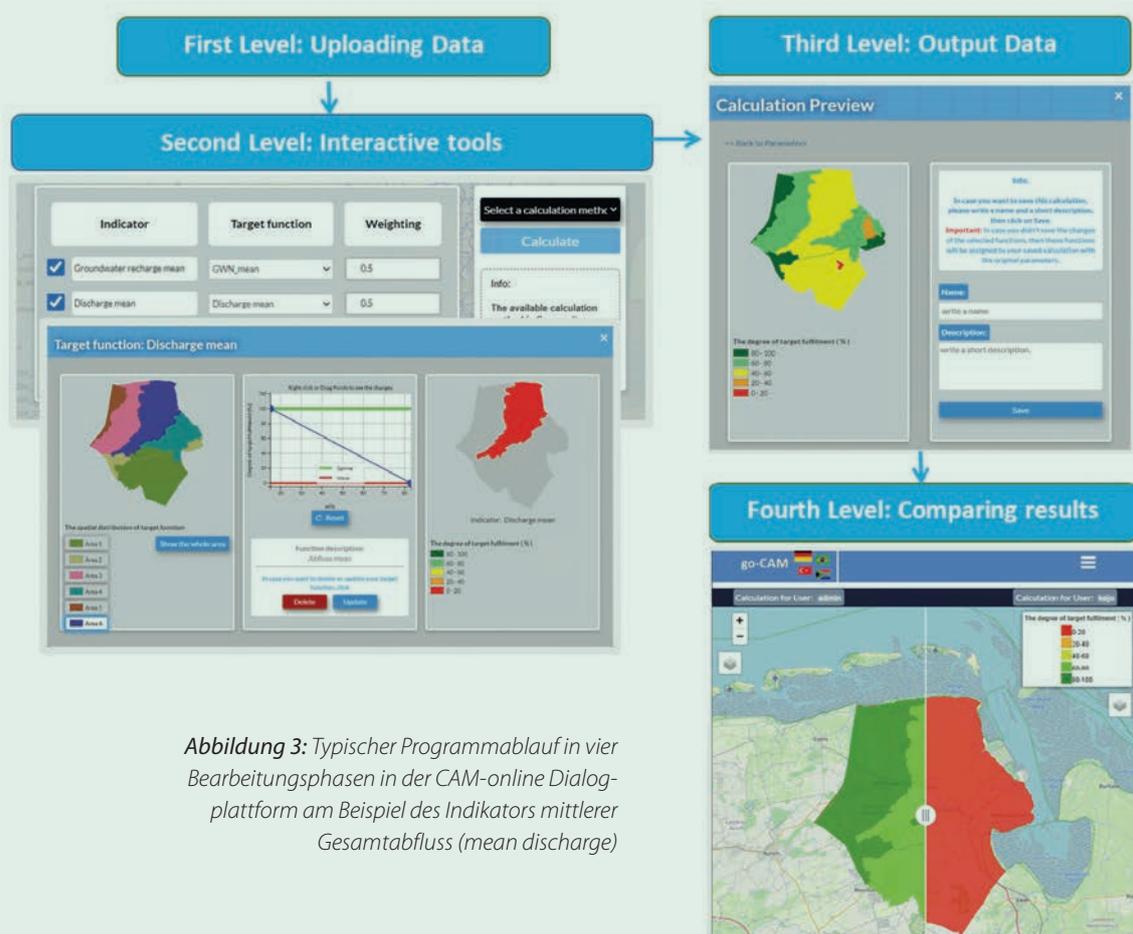


Abbildung 3: Typischer Programmablauf in vier Bearbeitungsphasen in der CAM-online Dialogplattform am Beispiel des Indikators mittlerer Gesamtabfluss (mean discharge)

Die CAM-Plattform kann in vier Ebenen (Bearbeitungsphasen) unterteilt werden:

- Datenimport berechneter Wasserindikatoren aus Szenarien, Zielfunktionen, ergänzende Metainformationen
- Interaktive Auswahl, Parametrisierung der Zielfunktion und Gewichtung von Indikatoren der simulierten Anpassungsmaßnahmen
- Individuelle Bewertung der „Szenarien-Indikatoren“ über MCDA (Indikatoren – Zielfunktionen) durch die beteiligten Akteure, Visualisierung der Bewertung
- Partizipatorischer Dialogprozess der Akteure, ggf. Änderungen der Bewertungskriterien (Zielfunktionen), Findungsphase von Konsensen

INNOVATIVE ASPEKTE

- Entwicklung und Anwendung einer online-Dialogplattform zur Bewertung und Visualisierung von physikalischen Wasserindikatoren generiert aus Hydrosystemmodellierungen
- Impaktmodellierungen und Ausgabe von acht Wasserindikatoren (Nahe Zukunft 2021-2050 + Ferne Zukunft: 2071-2100)
- Erweiterung der 3D-Anwendbarkeit auf 3D-regionale Dichteströmungen in komplexen Küstenlockergesteinsgrundwasserleitern



Das Salzwasser-Überwachungssystem SAMOS und die CAM Online Dialog Plattform wurden im Rahmen des GRoW-Verbundprojekts go-CAM (Implementierung strategischer Entwicklungsziele im Küstenzonenmanagement) entwickelt. Dem Projekt go-CAM ist es gelungen, das Risiko der Salzwasserintrusion in küstennahen Aquiferen besser abzubilden. Dafür berechnen physikalisch basierte Hydrosystemmodelle eine Reihe von systemrelevanten Indikatoren und ihr Trendverhalten unter den Einwirkungen des Klimawandels und des Meeresspiegelanstiegs. Die aus dieser hydrologisch-hydrogeologischen Wirkungsmodellierung gewonnenen Erkenntnisse werden zusammen mit Zielfunktionen in einer innovativen CAM-Dialogplattform (Coastal Aquifer Management) visualisiert, moderiert und mit multikriteriellen Analysen bewertet, um Akteuren der Küstenwasserbewirtschaftung in der Entscheidungsfindung zu unterstützen. Es wurden acht Wasserindikatoren nach UN-SDG-Vorgabe identifiziert, die eine Beurteilung des Zustands der Grundwasserressourcen erlauben. Das der online-Plattform CAM zugrundeliegende Konzept ermöglicht mehreren Nutzergruppen gemeinsam zu kommunizieren, zu bewerten und Lösungen zu erarbeiten.

WEITERE INFORMATIONEN

Kontakt:

TU Braunschweig, Prof. Dr. Hans Matthias Schöniger
& GISCON Geoinformatik GmbH, Michael Sander

BMBF Innovationsatlas Wasser:

<https://www.innovationsatlas-wasser.de/de/produkte/cam-online-dialog-plattform-coastal-aquifer-management>

Link zur CAM Plattform:

<https://gocam.giscon.de/>

SALZWASSER- ÜBERWACHUNGSSYSTEM SAMOS

Das Salzwasser-Überwachungssystem SAMOS wurde entwickelt, um die Qualität des Wassers im Untergrund kontinuierlich zu beobachten und eine möglicherweise zunehmende oder aufsteigende Versalzung früh zu erkennen und früh Warnung geben zu können.

Der Klimawandel sowie demographische Entwicklungen beeinflussen mit unsichtbaren Sekundäreffekten unser Grundwasser. Besonders an Küsten und auf Inseln besteht die Gefahr einer Grundwasserversalzung.

SAMOS überwacht die Qualität des Wassers im Untergrund nicht nur punktuell, sondern über eine Strecke von etwa 25 Metern. Mehrmals am Tag wird der spezifische Widerstand gemessen. Damit kann das Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG) früh Warnung geben, wenn aufsteigendes Salzwasser Förderbrunnen von Wasserwerken gefährdet.

Die Echtzeitauswertungen sind für die Wasserversorger jederzeit einsehbar und weiter verwertbar. Sie liefern daher entscheidende Informationen für eine nachhaltige Wasserbewirtschaftung. Mit einem integrierten Solarpanel versorgt sich die Monitoringanlage selbst mit Energie und kann so langfristig Daten sammeln.

SAMOS basiert auf der Gleichstromgeoelektrik und besteht aus einer vertikalen Elektrodenstrecke, die fest in eine Bohrung eingebaut wird. Über das automatisch arbeitende Messsystem an der Erdoberfläche wird ein elektrischer Strom in die Erde eingespeist und das Potenzialfeld gemessen. Der daraus ermittelte elektrische Widerstand ist ein Indikator für die Salinität des Grundwassers.

SAMOS wurde bereits an drei Standorten an der niedersächsischen Küste verbaut. Das System ist weltweit einzigartig.

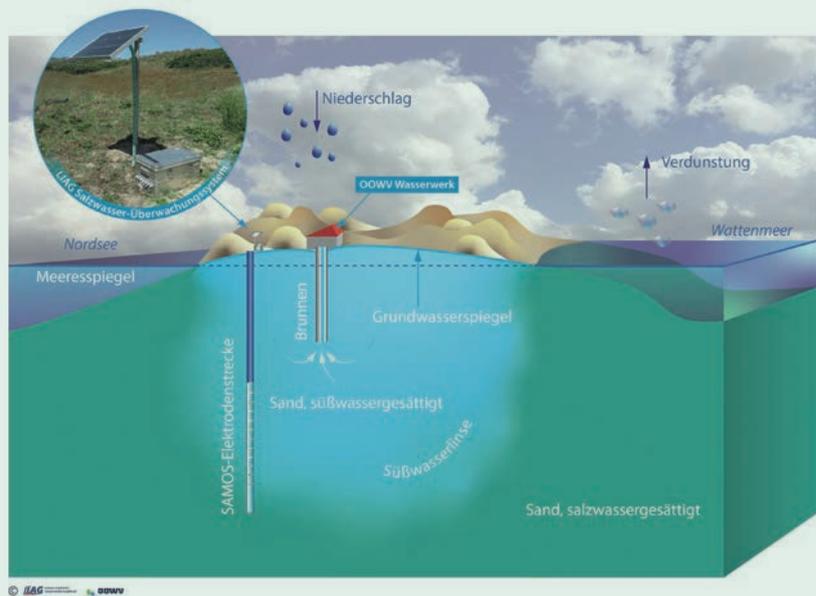


Abbildung 4: Überwachung der Süß-Salzwassergrenze auf Spiekeroog.
© Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG)

INNOVATIVE ASPEKTE

- Die frühzeitige Erkennung von Salzwasserintrusion ermöglicht es, ein geeignetes Fördermanagement rechtzeitig einzuleiten
- Messungen sind nicht nur punktuell, sondern auf einer Strecke von 25 Metern möglich
- Autarke Energieversorgung durch Solarpanel ermöglicht eine kontinuierliche Messung

FALLSTUDIE SPIEKEROOG

„Als öffentliche Wasserbehörde haben wir die verantwortungsvolle Aufgabe, die nachhaltige Bewirtschaftung der Grundwasserressourcen in der Region zu gewährleisten und gleichzeitig die hohe Versorgungssicherheit für unsere Kunden zu erhalten. Die Forschungsk Kooperation mit LIAG und die Installation des SAMOS-Monitoring-System ist ein weiterer wichtiger Baustein, um dieser Verantwortung gegenüber unseren Kunden und der Umwelt bestmöglich gerecht zu werden“

Dr. Konstantin Scheihing, OOWV

Da Süßwasser leichter ist als Salzwasser, bilden sich im Untergrund von Inseln so genannte Süßwasserlinsen, umgeben von Salzwasser. Die nachhaltige Nutzung dieser Süßwasserressourcen ist eine besondere Herausforderung auf Nordseeinseln wie Spiekeroog, wo der Klimawandel die Grundwasserneubildung beeinflusst und die Zunahme des Tourismus den Wasserbedarf steigen lässt. Eine erhöhte Grundwasserentnahme kann zu einer nachteiligen Verschiebung der Süßwasser-Salzwasser-Grenze im Untergrund führen. Die Folge wäre eine zunehmende Versalzung des Grundwassers, was die gesamte Wasserversorgung der Inseln gefährden könnte. Um die Lage der Süß- und Salzwassergrenze unter Spiekeroog besser kontrollieren zu können, haben LIAG-Wissenschaftler zusammen mit dem Oldenburgisch-Ostfriesischen Wasserverband (OOWV) das Messsystem SAMOS installiert: Eine vertikale Anordnung von Elektroden mit einer Länge von etwa 24 Metern wurde in einem Bohrloch in 30 bis 54 Metern Tiefe angebracht. Diese wurde dann mit einer Messstation an der Oberfläche verbunden. Die go-CAM-Plattform ermöglicht hier die digitale, zeitnahe und praxisorientierte Aufbereitung der Daten. Der OOWV kann die Daten jederzeit einsehen und weiter nutzen. Auch im Nahfeld der Grundwasserfassungsanlagen im Fördergebiet Sandelermöns wurden SAMOS-Standorte installiert.



WEITERE INFORMATIONEN

Kontakt:

Leibniz-Institut für Angewandte

Geophysik, Prof. Dr. Mike Müller-Petke

BMBF Innovationsatlas Wasser:

<https://www.innovationsatlas-wasser.de/de/produkte/samos-saltwater-intrusion-monitoring-system>

Publikation: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/nsg.12115>

Tech Brief:

https://www.innovationsatlas-wasser.de/fileadmin/2021-07-21T11_02_13_02_00-TechBrief_deu_layout1.pdf

Video:

https://www.youtube.com/watch?v=5v_4GGIZ3IA&ab_channel=Leibniz-Institut+f%C3%BCrAngewandteGeophysik

WATER SAFETY PLAN-TOOL FÜR RISIKOMANAGEMENT IN DER TRINKWASSERVERSORGUNG

Das WSP-Tool ist ein neuartiges Entscheidungsunterstützungssystem zur Steigerung und Gewährleistung der Versorgungssicherheit in der Trinkwasser-versorgung. Es orientiert sich am Konzept des Water Safety Plan (WSP), das von der WHO empfohlen wird, um die strategischen Entwicklungsziele für sauberes Trinkwasser sicher erreichen zu können.

Das WSP-Tool ist eine datenbankbasierte Fachanwendung und ermöglicht die Risikoanalyse in der Trinkwasserversorgung. Es unterstützt ein zielgerichtetes Management von Wasserressourcen und bietet eine Grundlage für die Entwicklung von Monitoringsystemen und weiteren Maßnahmen zur Sicherung der Wasserqualität. Der Schwerpunkt bei der Entwicklung lag auf der Betrachtung des Einzugsgebietes. Dabei können sowohl Grundals auch Oberflächenwassereinzugsgebiete bewertet werden. Auch die Abbildung der weiteren Schritte der Wasserversorgung von der Gewinnung bis zu Verteilung ist möglich.

Die interaktive Fachanwendung ermöglicht die Erfassung und Bewertung von Risiken in der Wasserversorgung und die Dokumentation von Maßnahmen zur Risikobeherrschung.

Durch die Haltung aller Daten in einer Datenbank sind keine redundanten Eingaben bei der Risikoabschätzung erforderlich. So wird eine einheitliche Dokumentation ermöglicht und der Aufwand bei der Pflege des WSP minimiert.

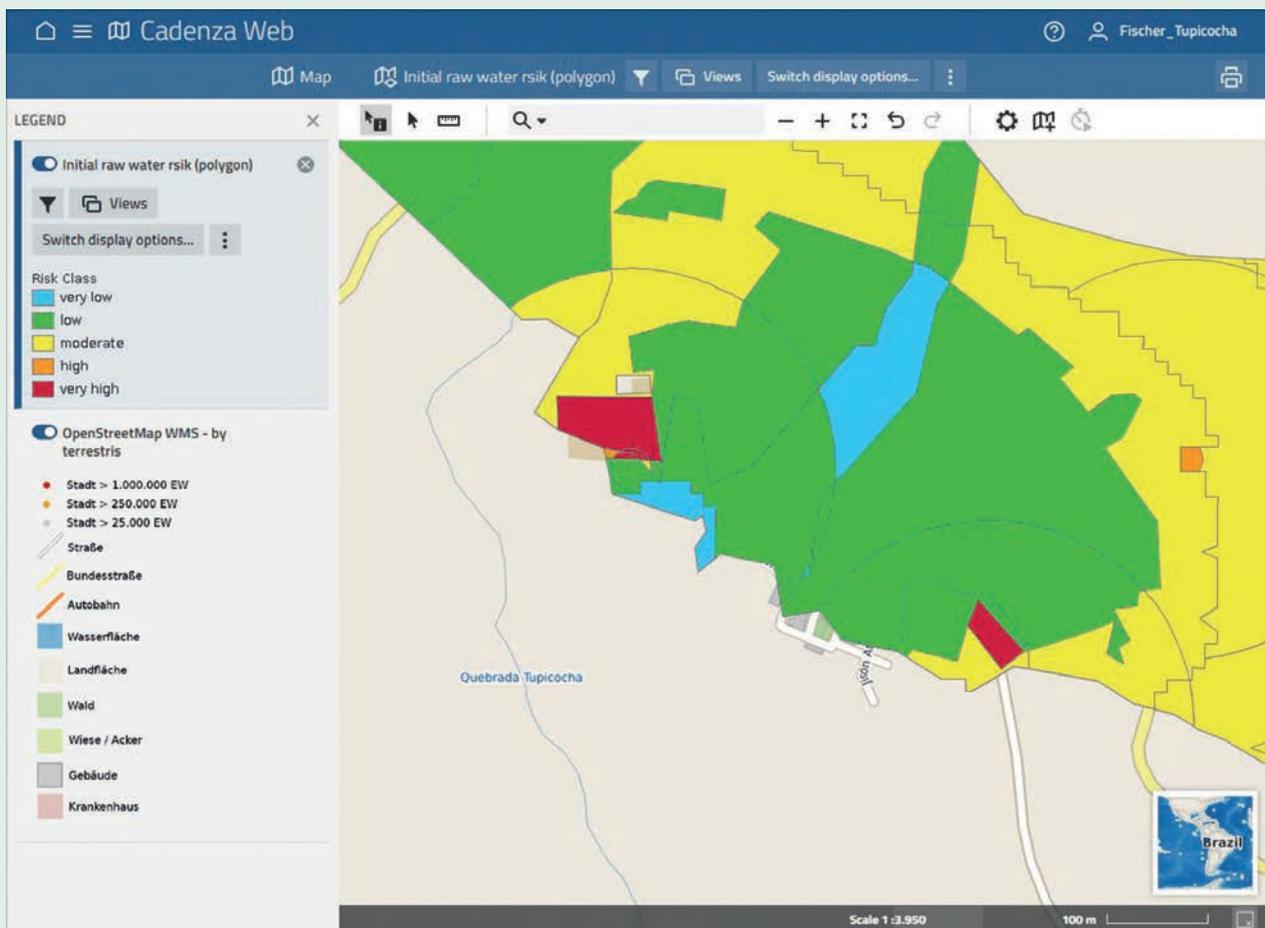


Abbildung 5: Screenshot aus dem WSP-Tool: Kartographische Darstellung des Ausgangsrisikos im Einzugsgebiet der genutzten Quellen von Tupicocha, Peru. © disy, TZW

Einen maßgeblichen Mehrwert gegenüber bereits verfügbaren Hilfsmitteln zur Erstellung eines WSP stellt die Erweiterung um die räumliche Komponente über das integrierte GIS dar, die für ein zielgerichtetes Einzugsgebiets-Risikomanagement unentbehrlich ist. Neben Informationen zur Flächennutzung können Daten zu Gebietseigenschaften wie Hangneigung und Bodenart sowie die Entfernung zur Entnahmestelle in die Bewertung einbezogen werden. Im ebenfalls vom BMBF geförderten Folgeprojekt RISK_Plus als Bestandteil der Fördermaßnahme KMU-innovativ wird das Tool momentan weiterentwickelt, um alle Prozessschritte der Wasserversorgung vollumfänglich abdecken zu können und die Praxistauglichkeit zu optimieren.

INNOVATIVE ASPEKTE

- Datenbankbasierte Web-Anwendung zur Erstellung und Pflege eines Risikomanagementsystems für die Wasserversorgung
- Einbindung der räumlichen Komponente über das integrierte GIS
- Möglichkeit Schutzwirkungen im Einzugsgebiet bei der Risikobewertung flächendifferenziert automatisiert zu berücksichtigen (bspw. abgeleitet aus Informationen zu Boden und Hydrogeologie)

FALLSTUDIE EINZUGSGEBIET LURÍN, PERU

Das WSP-Tool wurde unter anderem am Beispiel eines Teileinzugsgebiets des Río Lurín in Peru getestet. Das Untersuchungsgebiet vereint typische Merkmale von prosperierenden Regionen der Welt, die durch Wasserknappheit und komplexe Governancestruktur einerseits und mangelhafte Datenlage und zum Teil extreme klimatische Bedingungen andererseits charakterisiert sind. Das ausgewählte Teileinzugsgebiet liegt im Andenhochland und dient mit Hilfe von Quellen und Stauseen für die Trinkwasserversorgung einer Hochlandgemeinde. Die im Gebiet vorhandenen Landnutzungen und weiteren möglichen Auslöser für Gefährdungen der Wasserqualität wurden mit Hilfe des Tools erfasst und bezüglich ihres Risikos bewertet. Die Schutzwirkung des Einzugsgebietes wurde dabei durch die Verwendung des Tools automatisiert berücksichtigt. Dabei können bei der Nutzung von Grundwasser z. B. die Entfernung zur Wasserfassung, Bodenart, Flurabstand und Durchlässigkeit des Grundwasserleiters einbezogen werden, wenn die Datenlage dies zulässt. Im Ergebnis konnten diejenigen Nutzungen identifiziert werden, die das größte Risiko für die Wasserqualität darstellen. Mit Hilfe der im Tool erstellten Karten konnten diese visualisiert werden.



WEITERE INFORMATIONEN

Kontakt:

TZW - DVGW-Technologiezentrum
Wasser Karlsruhe, Dipl. Geoökol.
Sebastian Sturm

BMBF Innovationsatlas Wasser:

<https://www.innovationsatlas-wasser.de/de/produkte/water-safety-plan-tool-fuer-das-risikomanagement-in-der-trinkwasserversorgung>

BERECHNUNG DER GRUNDWASSERNEUBILDUNG IN KARSTAQUIFEREN

Zur präzisen Berechnung der Grundwasserneubildung mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung wurden drei Methoden angewendet:

- Soil and Water Assessment Tool (SWAT)
- Hydro-Pedo-Transfer-Funktionen (HPTF)
- Prozess-basiertem Infiltrationsmodell (PIM)

Diese Methoden sind in sich grundverschieden, aber wurden für den verkarsteten Western Mountain Aquifer getestet.

SWAT berechnet den Wasserhaushalt auf täglicher Basis mit räumlichen Informationen zu Landnutzung, Bodeneigenschaften und Topografie, welche individuelle Hydrological Response Units (HRUs) bilden, sowie Klimadaten. Mehrere HRU's eines Teileinzugsgebiets bilden einen Subbasin. Die Berechnungen basieren auf empirischen Gleichungen und liefern genaue Daten mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung. Das SWAT-Modell kann mit Beobachtungsdaten wie Oberflächenabfluss oder tatsächlicher Evapotranspiration kalibriert werden und passt sich sensitiven Parametern wie dem Übertragungsverlust an. In der Praxis zeigte sich, dass mit SWAT die Grundwasserneubildung eines Karstaquifers zeitlich und räumlich hochaufgelöst berechnet werden kann.

FALLSTUDIE WESTERN MOUNTAIN AQUIFER, ISRAEL UND WESTBANK

Der Western Mountain Aquifer (WMA) weist große räumliche Unterschiede in der Grundwasserneubildung auf. Die nördlichen und westlichen Teile des Gebiets tragen am meisten zur Gesamtanreicherung bei. Im Durchschnitt tragen zwischen 32-35% des Niederschlags in der Neubildungszone zur Grundwasseranreicherung bei, während der Rest verdunstet oder zu Oberflächenabfluss wird. SWAT berechnet eine durchschnittliche jährliche (Sep-Aug) Grundwasserneubildung von 199 mm für den Zeitraum 09/1979 – 08/2019, während das PIM 184 mm und die HPTF's 170 mm ermitteln. Die in Abbildung 6 zum Vergleich dargestellte Methode nach Abusaada (2011) berechnet eine Grundwasserneubildung von 202 mm/a. Zwei Klimaprojektionsmodellen zufolge könnte die mittlere Grundwasserneubildung im WMA des Zeitraums 2050-2070 um 16% bis 25% niedriger sein als 1980-2000.

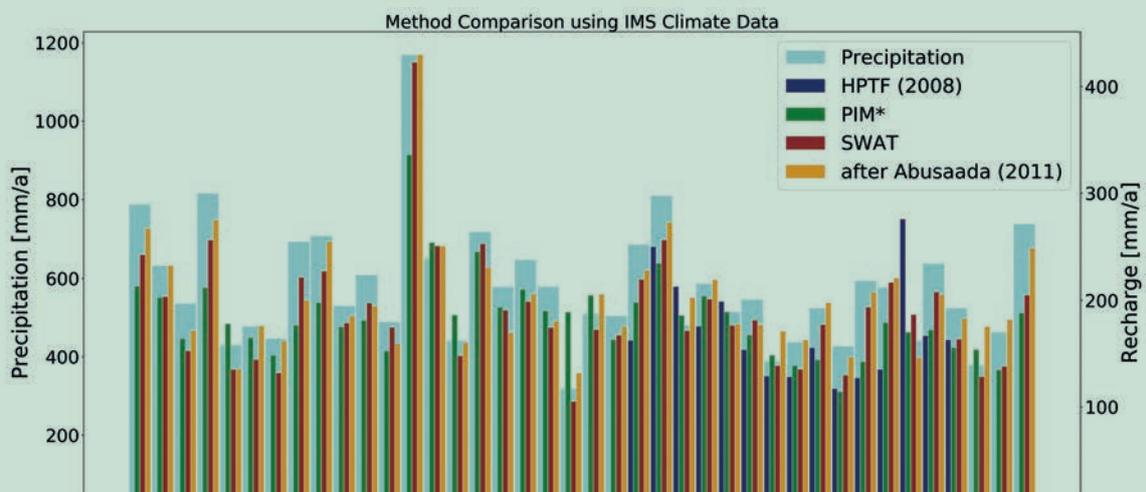


Abbildung 6: Angewendete Methoden zur Berechnung der Grundwasserneubildung des Western Mountain Aquifer, wobei die Grundwasserneubildung der Methoden HPTF, SWAT und PIM sich aus einer schnellen und langsamen Fließkomponente zusammensetzt. Da die HPTF nur die langsame berechnen, wurde die schnelle Grundwasserneubildung des SWAT-Modells hinzugefügt. © Paul Hepach / Hydrogeologie, TU Berlin

Hydro-Pedo-Transfer-Funktionen (HPTF) wurden erstmals von Wessolek et al. (2008) entwickelt in Anlehnung an Lins (2003) „Hydropedologie“ Ansatz – die Integration von Methoden aus der Boden-, Pflanzen-, und Wasserwissenschaft. HPTF berechnen jährliche Perkolationsraten auf regionaler Ebene, wurden allerdings für das europäische Kontinentalklima entwickelt und hier zum ersten Mal auf andere Klimazonen und Karstgebiete angewendet. Die empirischen Funktionen basieren auf der Wasserhaushaltsgleichung von Böden und berücksichtigen den Jahresniederschlag, potenzielle Evapotranspiration, Bodeneigenschaften und Vegetation.

Das Prozess-basierte Infiltrationsmodell (PIM) ist ein semi-distributed dual-domain Wasserhaushaltsmodell (Schmidt, 2014), das die Grundwasserneubildung auf dem Subbasin level des SWAT-Modells auf täglicher Basis berechnet. Die dual-domain des PIM besteht aus einer Bodenschicht mit einer Feldkapazität von 130 mm und dem exponierten Epikarst mit einer Feldkapazität von 10 mm, wodurch eine größere und schnellere Grundwasserneubildung erzeugt wird. Kalibriert wird das PIM durch eine flächenhafte Anpassung der beiden an der Oberfläche anstehenden Typen (Boden/Epikarst) mit dem langjährigen Mittel der Grundwasserneubildung.

Es zeigte sich, dass trotz der hohen räumlichen Auflösung die HPTFs lediglich die langsame Grundwasserneubildung bestimmen können. Sie sind nicht in der Lage, die schnelle Fließkomponente, die sehr relevant für die Infiltration im Karst ist, zu erfassen. Als Ergebnis wird die Grundwasserneubildung unterschätzt. Durch Addierung der schnellen Fließkomponente aus dem SWAT-Modell können jedoch auch mit HPTF realistische Neubildungswerte berechnet werden. Das PIM hingegen konnte wie das SWAT-Modell die jährliche Varianz und räumliche Verteilung gut abbilden. Die mittleren Grundwasserneubildungswerte des PIM sind jedoch niedriger als die fast identischen Werte des SWAT-Modells und der zum Vergleich verwendeten Formel von Abusaada (2011).

INNOVATIVE ASPEKTE

- Erste hochaufgelöste Berechnung der Grundwasserneubildung unter Anwendung von SWAT für den stark verkarsteten Grundwasserleiter des Western Mountain Aquifer: aufgrund des vergleichsweise geringeren Speicherpotenzials ist dies von großer Bedeutung, da Karstgrundwasserleiter sehr anfällig für einen möglichen Rückgang der Niederschläge und der Grundwasserneubildung durch den Klimawandel sind.
- Erstmalige Anwendung von HPTF auf Klimazonen außerhalb des europäischen Kontinentalklimas
- Erste hochaufgelöste Anwendung des PIM für den Western Mountain Aquifer, das keine hohen Rechenkapazitäten oder Landnutzungsdaten benötigt. Diese Methode kann relativ schnell auf andere Aquifere übertragen werden.



WEITERE INFORMATIONEN

Kontakt:

Technische Universität Berlin, Hydrogeologie, Paul Hepach

BMBF Innovationsatlas Wasser:

<https://www.innovationsatlas-wasser.de/de/produkte/berechnung-der-grundwasserneubildung-in-karstaquiferen>

MedWater Technical Notes:

http://grow-medwater.de/home/wp-content/uploads/2021/06/TN_Recharge_SWAT.pdf

http://grow-medwater.de/home/wp-content/uploads/2021/06/TN_HPTFs.pdf

WEBBASIERTES DECISION SUPPORT SYSTEM MEDWATER

Das „Decision Support System“ (DSS) ermöglicht es Stakeholdern, eigene Szenarien zu entwickeln und damit Lösungen für die Optimierung der Nutzung von Grundwasserressourcen abzuleiten. Dafür werden im DSS die Ergebnisse numerischer Modellierungen mit einer analytischen Processing Routine verknüpft.

Das DSS unterstützt die Stakeholder bei einer möglichst effizienten Nutzung der limitierten Ressource Grundwasser des Western Mountain Aquifers in Israel und Palästina. Im Rahmen interaktiver Karten werden die Effekte von Klimawandel und Landnutzungswandel auf die Entwicklung der Wasserressourcen visualisiert und statistisch ausgewertet, sowie zum Datendownload bereitgestellt (Tools „Base data“ und „Statistics“). Hierbei können u.a. die Ergebnisse einer numerischen MODFLOW-Modellierung der TU Berlin bis zum Jahr 2070 aufgerufen werden.

Nutzende können im Tool „Groundwater modeling“ darüber hinaus MODFLOW-Modellläufe aufrufen, neue Brunnen setzen und konfigurieren (Festlegung von Pumpraten bzw. Infiltrationsraten) und

in einer sich anschließenden Post-Processing-Routine Brunnenrichter und Grundwasserspiegelabsenkungen unter Nutzung einer analytischen Theis-Funktion live berechnen. Eine Zeitverzögerung durch lange Rechenzeiten wird dabei vermieden, was die Nutzerfreundlichkeit im Sinne eines Decision Support mit unmittelbarer Systemantwort erhöht.

Der Zugang zum DSS und die GUI ermöglichen auch Stakeholdern, die nicht in das MedWater-Projekt involviert sind und keine fortgeschrittenen Modellierungskennnisse haben, eine effektive Nutzung des Systems zur Ableitung eigener Szenarien. Die Datenprozessierung erfolgt dabei über die hoch performanten HDF5 bzw. netCDF-Formate in Verbindung mit der Virtual Raster Technology (vrt). Das webbasierte DSS wurde im Responsive Design umgesetzt, sodass auch eine Nutzung mit mobilen Endgeräten (Tablets) möglich ist.

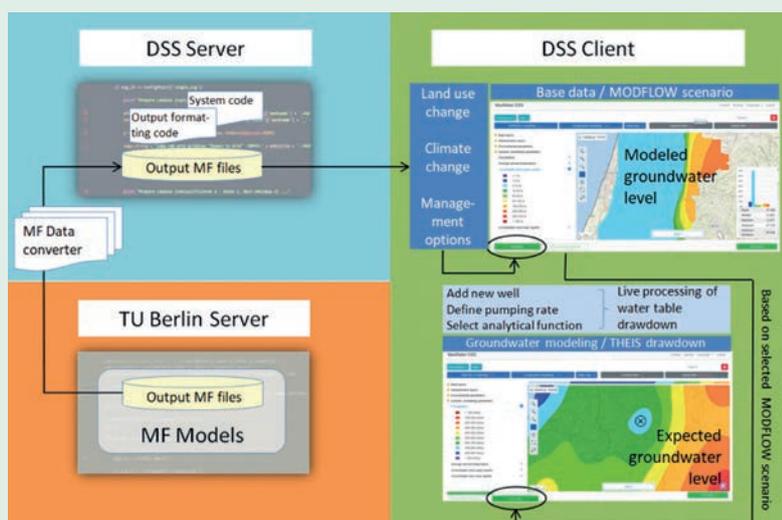


Abbildung 7: MedWater DSS – Konzeptionelles Design und Workflow.
© VisDat geodatentechnologie GmbH.

INNOVATIVE ASPEKTE

- Kopplung der numerischen Modellierung mit nutzerfreundlicher analytischer Live-Prozessierung zur Optimierung der Bewirtschaftung knapper Grundwasserressourcen
- Integration von Modellläufen bis 2070 zur Berücksichtigung von Aspekten des Klimawandels
- Nutzung neuer Webtechnologien zur Datenverarbeitung in der Grundwasserbewirtschaftung
- Webbasierte performante und dynamische Prozessierung großer Datenmengen und Auswertung mit kurzen Reaktionszeiten über den Mapserver

FALLSTUDIE WESTERN MOUNTAIN AQUIFER, ISRAEL UND WESTBANK

Das webbasierte DSS wurde in enger Zusammenarbeit mit den Projektpartnern (u.a. TU Berlin, Hydrologischer Dienst Israels HSI) als Prototyp für ein Referenzgebiet entwickelt und kann von den israelischen Partnern direkt genutzt werden. Die Implementierung der Technologie ist alternativ auch auf einem israelischen Webserver möglich, um HSI-eigene Modelle verwenden zu können. Anpassungen und Transfers in andere Regionen des Mittelmeerraums sind bei entsprechender Datenlage realisierbar. Der im Rahmen von MedWater erfolgte Netzwerkaufbau mit regionalen Entscheidungsträgern sowie technologische Bausteine der Webentwicklung werden auch im Rahmen des seit Juli 2021 laufenden BMBF-geförderten Vorhabens MEWAC-GRaCCE für den Aufbau eines Dürrefrühwarnsystems für die Karstgrundwasserleiter in der Region genutzt.



Das Decision Support System und die zugrundeliegende Berechnung der Grundwasserneubildung in Karstaquifern wurden im Rahmen des GRoW-Verbundprojekts MedWater (Nachhaltige Bewirtschaftung politisch und ökonomisch relevanter Wasserressourcen in hydraulisch, klimatisch und ökologisch hoch-dynamischen Festgesteinsgrundwasserleitern des Mittelmeerraumes) realisiert. Karst-Aquifere stellen

wegen ihrer komplexen geologischen Strukturen eine besondere Herausforderung für die Vorhersage des Grundwasserdargebots dar. Im Projekt MedWater ist es gelungen, generalisierte Modelle für unterschiedliche Typen von mediterranen Karst-Aquifern zu entwickeln und einen Grundwasser Stress Index (GSI) für diese zu berechnen. Darauf basierend wurde die Vulnerabilität von 365 mediterranen Karst-Aquifern in Hinblick auf Klimawandel abgeschätzt. Für den Western Mountain Aquifer in Israel prognostiziert MedWater, dass sich die durchschnittliche jährliche Grundwasserneubildungsrate bis 2070 um 18% verringern wird, und dadurch der Grundwasserspiegel langfristig um weitere 5 m sinken könnte.

WEITERE INFORMATIONEN

Kontakt:

VisDat geodatentechnologie GmbH,
Dr. Michael Gebel

MedWater Technical Note:

http://grow-medwater.de/home/wp-content/uploads/2021/06/TN_DSS.pdf

BMBF Innovationsatlas Wasser:

<https://www.innovationsatlas-wasser.de/de/produkte/webbasiertes-decision-support-system-medwater>

NUMERISCHE SIMULATION DES GRUNDWASSERSPIEGELS IN EINER KÜNSTLICH BEWÄSSERTEN REGION ZUR BESTIMMUNG DES WASSERFUSSABDRUCKS VON BAUMWOLLE

Um die Wechselwirkung zwischen Bewässerungskanälen und dem Grundwasser im Rechna Doab zu untersuchen, wurde ein hydraulisches Grundwasserströmungsmodell entwickelt. Hauptziel des Modells ist die Simulation des Grundwasserpegels im Rahmen von verschiedenen Szenarien, sowie die Berechnung des Wasseraustauschs zwischen einzelnen Regionen.

Das Grundwasserströmungsmodell wurde in Feflow aufgebaut und bildet neben mehreren Bodenschichten die erfassten Bewässerungskanäle in der Region ab. Das Modell stützt sich auf Produkte der Projektpartner wie Klimaszenariensimulationen in SWAT für den Wasserverbrauch der Landwirtschaft oder satellitengestützte Landnutzungsklassifikation. Für die Simulation des zukünftigen Grundwasserspiegels wurden drei Szenarien beachtet: Zwei Szenarien mit identischer Bewirtschaftung, aber unterschiedlichen zugrunde liegenden Klimaprojektionen sowie ein drittes Szenario, das von umfangreichen staatlichen Eingriffen ausgeht, um die Versickerung in den Kanälen zu verringern und die Bewässerungseffizienz insgesamt zu erhöhen. Diese großskaligen Restaurationen der Bewässerungskanäle werden von vielen Institutionen in Pakistan gefordert. Unser Projekt zeigte jedoch, dass die Versickerung aus den Bewässerungskanälen essentiell für den Erhalt der Aquifere ist und der Grund-

wasserkörper einen hervorragenden saisonalen Wasserspeicher darstellt, da private Brunnen weit verbreitet sind und relativ günstig betrieben werden können. So kann in Trockenzeiten eine Reduktion des Wassers in den oberflächlichen Bewässerungskanälen sehr verlässlich mit Grundwasser substituiert werden, um die Ernte sicherzustellen.

Die ermittelten Daten fanden außerdem Eingang in ein Modell zur regional-spezifischen Berechnung des Wasserfußabdrucks der produzierten Baumwolle.

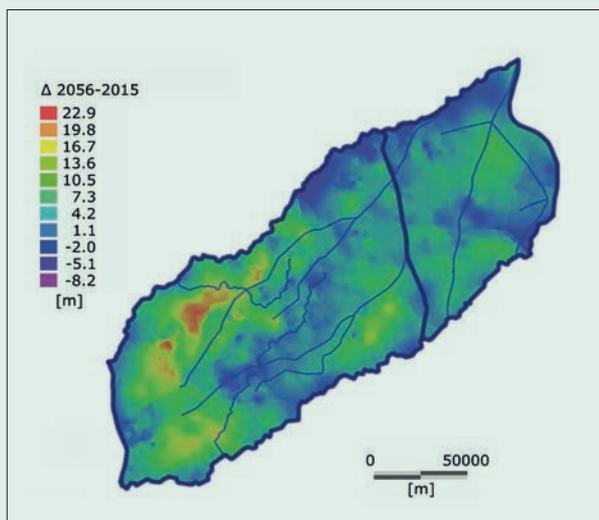


Abbildung 8: zeigt das Modellierungsergebnis für die Differenz der Grundwasserstände im 2056 und 2015 in Metern für das Szenario RCP4.5 im gesamten Modellgebiet, dem Rechna Doab. © RWTW-IWW

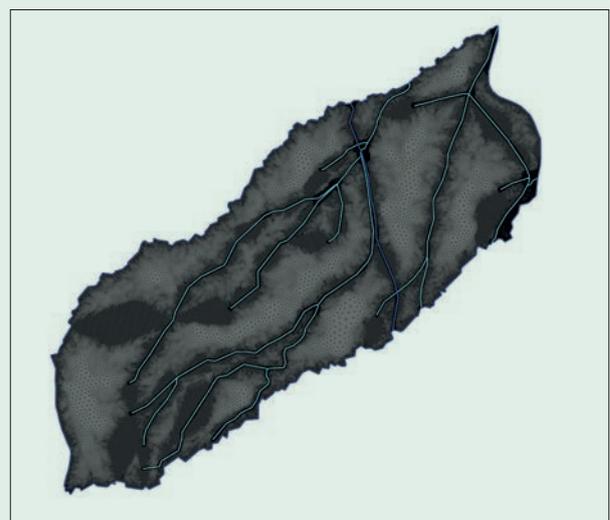


Abbildung 9: Überblick über das Modellgebiet mit dem dreieckigen Finite-Elemente-Netz mit mehr als 250.000 Knoten. Die größten Bewässerungskanäle im Modell sind farblich hervorgehoben. © RWTW-IWW

INNOVATIVE ASPEKTE

- Modellkopplung eines 1D Kanalmodells mit dem Grundwassermodell technisch demonstriert, aber nur bei ausreichender Datenlage praxistauglich
- Berechnung der Grundwasserdynamiken in Zusammenhang mit Baumwolle in hoher Auflösung, um einen regional-spezifischen Wasserfußabdruck berechnen zu können, der weit über bisherige Schätzwerte auf nationaler Ebene hinausgeht

FALLSTUDIE RECHNA DOAB, PUNJAB, PAKISTAN

Im Modellgebiet, dem Rechna Doab, deuten die Ganglinien der hydraulischen Grundwasserhöhe von 588 Brunnen darauf hin, dass der Grundwasserspiegel in den letzten zehn Jahren konstant geblieben oder sogar gestiegen ist. Bei 33 % der Brunnen, die sich teilweise im hinteren Teil des Bewässerungssystems befinden, wurden Tendenzen zu sinkendem Grundwasser beobachtet. Die Wasserhaushalts-Analyse deutet darauf hin, dass die Versickerung aus den Bewässerungskanälen den größten Einzelbeitrag zur Grundwasserbilanz leistet.



Die Auswirkungen von Klimawandel und Szenarien für den Baumwollanbau auf das Grundwasser wurden im Rahmen des GROW-Verbundprojekts InoCottonGROW (Globale Baumwoll-Textilindustrie: der deutsche Wasserfußabdruck in Pakistan) mit Hilfe eines numerischen Grundwasserströmungsmodells bewertet. InoCottonGROW hat den Wasserfußabdruck der globalen Baumwoll-Textilindustrie, entlang der gesamten Wertschöpfungs-

kette vom Baumwollfeld zur Textilindustrie und Abwasserreinigung untersucht. Dabei wurde nicht nur der direkte Wasserverbrauch, sondern auch die Wasserverschmutzung betrachtet. Der entwickelte Wasserfußabdruck-Rechner erlaubt Entscheidungsträgern, die damit verbundenen Auswirkungen auf menschliche Gesundheit und Ökosysteme zu quantifizieren und verschiedene Maßnahmen für eine Reduktion des Wasserfußabdrucks zu vergleichen. Wichtig ist dabei, die lokalen Auswirkungen durch Monitoring, Modellrechnungen sowie Analysen der Landwirtschaftssysteme und Färbetechnologien zu bewerten. Für die Fallstudie im Rechna doab, Punjab, Pakistan, wurde so gezeigt, welchen Beitrag bessere Bewässerungstechnologien und hitzeresistenteres Saatgut in der Baumwollproduktion, sowie funktionierende Abwasserreinigungsanlagen leisten könnten.

WEITERE INFORMATIONEN

Kontakt:

Lennart Schelter, Dr. Holger Schüttrumpf, RWTH Aachen

Projekt-Webseite:

<https://www.inocottongrow.net/>

ENTWICKLUNG GROSSRÄUMIGER REGIONALER GRUNDWASSERMODELLE

Die hochaufgelöste globale Simulation von Grundwasserneubildung und die Abschätzung typischer Reaktionszeiten von oberflächennahen Aquifersystemen ermöglichen es, abzuschätzen wie stark und wie schnell globale oberflächennahe Aquifersysteme auf veränderte Neubildung unter Klimawandel reagieren.

Die Entwicklung von großflächigen regionalen Grundwassermodellen ist mit vielen Schwierigkeiten verbunden, wie zum Beispiel der geringen Verfügbarkeit von hydrogeologischen Daten, fehlender Informationen zu Mächtigkeiten von Grundwasserleitern, aber auch fehlender hochaufgelöster Grundwasserneubildungsraten. Erschwert wird die Kalibrierung von regionalen Grundwassermodellen zusätzlich durch ihre relativ grobe Auflösung, die nicht zur Skala lokaler Grundwasserdaten passt.

Das hydrologische Mehrskalensmodell mHM liefert erstmals in hoher Auflösung sowohl global Abfluss- als auch Grundwasserneubildungsraten, die als Antrieb- und Randbedingungen für regionale Grundwassermodelle genutzt werden können. Dafür wurde mHM-global für über 5550 Einzugsgebiete (basierend auf der GRDC Datenbank) weltweit aufgesetzt, modelliert und gegen Observationsdaten, wie zum Beispiel (a) FLUXNET/FLUXCOM ET Produkte und (b) GRACE -Datensätze (TWS) evaluiert. Bisherige Analysen zeigen eine gute Performance gegen GRACE and FLUXNET Daten.

Die entwickelten regionalen Grundwassermodelle wurden mit OpenGeoSys - OGS (Kolditz et al., 2012) erstellt. Es wurde eine neue robustere Kalibrierungsmethode entwickelt, die zunächst obere und untere Schranken für hydraulische Parameter wie die Transmissivität und den Speicherkoeffizienten anhand von Topographie und Abfluss identifiziert - also anhand von Daten, die immer vorliegen. Liegen zusätzlich Grundwasserzeitreihen vor, können die hydraulischen Parameter durch die Nutzung von zeitlichen Momenten weiter eingeschränkt genutzt werden.

INNOVATIVE ASPEKTE

- Erstmals weltweit und in hoher Auflösung Lieferung von Datenprodukten zu Grundwasserneubildung und Abfluss
- Neue, robustere Methoden für Parametrisierung und Kalibrierung großskaliger Grundwassermodelle auf Grundlage von Abflussdaten, digitalen Geländemodellen und Grundwasserzeitreihen

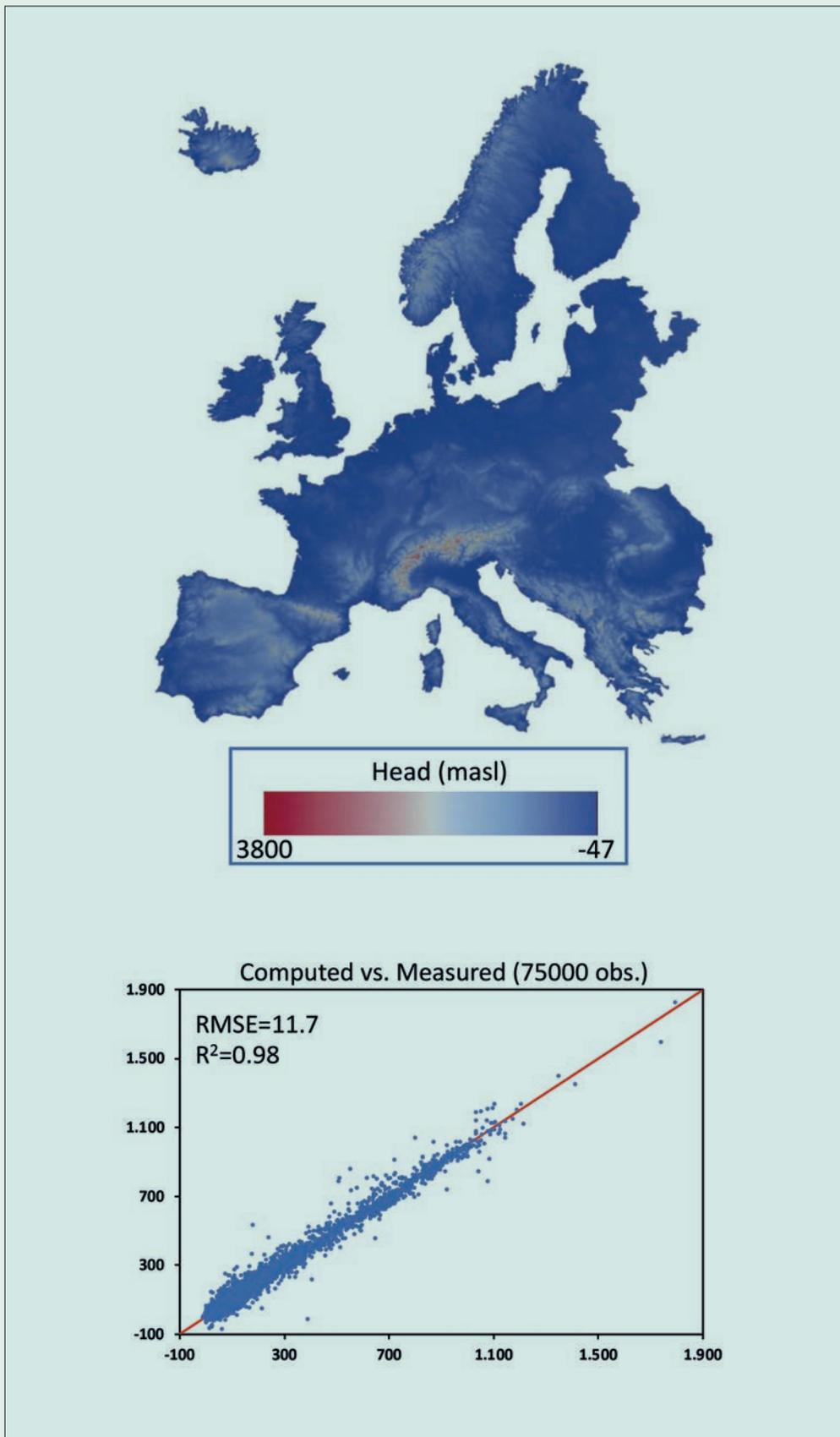


Abbildung 10: Stationäre Grundwasserhöhenverteilung für Europa (links) und der Vergleich zwischen gemessenen und modellierten Werten (rechts) für 75000 Beobachtungspunkte (Daten von Fan et al., 2013)

FALLSTUDIE DONAU

Für die gesamte Donau wurde ein regionales Grundwassermodell aufgesetzt und der Bewässerungsbedarf mit dem Modell PROMET berechnet. Der Bewässerungsbedarf wurde aus dem Grundwassermodell entnommen und der Einfluss dieser Wasserentnahmen auf die Grundwasserspiegel untersucht. Der Unterschied zwischen Szenarien mit und ohne Wasserentnahme beläuft sich auf insgesamt kumuliert $6 \cdot 10^{10} \text{ m}^3$. Insbesondere erlaubt es das erstellte Grundmodell, die charakteristischen Antwortzeiten auf Wasserentnahmen zuverlässig wiederzugeben.

EUROPÄISCHE GRUNDWASSERMODELLE

Es wurden regionale Grundwassermodelle für ganz Europa aufgebaut. Alle Modelle basieren auf der vorher neu entwickelten Parametrisierungsmethode. Hydraulische Parameter werden mithilfe der Spektralanalyse von Basisabflüssen bestimmt. Dabei wurde es möglich, typische Reaktionszeiten von oberflächennahen Aquifersystemen auf Klimawandeleffekte abzuschätzen.



Um regionales Grundwassermanagement zu erlauben, wurden im Rahmen des GRoW-Verbundprojekts ViWA (Effiziente und nachhaltige globale Wassernutzung) großräumige regionale Grundwassermodelle entwickelt, die oberflächennahe Grundwassermengen und

Basisabfluss abschätzen. Im Projekt ViWA ist es gelungen, unter Verwendung von Fernerkundungsdaten und globalen Wetterdaten ein hochaufgelöstes globales Monitoring-system für landwirtschaftliche Wassernutzungseffizienz (AWUE) zu entwickeln. Mit diesem Ansatz können Gebiete mit derzeit geringer (oder hoher) landwirtschaftlicher Wassernutzungseffizienz identifiziert und mögliche Ertragssteigerungen abgeschätzt werden. Für das Einzugsgebiet der Donau zeigt die Analyse, dass eine Ausnutzung der Bewässerungspotentiale für Mais zwar zu einer deutlichen Steigerung der Wassernutzungseffizienz und einer Verdopplung der Maisernte führt (ca. 4.7 Milliarden € mehr Umsatz), aber gleichzeitig gravierende Auswirkungen auf die Gewässerökologie und zusätzlich eine Reduzierung der Wasserkraftproduktion um 2.7% (ca. 156 Millionen € weniger Umsatz) zur Folge hätte.

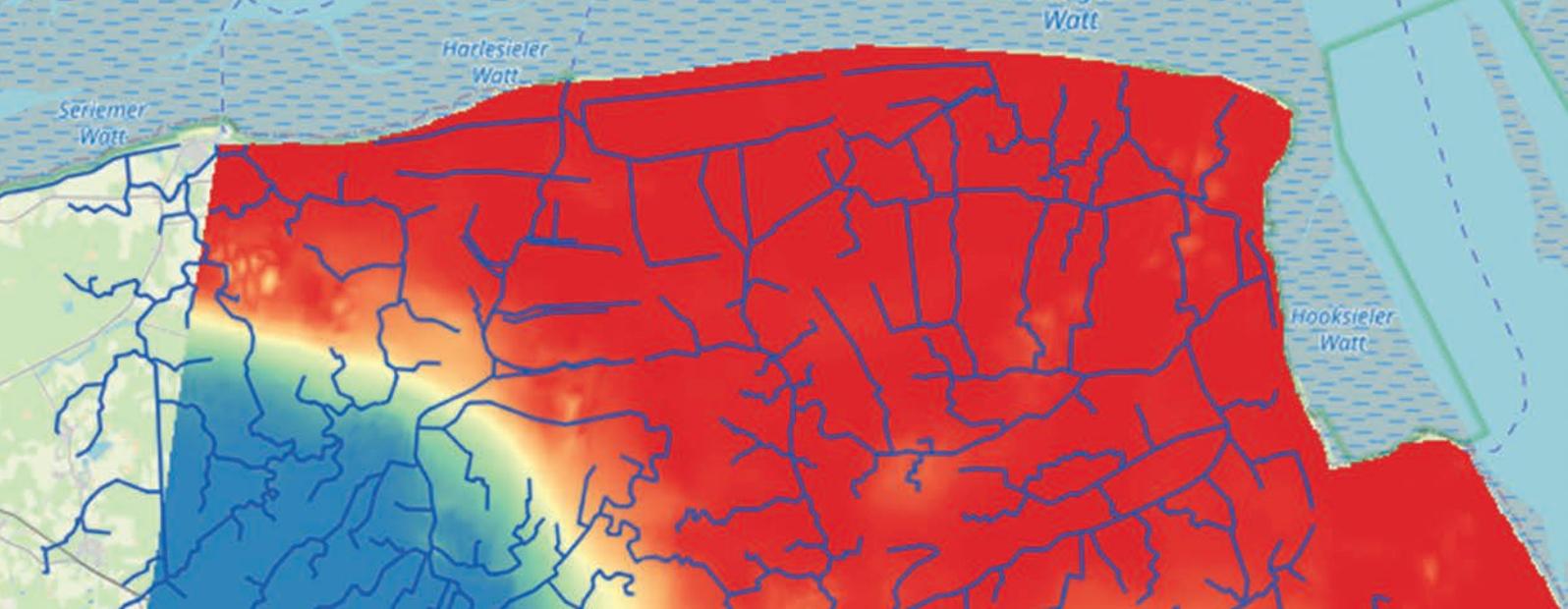
WEITERE INFORMATIONEN

Kontakt:

Prof. Dr. Sabine Attinger, UFZ

Projekt-Website:

Projekt-Website: <https://viwa.geographie-muenchen.de/>



DIE FÖRDERMASSNAHME GROW

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) leistet mit der Fördermaßnahme „Globale Ressource Wasser (GRoW)“ als Teil des BMBF-Rahmenprogramms „[Forschung für nachhaltige Entwicklung \(FONA\)](#)“ einen Beitrag zum Erreichen des SDG 6. GRoW umfasst 12 internationale Kooperationsprojekte mit 90 Partnerinstitutionen aus Deutschland und mehr als 40 Fallstudien weltweit, an denen über einen Zeitraum von mehr als 3 Jahren ca. 300 Expertinnen und Experten aus Forschung, Politik und Praxis beteiligt sind.

Kennzeichnend für GRoW ist die enge Verknüpfung zwischen lokalem und globalem Handeln. Die Projekte erarbeiten zum einen neue Methoden für die Zustandserfassung und Prognose von globalen Wasserressourcen und globalem Wasserbedarf. Zum anderen werden Entscheidungshilfen und Lösungsbeispiele für ein nachhaltiges Wasserressourcenmanagement auf lokaler und regionaler Ebene entwickelt. Um dabei eine langfristige Umsetzung der Ergebnisse zu gewährleisten, werden gesellschaftliche Rahmenbedingungen besonders berücksichtigt und relevante Akteure frühzeitig in die Entwicklungen eingebunden.

IMPRESSUM

Herausgeber:

adelphi research gGmbH
Alt-Moabit 91
10559 Berlin
Tel.: +49 (0)30 89 000 68 0
Email: office@adelphi.de
Web: www.adelphi.de

Redaktion:

Vernetzungs- und Transfervorhaben GRoWnet
Email: grownet@adelphi.de
Web: www.bmbf-grow.de

Ansprechpartner für die BMBF-Fördermaßnahme “Globale Ressource Wasser”

Beim BMBF:

Dr. Helmut Löwe
Bundesministerium für Bildung und Forschung
(BMBF)
Referat 726 – Ressourcen, Kreislaufwirtschaft;
Geoforschung
53170 Bonn
Email: helmut.loewe@bmbfbund.de

Beim Projektträger:

Dr. Leif Wolf
Projektträger Karlsruhe (PTKA)
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen
Email: leif.wolf@kit.edu

Fotos:

Titel: ©Hepach, TU Berlin
Seite 2 und Rückseite: ©GISCON Geoinformatik
GmbH, 2020

Gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Förderkennzeichen: 02WGR1420.

Betreut im Auftrag des BMBF durch den Projektträger Karlsruhe (PTKA) (<http://www.ptka.kit.edu>). Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt allein bei den Autoren. Eine umfangreichere Darstellung der GRoW-Produkte findet sich auch auf der **GRoW-Webseite** (www.bmbf-grow.de) sowie in mehr als 200 wissenschaftlichen Publikationen der Projekte. Die Broschüre ist nicht für den gewerblichen Vertrieb bestimmt. Erschienen im Januar 2022.

