

Hydrologie und Wasserbewirtschaftung

Hydrology and Water Resources Management



Fachartikel

AGRUM-DE als gemeinsames Instrument der Land- und Wasserwirtschaftsverwaltung für die bundesweite Nährstoffmodellierung in Deutschland

Interview

Feuchtgebiete & Moore

Projektbericht

**Hochwasserrisiken verstehen und beeinflussen –
Das Schweizer Mobiliar Lab für Naturrisiken**

Jahresinhaltsverzeichnis 2023

Hydrologie und Wasserbewirtschaftung

Die Zeitschrift Hydrologie und Wasserbewirtschaftung (HyWa) ist eine deutschsprachige Fachzeitschrift, die Themen der Hydrologie und Wasserwirtschaft umfassend behandelt. Sie bietet eine Plattform zur Veröffentlichung aktueller Entwicklungen aus Wissenschaft und operationeller Anwendung. Das Spektrum der Fachbeiträge sollte aus den folgenden Themenbereichen entstammen inklusive deren qualitativen, quantitativen sowie ökologischen Gesichtspunkten:

- Hydrologische Prozesse und Kreislaufgeschehen von Binnen- und Küstengewässern
- Bewirtschaftung der Wasservorkommen
- Wasser- und Stoffflüsse, Gewässerschutz
- Ökologische Studien und Bewertungen
- Limnologische Untersuchungen
- Darstellung und Entwicklung von Grund- und Bodenwasser.

Zur Veröffentlichung werden nur fachlich fundierte, originäre Artikel zu aktuellen Themen zugelassen. Ein Redaktionsausschuss sowie assoziierte Editoren, bestehend aus Hochschulvertretern, Vertretern des Bundes und der Länder, gewährleisten, dass nur qualitativ hochwertige Fachbeiträge veröffentlicht werden (peer review). Die HyWa enthält außerdem einen nachrichtlichen Teil, der über aktuelle Projekte und Studien aus Forschung und Praxis sowie neue Publikationen informiert.

Redaktionsausschuss (Stand: April 2023)

Markus Anhalt,
Niedersächsischer Landesbetrieb für
Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
Prof. Dr. Axel Bronstert,
Universität Potsdam
Prof. Dr.-Ing. Markus Disse,
Technische Universität München
Stephanie Gudat,
Stadtentwässerung Hannover
Prof. Dr. Bruno Merz,
Deutsches GeoForschungszentrum, Potsdam
Dr. Heike Puhlmann,
Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt, Freiburg
Prof. Dr. Britta Schmalz,
Technische Universität Darmstadt
Dr. Natalie Stahl-van Rooijen,
Bayerisches Landesamt für Umwelt
Dr. Jeanette Völker,
Umweltbundesamt
Sebastian Wrede,
Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie

Redaktion:

Dr. Thomas Lüllwitz, Leitung, v.i.S.d.P. • redaktion@hywa-online.de •
Telefon: 0261/1306-5879
Proofreading Englisch: ISL Übersetzungsbüro, 56068 Koblenz

Anschrift:

Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)
Am Mainzer Tor 1 • 56068 Koblenz • www.hywa-online.de

Verlagsrechte:

Die eingereichten Aufsätze und Kurzberichte müssen Originalarbeiten sein. Sie dürfen in der vorgelegten oder in ähnlicher Form weder an anderer Stelle eingereicht noch veröffentlicht sein. Mit der Annahme des Manuskripts willigen die Autoren ein, das eingereichte Manuskript nicht unverändert in einer anderen Zeitschrift zu veröffentlichen.

Hinweis:

Namentlich gekennzeichnete Artikel geben nicht unbedingt die Meinung der Redaktion und des Herausgebers wieder.

Erscheinungsweise:

zweimonatlich im Abo, 34,- €/Jahr, Studententarif 17,- € (gg. Nachweis)
kündbar jeweils drei Monate vor Jahresende

Herausgeber:

BfG für die gewässerkundlichen Fachverwaltungen des Bundes und der Länder

Satz und Druck:

Druckerei des BMDV, Bonn
ISSN 1439-1783
Gedruckt auf FSC-zertifiziertem Papier

The journal Hydrologie und Wasserbewirtschaftung (HyWa) (Hydrology and Water Resources Management) is a German-language periodical which comprehensively reports on hydrological topics. It serves as a platform for the publication of the latest developments in science and operational application. The range of contributions relates to the following subjects that are treated from qualitative, quantitative and ecological aspects

- hydrological processes and circulation of inland and coastal waters
- water resources management
- water and material fluxes, water protection
- ecological studies and assessment
- limnological investigations
- Description and processes of ground- and soilwater.

Only scientifically substantiated articles on current topics are selected for publication. An editing committee comprising representatives from universities, and from the Federal Republic and the Federal States guarantees that only high-quality contributions are published (peer review).

HyWa also contains a news section informing on current projects and studies in research and practice as well as on recent publications.

Assoziierte Editoren (Stand: Januar 2023)

Prof. Dr.-Ing. Jens Bender,
Duale Hochschule Baden-Württemberg
Prof. Dr. Günter Blöschl,
Technische Universität Wien
Prof. Dr. Markus Casper,
Universität Trier
Prof. Dr. Bernd Cyffka,
Universität Eichstätt-Ingolstadt, Eichstätt
Norbert Demuth,
Landesamt für Umwelt, Rheinland-Pfalz
Dr. Svenja Fischer,
Ruhr-Universität Bochum
Prof. Dr.-Ing. Uwe Haberlandt,
Universität Hannover
Dr. Dr. Dietmar Mehl,
biota GmbH
Prof. Dr. Lucas Menzel,
Universität Heidelberg
Prof. Dr. Konrad Miegel,
Universität Rostock
Prof. Dr. Elisabeth I. Meyer,
Universität Münster
Dr. Volker Mohaupt,
Potsdam (ehem. UBA)
Prof. Dr. Heribert Nacken,
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
Dr. Enno Nilson,
Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz
Angela Pfister,
Emschergerossenschaft
Dr. Ina Pohle,
Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz, Berlin
Prof. Dr. Frido Reinstorf,
Hochschule Magdeburg-Stendal
Prof. Dr. Benny Selle,
Beuth Hochschule
Prof. Dr. Markus Weiler,
Universität Freiburg
Prof. Dr. Rolf Weingartner,
Universität Bern

Inhalt | Contents

Vorwort | Foreword

AGRUM-DE als gemeinsames Instrument der Land- und Wasserwirtschaft für die bundesweite Nährstoffmodellierung	4
--	----------

Fachartikel | Scientific reports

DOI: 10.5675/HyWa_2024.1_1 Benjamin Schmidt, Max Eysholdt, Mareike Fischer, Peter Kreins, Astrid Krüger, Ralf Kunkel, Hong Hanh Nguyen, Björn Tetzlaff, Michael Trepel, Markus Venohr, Frank Wendland, Tim Wolters & Maximilian Zinnbauer AGRUM-DE als gemeinsames Instrument der Land- und Wasserwirtschaftsverwaltung für die bundesweite Nährstoffmodellierung in Deutschland AGRUM-DE as a joint instrument of agriculture and water management administration for nationwide nutrient modelling in Germany	6
--	----------

Hydrologische Notizen | Hydrological notes

Aktuelles Latest news	23
Ausbildung Education	43
Interview Interview – Dr. N. Dietrich	45
Projektberichte – Workshops – Konferenzen Project reports – Workshops – Conferences	
Projektbericht Hochwasserrisiken verstehen und beeinflussen – Das Schweizer Mobiliar Lab für Naturrisiken	51

Nachrichten | News

Deutsche Hydrologische Gesellschaft German Hydrological Society	61
Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften Association for Hydrological Sciences	62
Termine Events	63

Jahresinhaltsverzeichnis 2023

Inhaltsverzeichnis Heft 1 bis 6, 67. Jahrgang 2023	64
--	-----------

Die Fachzeitschrift Hydrologie und Wasserbewirtschaftung ist gelistet im:
Science Citation Index Expanded (SCIE), Journal Citation Reports/Science Edition, Scopus und Geobase.

AGRUM-DE als gemeinsames Instrument der Land- und Wasserwirtschaft für die bundesweite Nährstoffmodellierung

Mehr als zwanzig Jahre seit in Kraft treten der EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRRL) in Europa gehört die Belastung des Grundwassers sowie der Oberflächengewässer mit Nährstoffen nach wie vor zu den wichtigen Fragen der Gewässerbewirtschaftung in Europa. Ohne eine deutliche Verringerung der Nährstoffeinträge auf die gesetzlich und ökologisch zulässigen Einträge können die Ziele der Nitratrichtlinie (Richtlinie 91/676/EWG), der EG-Wasserrahmenrichtlinie (Richtlinie 2000/60/EG) und der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (Richtlinie 2008/56/EG) nicht erreicht werden. Da Nährstoffe von unterschiedlichen Verursachern und über vielfältige Eintragspfade in Gewässer gelangen, werden für wirksame Minderungsmaßnahmen breit akzeptierte und räumlich sowie inhaltlich detaillierte Informationen über Herkunft und Menge des Nährstoffeintrags benötigt. Letzterer ergibt sich aus dem Zusammenspiel der unterschiedlichen Nährstoffquellen mit den vielfältigen naturräumlichen und hydrologischen Standortbedingungen. In ihrer Komplexität können Nährstoffeinträge nur mit Hilfe von Modellen adäquat abgebildet werden. Diesen Herausforderungen hat sich das Kooperationsprojekt AGRUM-Deutschland (AGRUM-DE) gestellt.

In dieser Ausgabe der Zeitschrift "Hydrologie & Wasserbewirtschaftung, HyWa" werden die Ergebnisse des Projektes AGRUM-DE vorgestellt, welches vom Thünen-Institut für Lebensverhältnisse in ländlichen Räumen (TL) und den von der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) beauftragten Forschungsinstitutionen Forschungszentrum Jülich (FZJ) und dem Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) durchgeführt worden ist. Das Vorhaben geht auf Diskussionen im Thünen-Institut und innerhalb der LAWA im Herbst 2017 zurück. Die LAWA-Vollversammlung hatte damals beschlossen, dass sie eine bundesweite Modellierung der Einträge von Stickstoff und Phosphor in das Grundwasser, die Oberflächengewässer und die Meere für notwendig und prioritär hält, um insbesondere Anforderungen der Europäischen Kommission in Bezug auf die Berichterstattung zur EG-Wasserrahmenrichtlinie, dem Vertragsverletzungsverfahren Nitratrichtlinie sowie dem WRRRL-Pilotverfahren hinsichtlich Nährstoffe nachkommen zu können. Als Ziele für das Vorhaben wurden damals unter anderem genannt:

- (I) eine einheitliche Abschätzung der Nährstoffüberschüsse auf Grundlage gleicher Datengrundlagen und Methoden für alle Flusseinzugsgebiete mit deutschen Anteilen,
- (II) die Ermittlung von Eintragspfaden und Hotspots, bezogen auf Bundesländer und den deutschen Anteilen der Flussgebietseinheiten,
- (III) die Ermittlung des quantitativen Reduktionsbedarfs für Grund- und Oberflächengewässer, sowie
- (IV) eine vergleichbare Abschätzung der Wirkung von Maßnahmen, insbesondere der novellierten Düngeverordnung.

Von vornherein war es wichtig, dass die Arbeiten in enger Abstimmung zwischen Land- und Wasserwirtschaft erfolgen, um den zwischen beiden Seiten begonnenen Dialog-Prozess fortzusetzen.

Um dies zu gewährleisten, wurde in AGRUM-DE ein Projektbeirat mit Mitgliedern aus den Land- und Wasserwirtschaftsverwaltungen nahezu aller Länder und des Bundes eingerichtet. Die Koordination dieses Projektbeirates wurde von der Geschäftsstelle der Flussgebietsgemeinschaft Weser übernommen. Dem Projektbeirat ist es gelungen, erstmals bundesweit ein gegenseitiges Systemverständnis für Nährstoffumsätze und -bilanzierungen der Akteure der Land- und Wasserwirtschaft zu entwickeln und ein verbessertes gemeinsames Problemverständnis hinsichtlich Nährstoffeinträgen und dem Minderungsbedarf zu erzielen. Der Projektbeirat beriet in acht Sitzungen über die zu verwendenden Eingangsdaten, Zwischenergebnisse zum Wasser- und Stoffhaushalt oder Parameter bei der Berechnung der landwirtschaftlichen Stickstoffüberschüsse. Er formulierte Verbesserungswünsche, zum Beispiel bei der Abbildung von Nährstoffeinträgen aus der Kanalisation, und setzte sich fachlich fundiert mit den Ergebnissen des Modellverbands bezüglich der Nährstoffminderungen ins Grund- und Oberflächenwasser auseinander.

Die drei Forschungsinstitutionen haben die Anregungen der Länder aufgenommen und mit den jeweiligen Landeseinrichtungen lösungsorientiert abgestimmt. So wurde bereits zu Beginn des Projektes von den Ländern angemerkt, dass die räumliche Auflösung der Datenbasis für die harmonisierte Modellierung auf Bundesebene mit bundesweit verfügbaren Datensätzen geringer ist als diejenigen Datengrundlagen vergleichbarer Modellierungen auf Länderebene. Die Modellierer haben daraufhin Anstrengungen unternommen, die Datenbasis zu verbessern. So wurden beispielsweise die Bodendaten der BÜK1000 während des Vorhabens auf die erstmalig im Jahr 2020 vorliegenden Daten der BÜK200 umgestellt. Gleichzeitig ist es gelungen, von allen Landwirtschaftsverwaltungen der Länder betriebliche Daten zur Landnutzung aus dem Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystem (InVeKoS) zur Verfügung gestellt zu bekommen, um damit erstmals einen qualitativ hochwertigen, bundesweit einheitlichen Datensatz für die Ermittlung der Stickstoffüberschüsse verwenden zu können.

Durch diese Arbeitsweise ist es den Kooperationspartnern gelungen, ein nachvollziehbares, räumlich hochauflösendes Nährstoffbilanzierungsmodell für Stickstoff und Phosphor zu entwickeln und erstmals bundesweit einheitlich Minderungsbedarfe in Grund- und Oberflächengewässer abzuschätzen. Die Bundesländer haben diesen Prozess nicht nur durch die fachliche Begleitung, sondern auch durch die Bereitstellung von weiteren Daten, zum Beispiel zur Überprüfung der modellierten Stickstoffkonzentrationen im Sickerwasser mit Messwerten unterstützt.

Das Vorhaben gewann durch das von der Europäischen Kommission angestrebte Vertragsverletzungsverfahren zur Umsetzung der Nitratrichtlinie an Bedeutung. Im Abschlussbericht der Bund-Länder-Projektgruppe zur Entwicklung eines Monitoring-Konzepts für die Bewertung der Wirkung der Düngeverordnung 2020 auf das Grundwasser und die Oberflächengewässer wurde u. a. von den zuständigen Umwelt- und Landwirtschaftsministerien auf Bundesebene entschieden, dass eine bundesweit einheitliche Modellierung auf der Basis des Modellverbands AGRUM-DE erfolgen soll, um die Erkenntnislücke zwischen kurz- und lang-

fristigen Effekten, beispielsweise rückläufigen Bilanzsalden und Entwicklungen an den Grundwassermessstellen, zu schließen.

Die Weiterentwicklung des Modellverbunds wird mit Ende des AGRUM-DE Vorhabens ab dem Jahr 2021 im Begleitarbeitskreis DüV-Wirkungsmonitoring und in der vom BMU und BMEL im März 2021 eingerichteten Projektgruppe zur Umsetzung des "Wirkungsmonitoring Düngeverordnung" fortgeführt und hier weiter vorangetrieben. Voraussetzung für die Anwendung des Modellverbunds AGRUM-DE im Wirkungsmonitoring zur Düngeverordnung ist aber die Weiterentwicklung des Modellverbunds AGRUM-DE, insbesondere im Hinblick auf die Datengrundlagen. Aufbauend auf den Ergebnissen des im Jahr 2022 abgeschlossenen Projekts wird seitdem die Qualität der Eingangsdaten in allen Bereichen des Modellverbunds verbessert. Beispielsweise sollen die Nährstoffüberschüsse in Zukunft auf Grundlage weiterer betrieblicher Daten, z. B. zur Düngung, ermittelt werden. Das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) schafft aktuell die rechtlichen Voraussetzungen zum Abruf der Daten bei den landwirtschaftlichen Betrieben. Erste Bundesländer liefern bereits weitere Daten an eine am Thünen-Institut im Aufbau befindliche Bundesdatenbank. Bei den hydrologischen und stofflichen Modellen wird zum Beispiel die räumliche Auflösung der Eingangsdaten im Bereich Boden weiter erhöht und auf das in vielen Ländermodellen verwendete Niveau gebracht. Zudem wird die Anzahl von Messwerten für Plausibilitätsüberprüfungen deutlich erhöht. Auch diese Arbeiten werden durch einen Begleitarbeitskreis mit Mitgliedern aus den Land- und Wasserwirtschaftsverwaltungen der Länder betreut. Dieser Begleitarbeitskreis setzt die erfolgreiche Zusammenarbeit des Projektbeirats AGRUM-DE fort.

Das Projekt AGRUM-DE hat gezeigt, dass es für die Lösung heutiger Umweltprobleme notwendig ist, das Wissen verschiedener Disziplinen zusammenzuführen und durch diese Koppelung ein besseres Systemverständnis zu erlangen. Die Ergebnisse des Modellverbunds AGRUM-DE liefern wichtige Entscheidungsgrundlagen für umweltpolitische Fragen und tragen dazu bei, die landwirtschaftliche Erzeugung hochwertiger Nahrungsmittel und Rohstoffe mit den Anforderungen des Gewässer-, Klima- und Biodiversitätsschutzes in Einklang zu bringen. Für die Akzeptanz der Modellergebnisse ist es wichtig, dass die zugrundeliegenden Modellkonzepte fachlich überzeugend und nachvollziehbar entwickelt und betrieben werden und dass alle Beteiligten aus den Land- und Wasserwirtschaftsverwaltungen des Bundes und der Länder in den Prozess einbezogen werden. Zudem muss über Plausibilitätsüberprüfungen anhand von Messwerten nachgewiesen werden, dass die Modellergebnisse eine räumliche Repräsentativität aufweisen. Dies ist dem Modellverbund AGRUM-DE gelungen. Die Arbeiten werden nicht zuletzt deshalb im Rahmen des Wirkungsmonitorings zur Düngeverordnung in Deutschland fortgeführt.

*Michael Trepel,
Projektleitung AGRUM-DE zusammen mit Peter Kreins (TI);
Ministerium für Energiewende, Klimaschutz, Umwelt und
Natur des Landes Schleswig-Holstein*

*Benjamin Schmidt,
Projektkoordination; Geschäftsstelle der
Flussgebietsgemeinschaft Weser*

*Mareike Fischer und Astrid Krüger,
Co-Projektleitung AGRUM-DE, Niedersächsisches Ministerium für
Umwelt, Energie und Klimaschutz*

Benjamin Schmidt, Max Eysholdt, Mareike Fischer, Peter Kreins, Astrid Krüger, Ralf Kunkel, Hong Hanh Nguyen, Björn Tetzlaff, Michael Trepel, Markus Venohr, Frank Wendland, Tim Wolters & Maximilian Zinnbauer

AGRUM-DE als gemeinsames Instrument der Land- und Wasserwirtschaftsverwaltung für die bundesweite Nährstoffmodellierung in Deutschland

AGRUM-DE as a joint instrument of agriculture and water management administration for nationwide nutrient modelling in Germany

In dieser Studie wird das gemeinsame Vorhaben der Land- und Wasserwirtschaftsverwaltung für die bundesweite Nährstoffmodellierung in Deutschland (AGRUM-DE) vorgestellt, das von der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) und dem Thünen-Institut finanziert wurde. Neben dem Aufbau eines bundesweit konsistenten Nährstoffmodells verfolgte das Vorhaben das Ziel, den Flussgebietsgemeinschaften Informationen zur Erstellung der Bewirtschaftungspläne für den dritten Bewirtschaftungszyklus 2021 bis 2027 der EG-Wasserrahmenrichtlinie bereitzustellen. Die Untersuchung wurde von einem Projektbeirat mit 51 Mitgliedern der land- und wasserwirtschaftlichen Verwaltungen von Bund und Ländern begleitet, mit welchem die Einzelschritte der Modellierung und die Modellergebnisse nachvollziehbar vorgestellt, diskutiert und teilweise angepasst wurden. Die direkte Einbeziehung der o. a. Verwaltungseinheiten hat dazu beigetragen, eine weitestgehende Akzeptanz des Modellierungsansatzes auf Bundes- und Landesebene herzustellen. Der Bund hat in der Folge beschlossen, den AGRUM-Modellverbund für bundesweite Modellierungen im Rahmen des von der europäischen Kommission von Deutschland geforderten "Wirkungsmonitorings" zur Überprüfung der Wirkung der Düngeverordnung auf das Grundwasser und die Oberflächengewässer fortzuführen und gemeinsam mit den Ländern weiterzuentwickeln.

Schlagerwörter: bundesweite Nährstoffmodellierung, Nährstoffüberschüsse, Wasserhaushalt, diffuse N- und P-Einträge, punktuelle und urbane Einträge, Retention, Frachten, AGRUM-DE

This study presents AGRUM-DE and its results. It is the joint project of agriculture and water management administration for nationwide nutrient modelling in Germany. The Federal/Länder Working Group on Water and the Thünen Institute financed the AGRUM-DE project. In addition to building a nationwide consistent nutrient model, the project aimed to provide the river basin communities with information for the preparation of management plans for the third management cycle (2021 to 2027) of the EC Water Framework Directive. A project advisory board with 51 members from the agricultural and water management administrations of the federal and state governments accompanied the study. There the individual steps of the modelling and the model results were presented, discussed and partly adapted in a comprehensible manner. The direct involvement of the above-mentioned administrative units has helped to establish the broadest possible acceptance of the modelling approach at federal and Land level. The federal government has subsequently decided to continue the AGRUM model network for nationwide modelling as part of the "impact monitoring" required of Germany by the European Commission to review the impact of the Fertiliser Ordinance on groundwater and surface waters and to develop it further together with the Länder.

Keywords: nationwide Nutrient modelling, nutrient surpluses, water balance, diffuse N and P inputs, point and urban inputs, retention, loads, AGRUM-DE

1 Einleitung

Die Nährstoffbelastung der Grundwasserkörper und Oberflächengewässer ist in weiten Teilen der EU zu hoch. Um die Anforderungen der europäischen Richtlinien Nitratrictlinie (1991), Wasserrahmenrichtlinie (WRRL, 2000) und Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (MSRL, 2008) zu erfüllen, müssen sowohl die Verursacher, die wesentlich zur Gesamtnährstoffbelastung in Gewässern beitragen, als auch die entsprechenden Nährstoffeintragungspfade betrachtet werden. Für ein effizientes und zielgerichtetes Nährstoffmanagement werden von der Land- und Wasserwirtschaft darüber hinaus räumlich differenzierte Abschätzungen benötigt, in welchem Umfang verschiedene Minderungsmaßnahmen zur Erreichung der Wasserqualitätsziele beitragen können.

Auch in weiten Teilen Deutschlands werden die Wasserqualitätsziele für Stickstoff und Phosphor verfehlt (BMUV/UBA, 2022; BMU/BMEL, 2020). Daher haben die Bund-/Länder-

Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) und das Johann Heinrich von Thünen-Institut (TI) für Ländliche Räume, Wald und Fischerei zusammen mit dem Forschungszentrum Jülich (FZJ) und dem Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) im Forschungsverbund Berlin e. V. die Untersuchung AGRUM-DE¹ initiiert. Ziel des Vorhabens war es, in enger Abstimmung mit den Land- und Wasserwirtschaftsverwaltungen der Länder und des Bundes die Datenerfassung, -aufbereitung und -auswertung zur Ermittlung der Nährstoffbelastung der Gewässer zwischen Land- und Wasserwirtschaft abzustimmen und zu vereinheitlichen und so ein bundesweit konsistent einsetzbares Instrument für die bundesweite Nährstoffmodellierung in Deutschland zu entwickeln. Als Ergebnis wurde in den letzten fünf Jahren AGRUM-DE als bundesweiter Modellverbund zur Quantifizierung der Stickstoff- und Phosphoreinträge ins Grundwasser und in die Oberflächengewässer mit eintragungspfadbezogener und regionaler

¹ <https://www.thuenen.de/de/institutsuebergreifende-projekte/agrum-deutschland/>

Differenzierung sowie zur Ermittlung des Handlungsbedarfs und möglicher Handlungsszenarien für alle deutschen Flussgebiete entwickelt.

In diesem Beitrag werden die Ergebnisse des Modellverbunds AGRUM-DE zum Jahresende 2021 dokumentiert sowie die Erkenntnisse der Zusammenarbeit mit den Land- und Wasserwirtschaftsverwaltungen der Länder und des Bundes geschildert. Eine detaillierte Methodendokumentation findet sich in dem Abschlussbericht zum Vorhaben (ZINNBAUER et al., 2023). Die Ergebnisse wurden u. a. für die Berichterstattung zur Umsetzung der EG-WRRL in den Bewirtschaftungsplänen und Maßnahmenprogrammen genutzt. Der Bund hat beschlossen, diesen Modellverbund im Rahmen des Monitorings zur Wirkung der Düngeverordnung (DüV) auf das Grundwasser und die Oberflächengewässer (kurz: Wirkungsmonitoring) fortzuführen und gemeinsam mit den Ländern weiterzuentwickeln. Dieses Vorhaben wurde gegen Ende des Projekts konkret und wird im Ausblick thematisiert.

2 Modellverbund AGRUM-DE

Das regionalisierte Agrar- und Umweltinformationssystem für Deutschland (RAUMIS) des Johann Heinrich von Thünen-Institut (TI), das hydrologische/hydrogeologische Modellpaket mGROWA-DENUZ-WEKU-MEPhos des Forschungszentrum Jülich (FZJ) sowie das Nährstoffeintragsmodell MONERIS des

Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) bilden zusammen den Modellverbund AGRUM-DE (Abb. 1). Der Modellverbund wurde zuvor länderübergreifend in der Flussgebietseinheit Weser (HEIDECKE et al., 2015) sowie in zahlreichen Bundesländern in Zusammenarbeit mit den jeweiligen Land- und Wasserwirtschaftsverwaltungen angewendet (TETZLAFF et al., 2017; TETZLAFF et al., 2021; WENDLAND et al., 2021a; WENDLAND et al., 2021b).

In diesem Vorhaben wurde auf bundesweit digital verfügbare Datengrundlagen zurückgegriffen, die von den Fachbehörden der Wasserwirtschaft, der Landwirtschaft sowie den Statistischen Ämtern von Bund und Ländern bereitgestellt wurden. Bei der Auswahl der Datensätze für war entscheidend, dass sie bundesweit flächendeckend konsistent verfügbar waren. Speziell hierfür entwickelte Schnittstellen gewährleisteten den Austausch von Daten, Parametern und Ergebnissen zwischen den unterschiedlichen regionalen Differenzierungen der Modelle mit hoher Genauigkeit (RAUMIS: Gemeinden; mGROWA-DENUZ-WEKU-MEPhos: 100 m x 100 m Raster; MONERIS: Wasserkörper). Die unterschiedlichen Datenformate und -zusammensetzungen wurden speziell für die Verwendung in den oben genannten Modellen umfassend aufbereitet und vereinheitlicht, so dass jetzt zum ersten Mal ein mit den wasser- und landwirtschaftlichen Behörden der Länder und des Bundes abgestimmter umfangreicher Datensatz für deutschlandweite Analysen vorliegt.

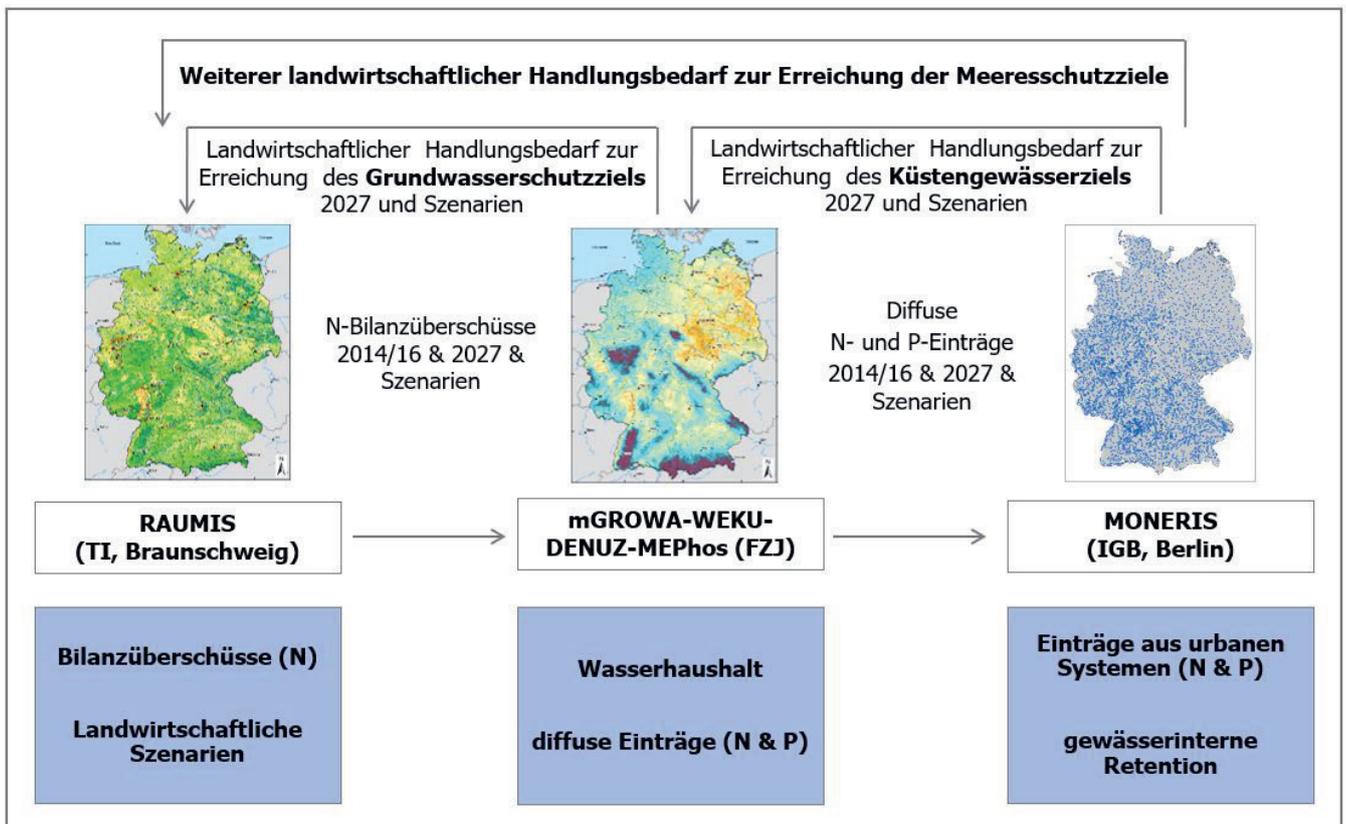


Abbildung 1
 Ablaufschema im Modellverbund AGRUM (ZINNBAUER et al. 2023).
 Flow chart in the AGRUM model network (ZINNBAUER et al. 2023).

2.1 Die Teilmodelle des Modellverbundes AGRUM-DE

Mit dem Regionalisierten Agrar- und Umweltinformationssystem, RAUMIS, werden Stickstoffflächenbilanzen der Landwirtschaft auf Gemeindegebiete berechnet sowie die regionale Wirkung von gewässerschutzbezogenen Politikmaßnahmen auf die Stickstoffüberschüsse abgeschätzt.

Die diffusen Nährstoffeinträge in das Grundwasser und die Oberflächengewässer über die Eintragspfade direkte atmosphärische Deposition auf Gewässerflächen, Abschwemmung, Erosion, Dränagen, Zwischenabfluss und Grundwasser (Abb. 2, linke Seite) werden getrennt nach den wichtigsten hydrologischen Abflusskomponenten mit dem Modellpaket mGROWA-WEKU-DENUZ-MEPHos ermittelt. Die Modellrechnungen erfolgten konsistent für die gesamte Landesfläche Deutschlands in einem Raster von 100 m x 100 m.

Mit dem Modell MONERIS werden die urbanen und punktförmigen Stickstoff- und Phosphoreinträge in die Oberflächengewässer auf Gemeindeebene aus kommunalen Kläranlagen, kleinen Kläranlagen (50 bis 2.000 EW) und industriellen Direkteinleitungen sowie aus urbanen Systemen (Mischkanalisationsüberlauf, Trennkanalisation, Kleinkläranlagen (Rohr, Graben), Kanalisation (ehemals Bürgermeisterkanäle), Exfiltrationsverluste aus Kanalisation (Abb. 2, rechte Seite) sowie die Retention (Rückhalt und Abbau) in Oberflächengewässern berechnet. Darüber hinaus wird der Handlungsbedarf für die Oberflächengewässer (Phosphor) sowie für die Küstengewässer (Stickstoff) zur Erreichung

der Ziele der EG-Wasserrahmenrichtlinie bzw. der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie ermittelt.

2.2 Teilmodell RAUMIS

Das Modellsystem RAUMIS ist ein regional differenziertes Agrarsektormodell für Deutschland. In den 1990ern entwickelt (HEINRICHSMEYER et al., 1996) wurde es seitdem für Politikanalysen in verschiedenen Politikfeldern insbesondere in den Bereichen Gewässer- und Klimaschutz herangezogen. Neben zahlreichen Anwendungen zur Analyse landwirtschaftlicher Nährstoffflüsse im Kontext der EG-Wasserrahmenrichtlinie (KREINS et al., 2009; HEIDECHE et al., 2012; WENDLAND et al., 2014; ACKERMANN et al., 2015; HEIDECHE et al., 2015; ACKERMANN et al., 2016; GÖMANN et al., 2020) wurde RAUMIS auch zur explorativen Modellierung von Mikroplastik-Einträgen (BRANDES et al., 2022), bei der Abschätzung von Lachgas-Emissionsfaktoren für die nationale Klimaberichterstattung (MATHIVANAN et al., 2021; EYSHOLD, et al., 2022) sowie bei der Analyse von Klimaschutzmaßnahmen eingesetzt (HENSELER et al., 2015; HENSELER et al., 2020).

Der Voraussetzung zur vollständigen Erfassung landwirtschaftlicher Stickstoffflüsse entsprechend bildet RAUMIS den Agrarsektor konsistent zur Agrarstatistik auf unterschiedlichen regionalen Ebenen ab. Die Berechnung der Stickstoffflächenbilanzen wurde in AGRUM-DE auf Ebene der Gemeinden vorgenommen, da diese die Abbildung von lokalen Hot-Spots und wenig belasteten Gebieten ermöglicht.

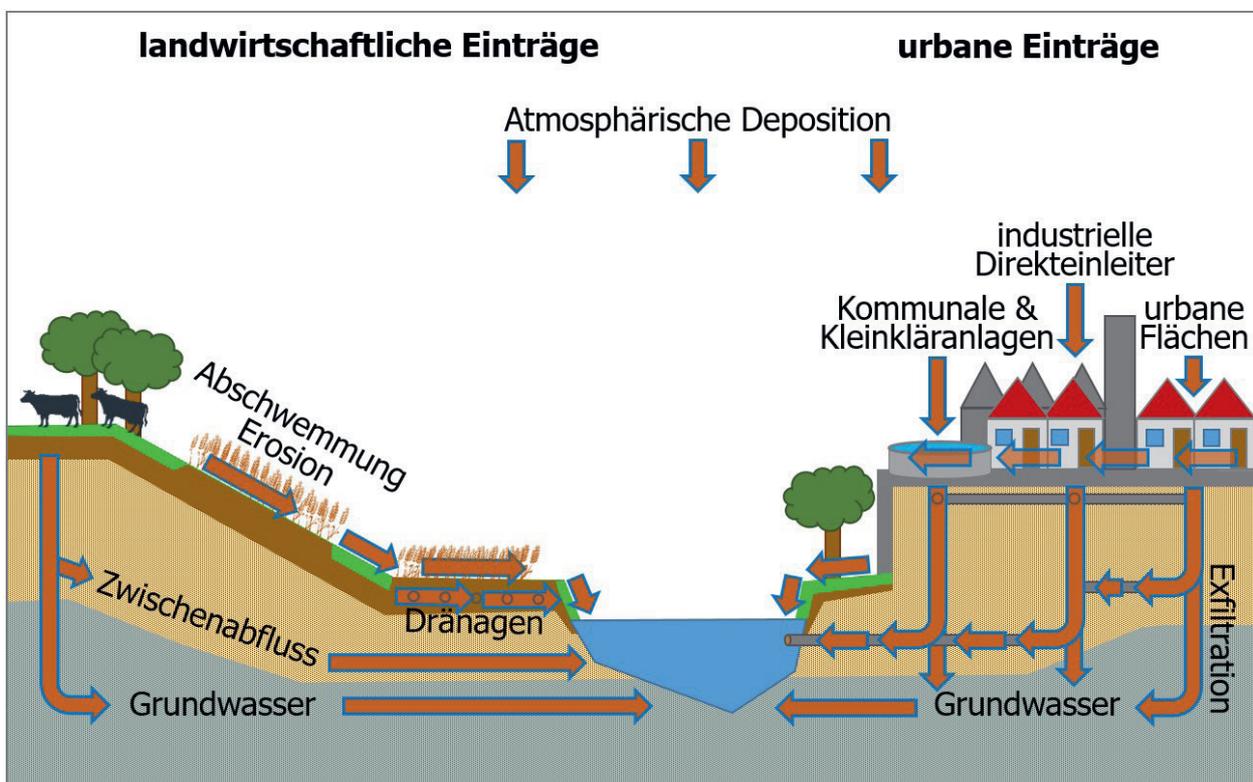


Abbildung 1
 Ablaufschema im Modellverbund AGRUM (ZINNBAUER et al. 2023).
 Flow chart in the AGRUM model network (ZINNBAUER et al. 2023).

Stickstoffbilanzen können für unterschiedliche Systemgrenzen berechnet werden, z. B. für einen Betrieb als Ganzes oder für individuelle Flächen (EUROSTAT, 2013). Für gewässerschutzbezogene Fragestellungen gelten Flächenbilanzen als geeigneter Indikator um die potenziell auswaschbare Stickstoffmenge auf der Bodenoberfläche nach Abzug der gasförmigen Stickstoff-Emissionen zu quantifizieren (OENEMA et al., 2003). Die Flächenbilanzen werden in RAUMIS für jede Gemeinde als Differenz zwischen Stickstoffzufuhr und Stickstoffabfuhr berechnet, wobei die Bodenoberfläche die Systemgrenze darstellt. Im Modell werden die Zufuhr-Komponenten Mineraldünger, tierische Wirtschaftsdünger und Gärreste (je inkl. Wirtschaftsdüngertransporte), Klärschlamm, Kompost, symbiotische Stickstofffixierung und Saatgut abgebildet. Die atmosphärische Deposition ist nicht Teil der Stickstoffbilanz, sondern wird bei der hydrologischen Modellierung berücksichtigt. Die Stickstoffabfuhr umfasst die Abfuhr durch die Haupternteerzeugnisse von Acker- und Grünland.

Erstmals konnte bundesweit auf betriebliche Daten zur Landnutzung aus dem Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystem der EU-Agrarförderung (InVeKoS) zurückgegriffen werden. Diese ermöglichen eine flächenscharfe Identifikation der landwirtschaftlichen Landnutzungsarten und damit eine Zuordnung der Stickstoffüberschüsse nach der tatsächlichen Belegenheit der Flächen. Belastbare Daten zum Mineraldüngereinsatz stehen in Deutschland nur auf Bundesebene zur Verfügung. Dieser wird in RAUMIS, in Abhängigkeit des Standorts, des Kulturartenspektrums, der Ertragserwartung und des Anfalls organischer Dünger auf die Gemeinden verteilt. Die Erträge der Ackerkulturen stehen auf Kreisebene zur Verfügung und werden für die Gemeinden übernommen.

Das oben beschriebene Vorgehen dient zur Ermittlung der Stickstoff-Bilanzen (N-Bilanzen) für den Ausgangszustand der Jahre 2014 bis 2016. Zur Abschätzung der N-Bilanzen für das Jahr 2027 wird die Veränderung der Agrarstruktur bis zu diesem Zeitraum mit Hilfe der Thünen-Baseline (Haß et al., 2020) projiziert und aufbauend darauf die Wirkung der DüV (2020) abgeschätzt. Der Bezugspunkt ist ein Referenzszenario und bildet erwartete Entwicklungen wie z. B. den Rückgang der Biogasproduktion ab, die unabhängig von der zu analysierenden Politikmaßnahme zu erwarten sind. Darauf aufbauend wurden die neuen Regeln der DüV 2020 in das Modell implementiert und die Bilanzüberschüsse für das Zieljahr ermittelt.

2.3 Teilmodell mGROWA

Die Simulation der hydrologischen Situation, konkret der Abflusskomponenten und Eintragspfade für Stickstoff und Phosphor, erfolgt basierend auf dem mGROWA-Modell, welches am Forschungszentrum Jülich im Rahmen des BMBF-Förderschwerpunktes "KLIMZUG" (HERRMANN et al., 2013; HERRMANN et al., 2014a; HERRMANN et al., 2014b) sowie des EU-Projekts "CLIMB" entwickelt wurde (EHLERS et al., 2016).

Das Modellsystem mGROWA ist ein konzeptionelles rasterbasiertes Modell zur Simulation der tatsächlichen Evapotranspiration und der Abflusskomponenten für Modellgebiete beliebiger Größe (wenige km² bis mehr als 100.000 km²). Die räumliche und zeitliche Variabilität der Klimatelemente Niederschlag und Gras-Referenzevapotranspiration wird bei der mGROWA-Modellierung im Rahmen der Datenaufbereitung abgebildet und in der Simulation als Modellinput verwendet.

Für das AGRUM-DE-Projekt werden Klimadaten aus dem Climate Data Center (CDC) des Deutschen Wetterdienstes (DWD) verwendet. Zur Berücksichtigung der unterschiedlichen bodenkundlichen, topografischen, geologischen Verhältnisse wurden im AGRUM-DE-Projekt räumlich differenzierte sowie flächendeckend deutschlandweit konsistent verfügbare Datengrundlagen verwendet, wie z. B. die Bodenübersichtskarte 1 : 200.000 (BÜK200), das digitale Geländemodell Gitterweite 25 m (DGM25) sowie die hydrogeologische Übersichtskarte 1 : 200.000 (HÜK200).

Die rasterbasierte Simulation des Wasserhaushaltes erfolgt in drei Stufen. In der ersten Stufe erfolgt bei undrained Flächen mit landwirtschaftlicher Nutzung, einem hohen Lehmantel im Oberboden, einer Hangneigung von mehr als 2 % und einer hydraulischen Anbindung an ein Gewässer die Berechnung der im langjährigen Mittel zu erwartenden Oberflächenabflusshöhe als von der Niederschlagshöhe abhängiger Anteil an der Gesamtabflusshöhe (U.S. Soil Conservation Service, 1972).

In der prozessorientierten zweiten Stufe wird im mGROWA-Modell in Tagesschritten die tatsächliche Evapotranspiration flächendifferenziert berechnet. Die Berechnung erfolgt für die Oberflächentypen "Boden mit Vegetation" und "versiegelte Fläche" mit jeweils an die spezifische Wasserspeicherfähigkeit angepassten Speicherfunktionen. Für die Wasserhaushaltssimulation auf Flächen mit Vegetation wurde das von ENGEL et al. (2012) entwickelte Mehrschicht-Bodenwasserhaushaltsmodell BOWAB verwendet. Die Berücksichtigung der Wasserhaushaltssimulation auf urbanen Flächen erfolgte in Anlehnung an Untersuchungen VON WESSOLEK & FACKLAM (1997). Die nicht verdunstende und nicht als Oberflächenabfluss abgeführte Wassermenge entspricht der Sickerwasserhöhe. Mit Hilfe von BFI-Werten (Verhältnis von Basisabfluss zu Sickerwasserhöhe) erfolgt im mGROWA-Modell in der dritten Stufe in Monatsschritten eine Separation der Sickerwasserhöhe in die weiteren Komponenten des Direktabflusses (Abfluss aus Drainagen, Zwischenabfluss, Abfluss aus urbaner Direktabfluss) und in die Grundwasserneubildung. Hinter diesem Konzept steht die Prämisse, dass die Abflusskomponenten in Abhängigkeit von bestimmten Standorteigenschaften (Versiegelung, künstliche Entwässerung, Grundwasserbeeinflussung, Staunässe, Hangneigung, hydrogeologische Gesteinseinheit) als charakteristische Anteile (BFI-Werte) an der Sickerwasserhöhe angegeben werden können.

Die Validierung der berechneten Wasserhaushaltsgrößen und damit die Überprüfung der modellierten Austragspfade erfolgt integrativ für Einzugsgebiete anhand von gemessenen Abflusswerten. Die Gesamtabflusshöhen wurden mit Hilfe der Mittelwerte der mittleren Tagesabflüsse (MQ) überprüft. Die Überprüfung der Grundwasserneubildung erfolgte anhand des Anteils des mittleren monatlichen Niedrigwasserabflusses (MoMNQ) am MQ-Wert. In Einzugsgebieten, in denen Lockergesteinsgrundwasserleiter dominieren, erfolgte dies mit Hilfe der Methode von WUNDT (1958) und in Einzugsgebieten, in denen Festgesteinsgrundwasserleiter dominieren mit Hilfe der Methode von DEMUTH (1993).

2.4 Teilmodelle DENUZ und WEKU

Die diffusen Stickstoffeinträge in das Grundwasser und die Oberflächengewässer werden mit den Modellen DENUZ und WEKU abgebildet. Ausgangspunkt für die Modellierung sind die diffusen Stickstoffeinträge in den Boden aus der landwirtschaftli-

chen Düngung, der atmosphärischen Stickstoffdeposition sowie den Stickstoffemissionen aus urbanen Systemen und Kleinkläranlagen. Die nach Berücksichtigung von Stickstoffimmobilisierungsprozessen verbleibenden verlagerbaren Stickstoffmengen im Boden können während des Transportes durch den Boden mikrobiell abgebaut werden. Das Ausmaß des Nitratabbaus im Boden wird im DENUZ-Modell (KUNKEL et al., 2008; WENDLAND et al., 2009) durch eine Michaelis-Menten Kinetik in Abhängigkeit von der Verweilzeit des Sickerwassers im Boden, den verlagerbaren Stickstoffeinträgen in den Boden sowie durch das Nitratabbauvermögen im Boden modelliert.

Aus den sich hieraus ergebenden Stickstoffausträgen aus dem Boden, den Stickstoffemissionen aus urbanen Systemen und Kleinkläranlagen sowie den mit mGROWA berechneten Sickerwasserraten wird die Nitratkonzentration im Sickerwasser ermittelt, die angibt, mit welcher Konzentration das aus dem Boden ausgetragene Nitrat ($\text{mg NO}_3/\text{L}$) in das Grundwasser gelangen kann. Hierbei werden ganz gezielt mittlere mehrjährige hydrologische Verhältnisse abgebildet, was insbesondere für die Ermittlung des Stickstoffminderungsbedarfs bzw. für die Analyse der Auswirkung von Stickstoffminderungsmaßnahmen von Bedeutung ist.

Bei der Modellierung der diffusen Stickstoffeinträge in die Oberflächengewässer werden die aus dem Boden ausgetragenen Stickstoffmengen entsprechend ihrem Anteil am Gesamtabfluss aufgeteilt und als Fracht (kg N/ha) mit der Grundwasserneubildung in das Grundwasser oder über die Komponenten des Direktabflusses (Oberflächenabfluss, Dränabfluss, natürlicher Zwischenabflusses, urbaner Direktabfluss) in die Oberflächengewässer eingetragen. Die über die Grundwasserneubildung in den Grundwasserleiter eingetragenen Stickstofffrachten können während des Transports im Grundwasserleiter bis zum Oberflächengewässer ganz oder teilweise denitrifiziert werden. Dieser reaktive Stickstofftransport wird mit dem WEKU-Modell (KUNKEL et al., 1997) durch eine Reaktion erster Ordnung unter Berücksichtigung der Fließzeiten und der Nitratabbaubedingungen im Grundwasser abgebildet.

2.5 Teilmodell MEPHos

Das Modell MEPHos basiert auf einem pfad- und flächendifferenzierten Emissionsansatz (TETZLAFF 2006; TETZLAFF et al., 2009a). In AGRUM-DE werden mit MEPHos mehrjährige mittlere Phosphoreinträge ($P_{\text{ges}}, \text{o-PO}_4\text{-P}$) quantifiziert, wobei die gleichen diffusen Eintragspfade berücksichtigt werden, wie bei der Stickstoffmodellierung: Dränagen, grundwasserbürtiger Abfluss, Abschwemmung, Wassererosion, natürlicher Zwischenabfluss und atmosphärische Deposition auf Wasserflächen. Die rasterbasierten Modellergebnisse erlauben eine flächendifferenzierte Ermittlung der Phosphorbelastung und das Ausweisen räumlicher Belastungsschwerpunkte innerhalb von Flussgebieten bzw. Oberflächenwasserkörpern.

Die für die Eintragsmodellierung über die wasser gebundenen Pfade erforderlichen Daten zur mehrjährigen mittleren Höhe der jeweiligen Abflusskomponenten werden mit dem Wasserhaushaltsmodell mGROWA berechnet, das hierzu mit dem Phosphormodell MEPHos gekoppelt wird (Kap. 2.3). Die Modellierung des Phosphoreintrags über Dränagen, Zwischenabfluss, grundwasserbürtigen Abfluss und Abschwemmung erfolgt auf Basis von Phosphotopen, d. h. Teilflächentypen, denen ein einheitliches

Emissionsverhalten unterstellt wird. Die Modellierung des Phosphoreintrags über Wassererosion stützt sich auf die Allgemeine Bodenabtragsgleichung und ihre Anwendung nach DIN 19708 (2017). Die im Modell angesetzten Konzentrationen stammen aus Feldmessungen in Deutschland im Rahmen von Sonderuntersuchungen oder Monitoringdaten der Länder. Durch Multiplikation der Stoffkonzentrationen der Phosphotope (Teilflächentypen) mit den Abflusshöhen nach mGROWA ergeben sich rasterzellenweise die mittleren jährlichen Einträge in der Einheit $\text{kg}/(\text{ha}\cdot\text{a})$. Nähere Informationen finden sich in TETZLAFF (2006) und TETZLAFF et al. (2009a).

Um Aussagen zur Eutrophierungsrelevanz von Phosphoreinträgen in Binnengewässern zu treffen ist der Parameter P_{ges} nur von eingeschränkter Aussagekraft, da P_{ges} teilweise an Bodenpartikeln sorbiert und in dieser Form nicht direkt eutrophierend wirkt (KLAPPER, 2000; UHLMANN & HORN, 2001). Allerdings gibt es im Gewässer Freisetzungprozesse, sodass ein Teil des gebundenen Phosphors längerfristig mobilisiert werden kann. Aufgrund der komplexen Prozesse ist die Einschätzung, wie schnell dies abläuft und wie viel des Phosphors wo wieder verfügbar wird, auf der nationalen Skala schwierig. Basierend auf Expertenmeinungen am Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HNLUG), wird ein mittlerer Anteil von $\text{o-PO}_4\text{-P}$ an P_{ges} angegeben, sodass sich Größenordnungen des Eintrags von bioverfügbarem $\text{o-PO}_4\text{-P}$ abschätzen lassen (TETZLAFF et al., 2009b). Dabei werden folgende Anteile von $\text{o-PO}_4\text{-P}$ an P_{ges} angesetzt: Dränagen 70 %, grundwasserbürtiger Abfluss, Zwischenabfluss und Abschwemmung 100 %, Erosion 10 %, atmosphärische Deposition auf Wasserflächen 80 %.

Nach Berechnung der Stickstoff- und Phosphoreinträge über alle diffusen Pfade werden die einzelnen Emissionen zur Berechnung der Stickstoff- bzw. Phosphorbelastung auf Ebene der Oberflächenwasserkörper bzw. von Teileinzugsgebieten aufsummiert und an das Modell MONERIS übergeben. Im MONERIS-Modell erfolgt die Abbildung von Stickstoff- und Phosphoreinträgen über Punktquellen und urbane Systeme. Anschließend wird die Validität der modellierten Stickstoff- und Phosphoreinträge an Oberflächengewässer-Gütemessstellen überprüft. Details finden sich in den Kapiteln 2.6 und 3.6.

2.6 Teilmodell MONERIS

Einträge aus urbanen Systemen setzen sich aus modellierten Einträgen über die Kanalisation inklusive der jeweils angeschlossenen versiegelten urbanen Flächen und Haushalte sowie den weitestgehend messtechnisch erfassten Einleitungen aus kommunalen Kläranlagen und industriellen Direkteinleitern zusammen. Die durchgeführten Modellierungen basieren auf den im Modell MONERIS (Modelling Nutrient Emissions in River Systems) implementierten methodischen Ansätze nach VENOHR et al. (2011) sowie den in LEMM et al. (2021) beschriebenen Modifikationen.

Die Einträge aus urbanen Systemen erfolgen über eine Vielzahl unterschiedlicher Teileintragspfade, die unter Berücksichtigung der Anschlussverhältnisse von Haushalten an die zwei Kanalisationstypen (Trenn- und Mischkanalisation) und an Klein- oder kommunale Kläranlagen abgeleitet wurden. Für Einträge über Mischkanalisationsüberläufe ist die Berücksichtigung des Ausbaugrads, also des Volumens von Regenrückhaltebecken von zentraler Bedeutung, da dies die Anzahl von Überlaufereignissen

während Starkregentagen sowie die abgeführte Wassermenge und die Konzentration der mitgeführten Stoffe bestimmt. Die Quantifizierung der Einträge über die verschiedenen Teileintragspfade erfolgt unter Verwendung personenspezifischer Nährstoffabgaben, der atmosphärischen Deposition, Laubfall, tierischen Exkrementen und den angeschlossenen versiegelten Flächen.

Die Einleitungen aus kommunalen Kläranlagen und industriellen Direkteinleitern wurden als jährliche Frachten mit geographischen Koordinaten durch das Umweltbundesamt (UBA) bereitgestellt und ohne weitere Transformationen oder Korrekturen verwendet.

Erstmalig wurde in dem Vorhaben des AGRUM Modellverbundes deutschlandweit die Exfiltration von Nährstoffeinträgen aus Kanalisationsleckagen in den Untergrund auf Gemeindeebene quantifiziert. Die neu abgeleiteten Ansätze und ihre Parametrisierung erfolgte auf Basis einer umfassenden Literaturrecherche (NGUYEN et al., 2021) und einem daraus abgeleiteten Berechnungsansatz (NGUYEN & VENOH, 2021).

Abweichend von der in VENOH et al. (2011) dokumentierten Retentionsleistung in Kleinkläranlagen wurde für die vorliegenden Berechnungen die Werte an die aktuelle Gesetzeslage angepasst und für Gesamtstickstoff (N) und Gesamtphosphor (P) auf 50 % festgelegt.

Die pfadspezifischen Anteile von $\text{o-PO}_4\text{-P}$ wurden auf Basis einer umfassenden Literaturrecherche durch VENOH et al. (2020) auf Mischkanalisationsüberläufe 75 %, Trennkanalisation 60 %, nicht an Kanalisation angeschlossene Flächen 95 %, Kleinkläranlagen (Rohr/Graben) 80 %, Kleinkläranlagen (Boden-Grundwasser-Passage) 95 %, nur Kanalisation 60 % und industrielle Direkteinleiter 75 % festgelegt. Der Anteil von $\text{o-PO}_4\text{-P}$ in Abläufen kommunaler Kläranlagen wurde in Abhängigkeit der gesamten Phosphorkonzentration im Ablauf ermittelt und schwankt zwischen 5 und 95 % (VENOH et al., 2020).

Die Summe der Einleitungen über die Teileintragspfade Kleinkläranlagen mit Einleitung in die Boden-Grundwasserpassage, nicht an die Kanalisation angeschlossene Flächen und Exfiltration aus Kanalleckagen wurde auf Gemeindeebene an das Forschungszentrum Jülich (FZJ) übergeben. Dort wurden die Einleitungen bei der weiteren Modellierung der Retention in der Boden-Grundwasserpassage berücksichtigt und anschließend als Teil der Einträge über das Grundwasser dargestellt.

Innerhalb des AGRUM Modellverbundes erfolgte die Modellierung der verschiedenen Eintragspfade in Deutschland nach der oben beschriebenen Aufteilung. Um jedoch die Frachten grenzüberschreitender Flüsse insbesondere für die Donau, den Rhein sowie die Elbe berechnen zu können, mussten die Frachten an hydrologisch verbundenen ausländischen Oberliegerezugsgebieten an den jeweiligen Landesgrenzen quantifiziert werden. Hierzu wurden Ergebnisse einer europaweiten Modellierung mit MONERIS verwendet (LEMM et al., 2021). In dieser Modellierung wurden die gesamten Nährstoffeinträge sowie die gewässerinterne Retention betrachtet. Um eine möglichst exakte Beschreibung der Frachten zu ermöglichen, wurden die modellierten Frachten mit den beobachteten Frachten in Grenznähe abgeglichen und ggf. über lineare Korrekturfaktoren für

alle oberhalb gelegenen ausländischen Teileinzugsgebiete angepasst.

Die Modellierung der gewässerinternen Retention erfolgte auf Ebene von den durch das UBA bereitgestellten hydrologischen Teileinzugsgebieten. Für diese wurden alle angeschlossenen Oberflächengewässer erfasst und nach Haupt- und Nebenläufe unterschieden. Hauptläufe werden dabei als durchflossene Strecke zwischen einem Oberliegergebiet und dem Auslass eines Teileinzugsgebietes definiert. Für linienhaft dargestellte Gewässer wurde die Gewässerbreite nach VENOH et al. (2006) und VENOH et al. (2011) berechnet. Die Berechnung der gewässerinternen Retention erfolgt mit Ansätzen nach VENOH et al. (2011) unter Berücksichtigung von Abfluss, Wasserfläche (N und P), Wassertemperatur (nur N) und der Abflusspende (nur P).

Eine Nährstoffretention erfolgt für Stickstoff im Wesentlichen durch Denitrifikation (Umwandlung in gasförmige Verbindungen, die in die Atmosphäre entweichen) und für Phosphor durch Sedimentation. Die Sedimentation ist für partikulär gebundenen Phosphor von Bedeutung und ist von der Größe bzw. Masse der Partikel und somit auch von der Fließgeschwindigkeit abhängig. Für die Modellierungen wurde vereinfachend davon ausgegangen, dass Sedimentation nur in den Nebenläufen stattfindet, da hier die Fließgeschwindigkeit in der Regel geringer ist als in den Hauptläufen. Mittels eines Routing-Ansatzes wurden zunächst die Retention in den Nebenläufen und anschließend die Retention und der Transport in den Hauptläufen bis zur Küste berechnet.

Zur Validierung der modellierten Frachten wurden Abflüsse und Gütedaten der Jahre 2015 und 2016 von 91 (N) bzw. 100 (P) Stationen herangezogen. Dabei wurden nur Stationen verwendet, die nahe am Auslass der Teileinzugsgebiete liegen (Flächenabweichung < 15 %) und für die mindestens 12 Konzentrationsmessungen pro Jahr vorlagen. Als statistische Gütemaße wurden die mittlere absolute Abweichung (MAA), mittlere systematische Abweichung (PBIAS), das Bestimmtheitsmaß (R^2) und die Modelleffizienz nach NASH-SUTCLIFFE (1970) verwendet. Die Bewertung der Güte der Modellergebnisse erfolgte nach den von MORIASI et al. (2015) vorgeschlagenen Kriterien.

3 Ergebnisse

3.1 Stickstoffbilanzen

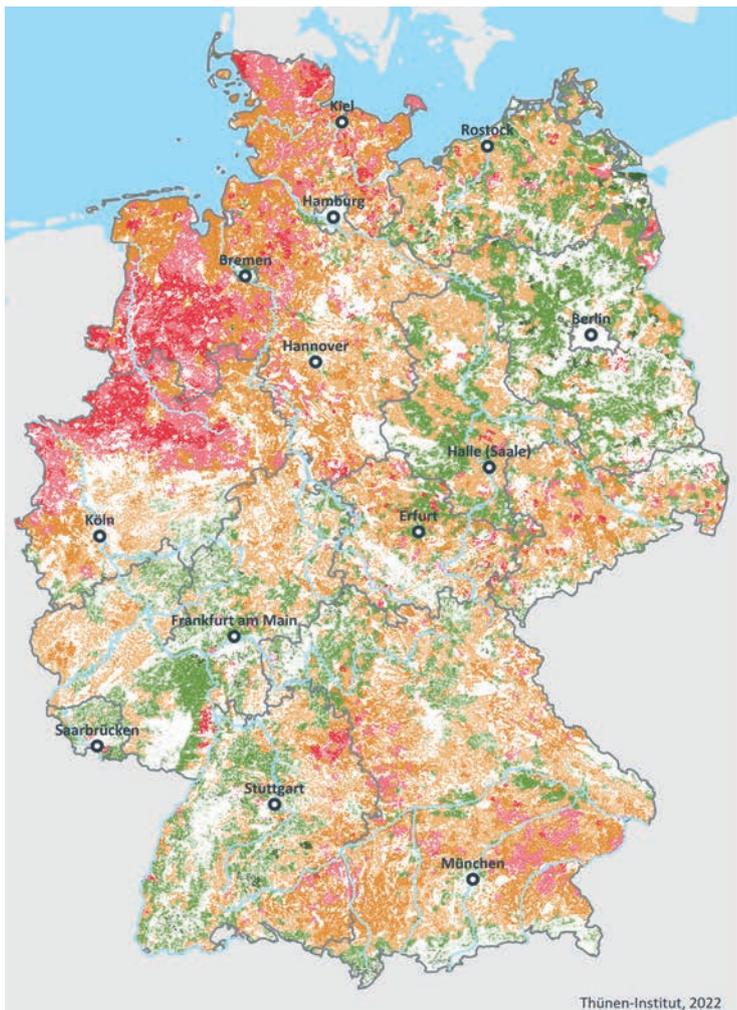
Die Stickstoffbilanzüberschüsse liegen für den Ausgangszustand (2014 bis 2016) bei rund $58 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ LF}$ oder 960.000 t N insgesamt (Abb. 3, ohne atmosphärische Deposition²). Der Stickstoffzufuhr von rund $202 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ LF}$ steht eine Abfuhr von durchschnittlich $144 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ LF}$ gegenüber (Tab. 1). Die wichtigste Komponente der Stickstoffzufuhr ist Mineraldünger, der etwas mehr als die Hälfte (52 %) der gesamten Stickstoffzufuhren ausmacht, gefolgt von Stickstoff aus Wirtschaftsdüngern und Gärresten (41 %). Die Zufuhr durch Stickstofffixierung sowie Klärschlamm, Kompost und Saatgut spielt nur eine untergeordnete Rolle und ist lediglich in einzelnen Gemeinden bedeutend.

2 Die atmosphärische Deposition wird bei der hydrologischen Modellierung für landwirtschaftliche und nicht-landwirtschaftliche Flächen hinzuaddiert. Sie beträgt im deutschlandweiten Durchschnitt rund $14,5 \text{ kg N/ha}$ (zwischen $6,0$ und $59,5 \text{ kg N/ha}$).

Tabelle 1

Ergebnisse für die Stickstoffbilanzierung für den Ist-Zustand (2014 bis 2016) sowie der Stickstoffbilanzen im Zieljahr 2027 (Baseline + DüV) (modifiziert nach ZINNBAUER et al. 2023).
 Results for nitrogen soil surface budgets (modified according to ZINNBAUER et al. 2023).

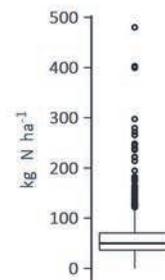
	IST kg N ha ⁻¹ LF	Baseline kg N ha ⁻¹ LF	Baseline + DüV kg N ha ⁻¹ LF	Relative Veränderung Baseline + DüV zu IST %	Relative Veränderung Baseline + DüV zu Baseline %
Zufuhr	201,8	203,8	182,9	-9	-10
davon					
Wirtschaftsdünger	51,7	52,4	52,4	1	0
Gärreste	31,9	23,7	23,7	-26	0
Fixierung	10,7	10,4	10,4	-3	0
Klärschlamm	1,3	1,3	1,3	0	0
Kompost	2,1	2,1	2,1	0	0
Saatgut	1,5	1,4	1,4	-7	0
Mineraldünger	102,4	112,4	91,4	-11	-19
Abfuhr	143,5	147,1	147,2	3	0
Saldo	58,3	56,7	35,7	-39	-37



N-Flächenbilanz

kg N ha⁻¹

- ≤ 20
- > 20 - 40
- > 40 - 60
- > 60 - 80
- > 80 - 100
- > 100



Agraratlasgemeinden Ø 2014-2016 | DE: 58.3 kg N ha⁻¹

Netto-Bilanzsalden nach Abzug der gasförmigen Verluste. Die atmosphärische Deposition ist nicht enthalten.



Quelle: Thünen-Institut 2022

Abbildung 3

N-Flächenbilanzüberschuss auf Gemeindeebene im Basisjahr (Durchschnitt 2014 bis 2016) in kg N ha⁻¹ LF (ZINNBAUER et al., 2023).
 N soil surface budget surplus at municipality level in the base year (average 2014-2016) in kg N ha⁻¹ UAA (ZINNBAUER et al., 2023).

Zwei Effekte bewirken die Veränderung der Stickstoffbilanzen vom Ausgangszeitraum zum Zieljahr: Erstens die vom Auslaufen der Biogas-Produktion dominierte Baseline und zweitens den die Düngung beschränkenden Maßnahmen der DüV. Der Rückgang der Biogasproduktion in der Baseline bewirkt eine Reduzierung des Stickstoffanfalls aus Gärresten um rund 9 kg N ha⁻¹ LF (26 %). Insgesamt bleiben die Bilanzüberschüsse im Vergleich zum Ist-Zustand aber nahezu konstant. Für das PolitikszENARIO wird ein Rückgang des Stickstoffüberschusses um 39 % (rd. 23 kg N ha⁻¹ LF) im Vergleich zur Ausgangssituation erwartet. Dieser ist, neben dem verringerten Gärrest-Anfall, vor allem auf die Verringerung des Mineraldüngereinsatzes um 11 kg N ha⁻¹ LF zurückzuführen.

3.2 Wasserhaushalt

In Deutschland variieren die Gesamtabflüsse in Abhängigkeit von klimatischen und geologischen Faktoren stark, sie liegen zwischen weniger als 100 und mehr als 500 mm/a. Ein Gesamtabfluss von über 500 mm/a tritt vor allem in den Hochlagen der Mittelgebirge und in den Alpen auf. In den übrigen Mittelgebirgsregionen liegen die Gesamtabflusshöhen großräumig zwischen ca. 200 mm/a und 500 mm/a. Bedingt durch Niederschläge von weniger als 600 mm/a liegen die Gesamtabflusshöhen in den östlichen Bundesländern, aber auch im Oberrhein-gebiet und Rheinhessen im langjährigen Mittel großräumig bei weniger als 100 mm/a. Vor allem in den grundwasserbeeinflussten Regionen kann dort die Summe des aufwärts gerichteten Zustroms im Bilanzraum die Summe des abwärts gerichteten Zustroms zum Grundwasserleiter übersteigen, so dass es zu einer Grundwasserzehrung kommt.

Aus dem modellierten Gesamtabfluss wurden die Haupteintragspfade für den Nährstoffaustrag abgeleitet. Hierbei handelt es sich um die Abflusskomponenten des Direktabflusses (Oberflächenabfluss, natürlicher Zwischenabfluss, Dränabfluss, urbaner Direktabfluss) sowie die Sickerwasserhöhe und die Grundwasserneubildung. In den grundwasserfernen, ebenen Lockergesteinsregionen im Norddeutschen Flachland entspricht die Grundwasserneubildungshöhe weitestgehend der Gesamtabflusshöhe, weil das in den Boden einsickernde Niederschlagswasser ungehindert dem Aquifer zufließen kann. In den grundwasser- und staunässebeeinflussten Lockergesteinsregionen wie z. B. den Marschregionen hingegen werden wesentliche Teile des Gesamtabflusses über Dränagen, d. h. hydrologisch als Direktabfluss abgeführt. Für die Festgesteinsregionen der Mittelgebirge ergeben sich ähnlich hohe Direktabflussanteile, hier jedoch bedingt durch den natürlichen Zwischenabfluss.

3.3 Diffuse Stickstoffeinträge

Der sich aus der Modellierung ergebende gesamte Stickstoffeintrag in die Oberflächengewässer aus diffusen Quellen beträgt 364.000 t N/a (Tab. 2). Aufgrund des hohen Festgesteinsanteils vor allem in den Mittelgebirgsregionen stellt der natürliche Zwischenabfluss mit ca. 185.000 t N/a in Deutschland eine der Hauptkomponenten der Stickstoffeinträge in die Gewässer dar. Die Einträge aus den anderen Direktabflusskomponenten sind mit Werten von 3.200 t N/a (Abschwemmung), 13.800 t N/a (Erosion) und 33.200 t N/a (Dränagen) deutlich geringer.

Die grundwasserbürtigen Stickstoffeinträge in die Oberflächengewässer stellen neben den Stickstoffeinträgen aus dem Zwischenabfluss die zweite bedeutende Eintragsquelle dar. Von den bundesweit in das Grundwasser eingetragenen Stickstofffrachten von 391.000 t N/a werden etwa 70 % im Aquifer abgebaut, bevor das Grundwasser in ein Oberflächengewässer übertritt. Dieser Prozess ist in den Lockergesteinsaquiferen Deutschlands, insbesondere im norddeutschen Flachland bedeutend. Dennoch werden etwa 121.000 t N/a über den Grundwasserabfluss in die Gewässer eingetragen.

3.4 Diffuse Phosphoreinträge

Der gesamte Phosphoreintrag aus diffusen Quellen beträgt 11.500 t/a (Tab. 2). Die Wassererosion ist der bedeutendste diffuse Eintragspfad für P mit 4.400 t/a, gefolgt von Dränagen (2.600 t/a), Grundwasser (2.500 t/a) und Zwischenabfluss (1.100 t/a).

Phosphoreinträge über Wassererosion belaufen sich im Mittel auf ca. 8 kg/(ha-a). Unterdurchschnittliche Phosphoreinträge zwischen < 1 und ca. 5 kg/(ha-a) treten weit verbreitet im norddeutschen Tiefland auf und sind hier v. a. Folge der niedrigen Bodenabtragsgefahr infolge niedriger Hangneigungen. Ähnliches gilt für Sachsen-Anhalt und Thüringen, wo niedrige Bodenabtragsgefahren auch auf geringe C-Faktoren (hohe Anteile konservierender Bodenbearbeitung) zurückgehen, gepaart mit vergleichsweise niedrigen Phosphorgehalten im Oberboden. Überdurchschnittliche Phosphoreinträge über Wassererosion, insbesondere über 10kg/(ha-a) sind typisch für Mittelgebirgs-lagen mit hoher Bodenabtragsgefahr, insbesondere in Hang-lagen auf Löss.

Phosphoreinträge über Dränagen belaufen sich im Mittel pro Hektar und Jahr auf ca. 1 kg/(ha-a) für die potenziell dränierte Landwirtschaftsfläche, die ihrerseits ca. 17 % der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche (LNF) ausmacht. Der Eintrag schwankt zwischen < 0,1 und > 2 kg/(ha-a). Überdurchschnitt-

Tabelle 2
Diffuse Nährstoffeinträge [t/a] in die Oberflächengewässer für das Basisjahr in Deutschland (modifiziert nach ZINNBAUER et al. 2023).
Diffuse nutrient inputs [t/a] to surface waters for the base year in Germany (modified according to ZINNBAUER et al. 2023).

Nährstoff	Diffuse Nährstoffeinträge [t/a] und [%] in die Oberflächengewässer für das Basisjahr in Deutschland						
	AD*	AS*	ER*	DR*	ZA*	GW*	Gesamt
Stickstoff	7.900	3.200	13.800	33.200	185.000	121.000	364.000
	2 %	1 %	4 %	9 %	51 %	33 %	100 %
Phosphor	370	580	4.400	2.600	1.100	2.500	11.500
	3 %	5 %	38 %	22 %	10 %	22 %	100 %

* atmosphärische Deposition auf Gewässerflächen (AD), Abschwemmung (AS), Erosion (ER), Dränagen (DR), Zwischenabfluss (ZA), Grundwasser (GW)

liche Einträge werden für die Marschen errechnet, was auch Folge der hohen Phosphorkonzentrationen im dortigen Dränabfluss ist. Niedrige Austräge von unter 0,5 kg/(ha·a) sind typisch für lehmige und damit sorptionsstarke Standorte, z. B. Beckumer Berge südlich von Münster oder die Verbreitungsgebiete der Geschiebelehme im Jungmoränenland Mecklenburg-Vorpommerns.

Wie in Kapitel 2.5 beschrieben, wird der Eintrag von direkt bioverfügbarem o-PO₄-P abgeschätzt. Es ergibt sich ein Gesamteintrag von o-PO₄-P in Höhe von 6.700 t/a bzw. 58 % des diffusen Phosphoreintrags in Deutschland. Die Relevanz der einzelnen Eintragspfade ändert sich dadurch deutlich. Der bedeutendste Eintragspfad für diffuse Einträge von o-PO₄-P ist das Grundwasser, gefolgt von Dränage und Zwischenabfluss. Die Wassererosion ist neben der atmosphärischen Deposition von kleinster Bedeutung.

3.5 Stickstoff- und Phosphoreinträge aus urbanen Systemen und Punktquellen

Insgesamt werden aus urbanen Systemen 16.590 t N/a und 3.040 t P/a bzw. 470 kg N/(km²·a) und 90 kg P/(km²·a) in die Boden-Grundwasserpassage und 95.000 t N/a und 8.100 t P/a (Tab. 3) bzw. 2.700 kg N/(km²·a) und 230 kg P/(km²·a) in die Oberflächengewässer eingeleitet.

Der Teileintragspfad Exfiltration aus Kanalleckagen steuert mit je 79 % (Stickstoff und Phosphor) bei weitem die größten Anteile zu den Einträgen aus urbanen Systemen in die Boden-Grundwasserpassage bei. Die nach Abzug der regional sehr unterschiedlichen Retention in Boden und Grundwasser resultierenden Einträge in die Oberflächengewässer fallen insgesamt deutlich niedriger aus, können lokal jedoch eine relevante Quelle darstellen.

Die Einleitungen aus Punktquellen (kommunalen Kläranlagen, industrielle Direkteinleiter und kleine Kläranlagen), tragen mit 87 % (N) und 77 % (P) den mit Abstand größten Anteil an den Einträgen aus urbanen Systemen in die Oberflächengewässer bei (Tab. 3). Dies ist durch den hohen Anschlussgrad der Haushalte und die Kläranlagen zu erklären, wodurch der dominierende Anteil des urbanen Abwassers über diesen Pfad gesammelt, behandelt und eingeleitet wird.

Einträge aus Trennkanalisation und Mischkanalisationsüberläufen belaufen sich auf 10 % (N) und 18 % (P) der urbanen Ein-

träge, und zeigen entsprechend der bevorzugten Verbauung von Mischkanalisation im Festgesteinsbereich eine ausgeprägte Nord-Süd-Verteilung.

Die gesamten Stickstoffeinträge über diffuse, urbane und punktförmige Eintragspfade belaufen sich auf 477.000 t N/a bzw. 19.600 t P/a bzw. mittleren spezifischen Einträgen von 1.300 t N/(km²·a) und 50 t P/(km²·a) (bezogen auf die Gesamtfläche Deutschlands). Somit tragen die urbanen und punktförmigen Einträge 20 % (N) bzw. 41 % (P) an den Gesamteinträgen bei. Diese Anteile können zwischen den Bundesländern und Flussgebietseinheiten deutlich variieren und sind in den dicht besiedelten Gebieten, so z. B. den Stadtstaaten mit etwa 80 % am höchsten. In den landwirtschaftlich geprägten Flächenstaaten sinken die Anteile aus urbanen und Punktquellen für Stickstoff auf teilweise unter 10 %, wohingegen sie für Phosphor kaum unter 20 % fallen.

3.6 Gewässerinterne Retention und resultierende Frachten

Die Modellierung von Retention und resultierenden Frachten wurden unter Berücksichtigung der gesamten diffusen durch das Forschungszentrum Jülich (FZJ) bereitgestellten sowie urbanen und punktförmigen Einträge sowie der gewässerinternen Retention und des Transports durch das Gewässernetz berechnet. In den Oberflächengewässern Deutschlands werden insgesamt 28 % (N) und 21 % (P) der Einträge durch Retention zurückgehalten. Dabei betragen sie in Flussgebieten zwischen 21 % (N) in der Weser, 10 % (P) im Rhein und bis zu 49 % (N) und 40 % (P) im Koordinierungsraum Warnow/Peene. Die höhere Retentionsleistung tritt demnach insbesondere in Regionen sowohl mit einem geringen Wasserdargebot als auch in Anwesenheit von großen Wasserflächen auf. Da für Phosphor nur die Retention in Hauptläufen als vernachlässigbar klein angenommen wurde (Kap. 2.6), ist die Retention maßgeblich von den lokalen Gegebenheiten abhängig. Für Stickstoff führt die Retention in den Hauptläufen zusätzlich dazu, dass die Gesamtretenion vom Ort des Eintrags bis zu Mündung ins Meer mit zunehmender Entfernung von der Küste im Allgemeinen zunimmt.

Unter Berücksichtigung der Retention ergeben sich für die Deutschen Einzugsgebiete eine Fracht an den Übergabepunkten zu den marinen Systemen von 335.000 t N/a (890 t N/(km²·a) bzw.

Tabelle 3

Nährstoffeinträge [t/a] aus urbanen Systemen und Punktquellen in die Oberflächengewässer für das Basisjahr in Deutschland (modifiziert nach ZINNBAUER et al. 2023).

Nutrient inputs [t/a] from urban systems and point sources into surface waters for the base year in Germany (modified according to ZINNBAUER et al. 2023).

Nährstoff	Nährstoffeinträge [t/a] und [%] aus urbanen Systemen und Punktquellen in die Oberflächengewässer für das Basisjahr in Deutschland							Gesamt
	KOM KA	KL KA	ID	MK	TK	KKA (DIR)	KKA (KAN)	
Stickstoff	74.000	4.800	4.500	1.900	7.500	1.600	1.100	95.000
	78 %	5 %	4 %	2 %	8 %	2 %	1 %	100 %
Phosphor	4.900	1.000	210	330	1.100	270	200	8.100
	61 %	13 %	3 %	4 %	14 %	3 %	2 %	100 %

* kommunale Kläranlagen (KOM KA), kleine Kläranlagen (50 bis 2000 EW: KL KA), industrielle Direkteinleitungen (ID), Mischkanalisationsüberlauf (MK), Trennkanalisation (TK), Kleinkläranlagen (Rohr, Graben: KKA (DIR)), Kanalisation (ehemals Bürgermeisterkanäle: KKA (KAN))

12.600 t P/a (30 t P/(km²·a). Die spezifischen Frachten in den Flussgebieten zwischen 100 t N/(km²·a) bzw. 7 t P/(km²·a) in der Oder und 1.520 t N/(km²·a) bzw. 60 t P/(km²·a) in der Ems.

4 Plausibilitätsüberprüfung der Modellierungen

Auf eine Plausibilitätsüberprüfung der Modellergebnisse wurde im Projekt AGRUM-DE besonders Wert gelegt. Konkret erfolgte dies für die modellierten Wasserhaushaltsgrößen anhand von Abflusskennwerten an Pegeln, für die modellierten Nitratkonzentrationen im Sickerwasser anhand von Nitrat-Messwerten im Grundwasser sowie für die Stickstoff- und Phosphoreinträge in Oberflächengewässer anhand von gemessenen Stickstoff- und Phosphorfrachten an Gütepegeln.

4.1 Wasserhaushalt

Die Plausibilitätsüberprüfung der berechneten Wasserhaushaltsgrößen erfolgte durch einen Vergleich mit an 298 Pegeln gemessenen Abflusswerten. Für den modellierten Gesamtabfluss ergab sich hierbei an 298 Pegeln bei einem mittleren absoluten Fehler (Mean Absolute Error, MAE) von 52,40 mm/a und mit einem NSE von 0,89 und einem PBIAS von -4 % bundesweit eine sehr gute Übereinstimmung (Abb. 4, links). Der NSE wird üblicherweise für den Vergleich zweier Abflusszeitreihen eingesetzt und vergleicht grundsätzlich die Varianz der beobachteten Abflusswerte mit der Restvarianz der Simulationsergebnisse. So wird der NSE für einzelne Pegelstationen zur Überprüfung verwendet, ob simulierte und beobachtete Abflusswerte das gleiche zeitliche Verhalten aufweisen. In dieser und vergleichbaren mGROWA-Studien wird der NSE gleichzeitig auf alle ausgewählten Pegel angewendet (HERRMANN et al., 2015), wobei jedoch nur mittlere Abflusswerte des Zeitraums 1981 bis 2010 betrachtet werden.

Bei der Grundwasserneubildung zeigte sich an 155 präselektierten Pegeln in vergleichsweise kleinen Einzugsgebieten (< 1.000 km²) in den Oberläufen der Fließgewässer mit geringer anthropogener Beeinflussung mit einem MAE von 45,88 mm/a und mit einem NSE von 0,69 und einem PBIAS von -4,8 % ebenfalls eine gute Übereinstimmung (Abb. 4, rechts). Die Berechnung der NSE und PBIAS erfolgte flächengewichtet (ERTL et al., 2019). Das Ergebnis belegt, dass die räumliche Variabilität der hydrologischen Verhältnisse und die damit verbundene regional unterschiedliche Relevanz der einzelnen Abflusskomponenten gut repräsentiert werden.

4.2 Nitratkonzentration im Sickerwasser

Als Datengrundlage für die Plausibilitätsüberprüfung der modellierten Nitratkonzentrationen im Sickerwasser standen gemessene Nitratwerte von ca. 22.000 Grundwassermessstellen zur Verfügung. Nach dem in WOLTERS et al. (2021) beschriebenen Verfahren wurden aus diesem Datenpool über mehrere Präselektionsschritte zunächst geeignete Messstellen vor ausgewählt. Hierbei handelt es sich um 3.391 ausschließlich oberflächennah verfilterte Grundwassermessstellen und Quellen, die auf ein oxidatives Milieu hinweisen (WOLTERS et al., 2022). Eine Präselektion über die Landnutzung erfolgte nicht, d. h. es wurden Messstellen unter allen Nutzungen einbezogen (Ackerland, Grünland, Wald, urbane Flächen). Grundwassermessstellen aus Bayern wurden auf Wunsch des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU) nicht in die Plausibilitätsüberprüfung einbezogen.

Um für die präselektierten Messstellen zu einer systematischen Bewertung der Modellvalidität zu kommen, wurden die modellierten Nitratkonzentrationen im Sickerwasser für die Anstrombereiche der verbliebenen Grundwassermessstellen und Quellen

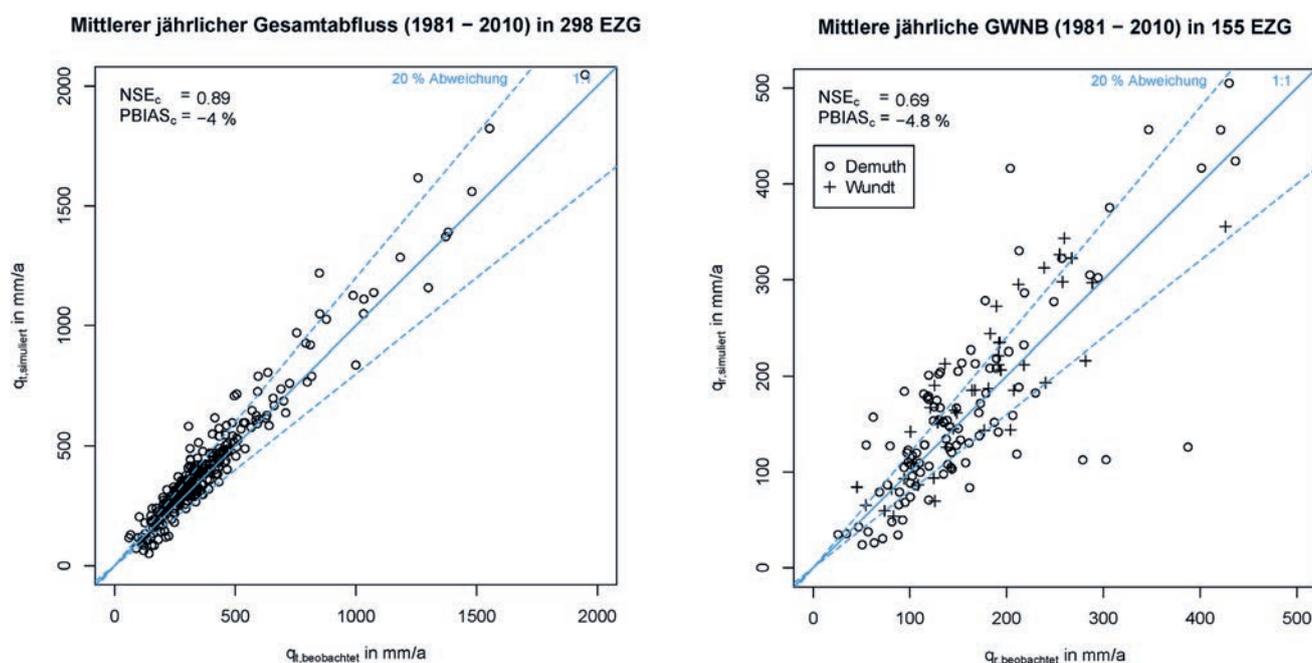
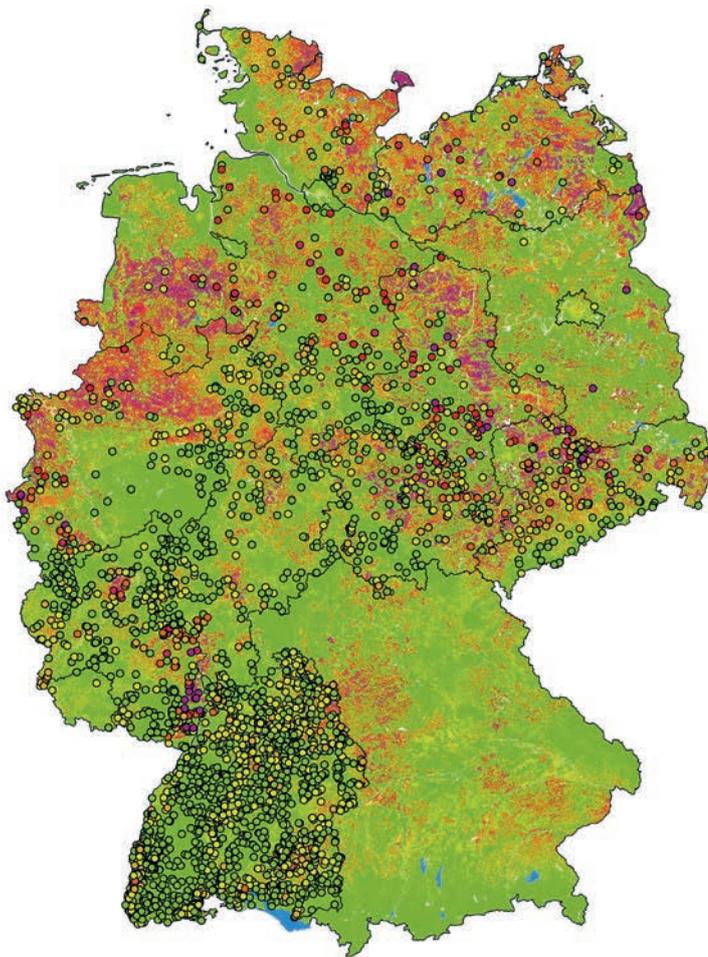
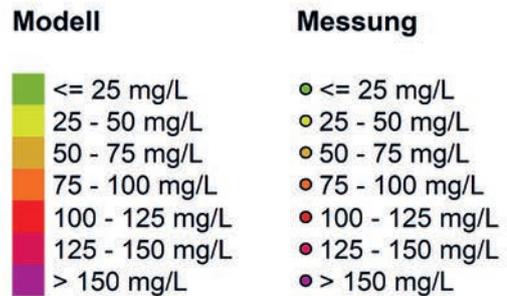


Abbildung 4

Evaluation des Gesamtabflusses (links) und der Grundwasserneubildung (rechts) (ZINNBAUER et al. 2023).
Evaluation of total runoff (left) and groundwater recharge (right) (ZINNBAUER et al. 2023).



Vergleich der Nitratkonzentration im Sickerwasser (modelliert) und im Grundwasser (gemessen)



Forschungszentrum Jülich, IBG-3
 Stand: März 2021
 Datengrundlagen:
 Forschungszentrum Jülich (DENUZ-Modell)
 LAWA Ausschuss Grundwasser (Messwerte)



Abbildung 5

Median der gemessenen Nitratkonzentrationen im Grundwasser 2014 bis 2018 für 3.391 präselektierte Grundwassermessstellen (ohne Einbeziehung von Grundwassermessstellen aus Bayern) (ZINNBAUER et al. 2023).

Median of the measured nitrate concentrations in groundwater 2014 to 2018 for 3,391 preselected groundwater monitoring sites (without inclusion of groundwater monitoring sites from Bavaria) (ZINNBAUER et al. 2023).

gemittelt und in Klassen eingeteilt. Anschließend erfolgte ein Vergleich mit den gemessenen Nitratkonzentrationen im Grundwasser. Aufgrund der begrenzten standortspezifischen Genauigkeit der im Deutschlandmaßstab vorliegenden Eingangsdaten für die Modellierung wurde hierbei auf eine Übereinstimmung im Konzentrationsbereich geachtet.

Die Klassenbreite der Konzentrationsbereiche wurde dabei unter Einbeziehung der Anzahl und der großen Spannweite der Messwerte auf eine einheitliche Klassenbreite von 25 mg NO₃/l festgelegt. Der Vergleich wurde auf sieben Klassen (0–25, 25–50, ..., > 150 mg NO₃/l) bezogen. Anschließend wurde die Übereinstimmung der modellierten und beobachteten Nitratwerte in den jeweiligen Klassen bewertet. Als Maß für die Beurteilung wurde die Differenz zwischen den Klassen herangezogen. In Fällen, in denen die modellierten und beobachteten Werte in dieselbe Klasse fielen, wurde die Übereinstimmung als gut beurteilt. Je mehr die Klassen voneinander abwichen, desto schlechter wurde die Übereinstimmung beurteilt.

Die in Abbildung 5 dargestellte Karte vermittelt einen visuellen Überblick über die räumliche Verteilung der zur Plausibilitäts-

überprüfung der modellierten Nitratkonzentrationen im Sickerwasser mit Nitratwerten im Grundwasser präselektierten Messstellen in Deutschland sowie der Übereinstimmung zwischen modellierten Werten (Flächenfarben) und Messwerten (Punkte).

Abbildung 6 zeigt den Vergleich der Klassenbreiten der modellierten Nitratkonzentrationen im Sickerwasser sowie der gemessenen Nitratkonzentrationen im Grundwasser als Häufigkeitsverteilung für alle 3.391 präselektierten Grundwassergütemessstellen. Die Häufigkeitsverteilung zeigt, dass die modellierten Nitratkonzentrationen im Sickerwasser für 55 % dieser Messstellen in demselben Konzentrationsklassenbereich wie die gemessenen Nitratkonzentrationen im Grundwasser liegen (2014 bis 2018). Für weitere 30 % der Messstellen fallen die modellierten Werte in den nächsthöheren oder nächstniedrigeren Klassenbereich, was noch akzeptabel ist.

16 % der Messstellen zeigen Abweichungen von zwei Klassen und mehr. Alle diese Messstellen treten bei der Landnutzungskategorie Acker auf und entsprechen dort durchaus den Erwartungen. Sie sind Ausdruck kleinräumig wechselnder Unter-

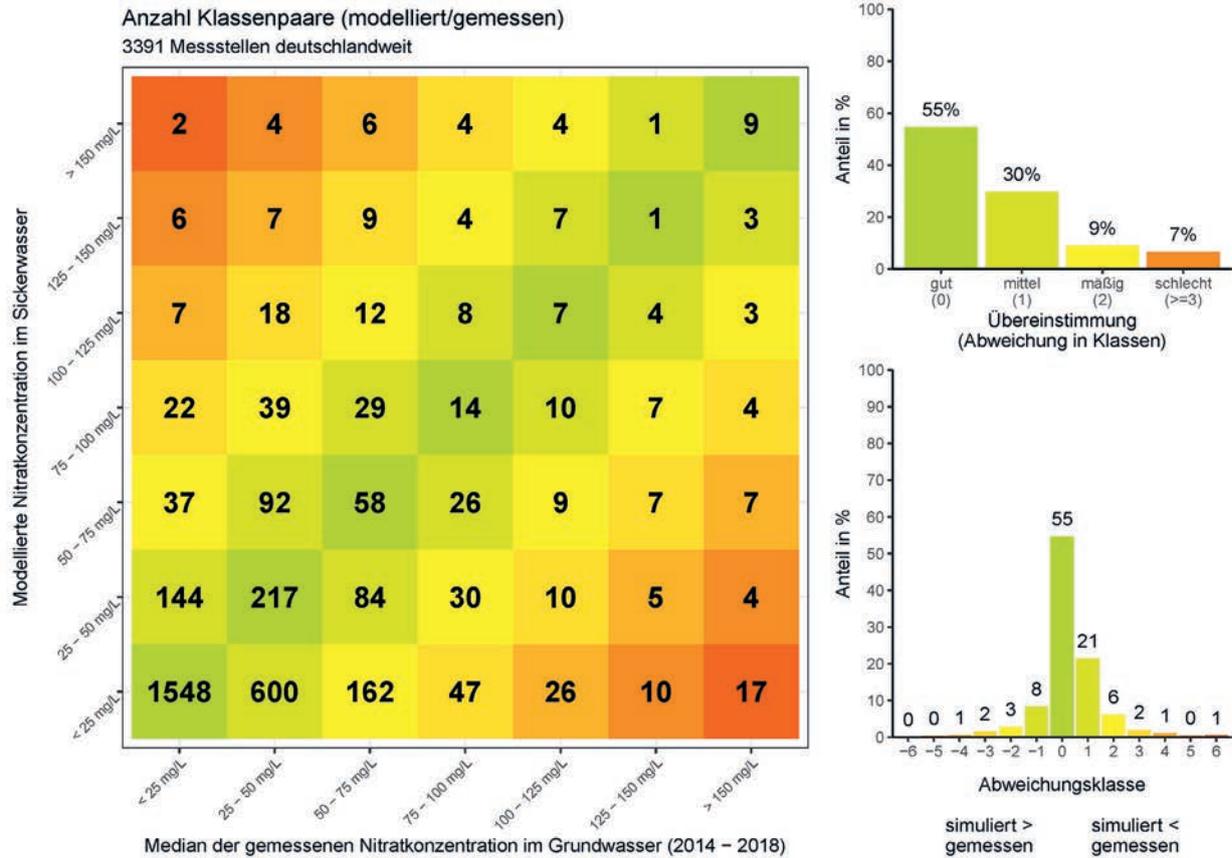


Abbildung 6

Häufigkeitsverteilung der simulierten Nitratkonzentrationen im Sickerwasser und der beobachteten Nitratkonzentrationen im Grundwasser (ZINNBAUER et al. 2023).

Frequency distribution of the simulated nitrate concentrations in the leachate and the observed nitrate concentrations in the groundwater (ZINNBAUER et al. 2023).

de in der Landwirtschaftsintensivität (Düngeniveau) oder bei den angebauten Feldfrüchten, welche bei der Berechnung der landwirtschaftlichen N-Bilanzüberschüsse mit dem RAUMIS-Modell auf Gemeindeebene nicht berücksichtigt werden können.

4.3 Stickstoff- und Phosphorkonzentrationen und -frachten

Um einen Fehler durch eine falsche oder ungeeignete Messstellen-Gebietszuweisung auszuschließen wurde zunächst ein Abgleich der in den Metadaten der Messstellen berichteten und den für die Teileinzugsgebiete abgeleiteten Einzugsgrößen vorgenommen. Eine mittlere Abweichung von 5,6 % und ein PBIAS von 0,8 % belegen, dass es keine systematische Abweichung gibt, die die folgenden Frachtvergleiche nachteilig beeinflussen sollten.

Obwohl, wie bereits in vorherigen AGRUM-Projekten die Phosphorretention in Hauptläufen als vernachlässigbar klein angenommen und für die Berechnung auf null gesetzt wurde, führte die Kombination der gesamten modellierten Phosphoreinträge mit der bestehenden Modellparametrisierung der Phosphorretentionsansätze zu einer deutlichen Unterschätzung der beobachteten Frachten und Konzentrationen. Dies ist auch durch die erste vollständige Kopplung der Modellsysteme des Forschungszentrums Jülich (diffuse Einträge) und des Instituts für Gewässer-

ökologie und Binnenfischerei (urbane und punktförmige Einträge) zu erklären. Die Kopplung der Modelle, in Verbindung mit im Vergleich zu vorherigen deutschlandweiten Modellierungen deutlich veränderten Eingangsdaten, erforderte eine Anpassung der Modellparametrisierung für die Berechnung der gewässerinternen Phosphorretention nach BEHRENDT et al. (2002). Für die Neukalibrierung wurden nur vollständig in Deutschland gelegene Einzugsgebiete verwendet. Nach der Kalibrierung ergab sich für ein PBIAS von 5,0 % (TP-Fracht) bzw. -5,7 % (TP-Konzentrationen) und eine mittlere absolute Abweichung von 23 %.

Für Stickstoff war eine vergleichbare Anpassung nicht notwendig. Unter Verwendung der bestehenden Parametrisierungen nach VENOHR et al. (2011) und LEMM et al. (2021) ergab sich ein PBIAS Wert von -1,2 % (N-Fracht) und -6,5 % (N-Konzentrationen) und eine mittlere absolute Abweichung von je 18 %.

Insgesamt zeigt der Frachtvergleich eine gute statistische Übereinstimmung zwischen den beobachteten und modellierten Frachten. Bei einer Verwendung von 12 Konzentrationsmessungen pro Jahr kann ohne weiteres ein Fehler von 20 bis 25 % in den beobachteten Frachten angenommen werden. Daher sind Abweichungen in dieser Größenordnung für einzelne Messstellen durchaus erwartbar und akzeptierbar. Im Mittel liegen die Abweichungen für Stickstoff und Phosphor deutlich unter 25 %

und es ergibt sich für beide Nährstoffe nur ein geringer PBIAS-Wert. Damit können systematische Über- oder Unterschätzungen ausgeschlossen werden. Es bedeutet aber auch, dass die Aussagegenauigkeit für einzelne Messstellen individuell geprüft werden sollte.

5 Diskussion

5.1 Akzeptanz und Grenzen der Modellierung

Durch gemeinsame Arbeitskreise von Land- und Wasserwirtschaftsverwaltung wurde bundesweit ein gegenseitiges Systemverständnis der Akteure entwickelt und – erstmals in Deutschland – ein verbessertes gemeinsames Problemverständnis hinsichtlich Nährstoffeinträge und Minderungsbedarf erzielt. Hierzu wurde ein Projektbeirat mit Mitgliedern aus fast allen Land- und Wasserwirtschaftsverwaltungen der Bundesländer sowie der beiden zuständigen Bundesministerien eingerichtet, der in acht Sitzungen mit den Expertinnen und Experten aus den Bereichen Landwirtschaft und Wasserwirtschaft über die Eingangsdaten, Zwischenergebnisse zum Wasser- und Stoffhaushalt oder auch zu Parametern bei der Berechnung der landwirtschaftlichen Stickstoffüberschüsse informiert wurde, seine Verbesserungswünsche einbrachte und sich fachlich fundiert mit dem Modellverbund auseinandersetzte. Die drei Forschungsinstitutionen Johann Heinrich von Thünen-Institut (TI), Forschungszentrum Jülich (FZJ) und Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) haben die Anregungen der Länder aufgenommen und den Umgang mit diesen mit den jeweiligen Ländern lösungsorientiert abgestimmt.

Wie bei jeder Modellanwendung üblich und allen Beteiligten in diesem Prozess bewusst, hängen die Ergebnisse einer Modellierung maßgeblich von den verwendeten Eingangsdaten ab. Im Vorhaben AGRUM-DE wurden daher bereits die Eingangsdaten der Modelle mit den Mitgliedern des Projektbeirats diskutiert und auf deren Wunsch hin, wenn zum Beispiel genauere Daten bundesweit einheitlich vorlagen und unverzüglich nutzbar waren, angepasst.

So konnten Datengrundlagen bereits während der Laufzeit des Projektes AGRUM-DE verbessert werden. Beispielsweise wurden die Bodendaten der Bodenübersichtskarte im Maßstab 1 : 1 Mio. (BÜK 1.000) im laufenden Vorhaben auf die erstmalig im Jahr 2020 vorliegenden Daten der Bodenübersichtskarte 1 : 200.000 (BÜK 200) umgestellt. Mit der bundesweiten Verwendung der InVeKoS-Daten zur Landnutzung konnte zudem erstmals ein qualitativ hochwertiger, bundesweit einheitlicher Datensatz für die Ermittlung der Stickstoffbilanzüberschüsse der Landwirtschaft verwendet werden.

Dennoch wurde es während der gesamten Laufzeit des Projektes als kritisch angesehen, dass die räumliche Auflösung und Detailschärfe der im AGRUM-DE-Projekt verwendeten Datenbasis für eine Modellanwendung auf Bundesebene geringer sind als vergleichbare Datengrundlagen für Modellierungen auf Länderebene.

5.2 Bedeutung der Validitätsüberprüfungen

Für die Akzeptanz von Modellergebnissen sind Angaben zu deren Güte – Validität – notwendig. Bei einer Validierung wird ein konkretes Modellergebnis darauf geprüft, ob es im Wertebereich von Messwerten liegt. Zur Überprüfung bundesweiter

Modellergebnisse setzt dies voraus, dass hierfür auch geeignete Messnetze auf Bundes- bzw. Landesebene vorliegen. Im Vorhaben AGRUM-DE wurden modellierte Abflüsse sowie modellierte Nährstoffkonzentrationen und modellierte Nährstofffrachten mit Messwerten aus entsprechenden Oberflächengewässermessnetzen verglichen. Dieser Vergleich zeigte akzeptable bis gute Übereinstimmungen, mit einem schwachen Trend zur Unterschätzung der N-Konzentrationen (PBIAS = -6,5 %) in den Oberflächengewässern. Darüber hinaus wurden modellierte Nitratkonzentrationen im Sickerwasser mit gemessenen Nitratkonzentrationen im Grundwasserverglichen, wobei eine akzeptable Übereinstimmung im Konzentrationsbereich festgestellt wurde.

Grundsätzlich kann die Möglichkeit zur Kalibrierung und Validierung der Modelle des AGRUM-Modellverbundes verbessert werden, wenn die Bundesländer sowohl die Anzahl der Menge- und Gütemessstellen, als auch die Beprobungsfrequenz erhöhen könnten und diese Daten zentral zur Verfügung stellen. Ebenso kann die Überprüfung der Modellierungsergebnisse für die Nitratkonzentration im Sickerwasser durch eine höhere Messnetzdichte sowie die Bereitschaft aller Länder entsprechende Daten zur Verfügung zu stellen verbessert werden.

6 Schlussfolgerungen und Ausblick

Mit dem Modellverbund AGRUM-DE wurde ein Instrument geschaffen, das bundesweit und räumlich hochauflösend Nährstoffflüsse von ihren Quellen über alle Eintragspfade hinweg bis in das Grundwasser, die Oberflächengewässer und bis in die angrenzenden Meere betrachtet. Durch die intensive Beteiligung der Bundesländer ist sichergestellt, dass landesspezifische Charakteristika auch bei einer bundesweiten Betrachtung erhalten bleiben und eine Konsistenz zu landesspezifischen Arbeiten prinzipiell möglich ist. Obwohl noch erhebliches Potenzial zur Verbesserung der Datengrundlagen besteht, konnte im Rahmen der Plausibilitätsüberprüfungen gezeigt werden, dass das von AGRUM-DE erstellte Instrument grundsätzlich geeignet ist, um landesübergreifend Nährstoffeinträge in die Gewässer darzustellen. Damit ist die Möglichkeit gegeben, u. a. für die Berichterstattung und die Bewirtschaftungspläne nach EG-WRRL auf eine bundesweit einheitliche Informationsbasis zurückzugreifen.

Im Rahmen des Vertragsverletzungsverfahrens Nitratrichtlinie hat die europäische Kommission (KOM) von Deutschland ein Wirkungsmonitoring gefordert, mit dem die Effektivität der DüV überprüft und bei Bedarf schnell gegengesteuert werden kann. Das Konzept für dieses Wirkungsmonitoring wurde der KOM in einem ersten Bericht im Sommer 2021 übergeben und von ihr begrüßt. Seitdem wird das Monitoringsystem bei Bund und Ländern aufgebaut.

Das Wirkungsmonitoring zum Vertragsverletzungsverfahren Nitratrichtlinie verknüpft drei Komponenten miteinander um Aussagen über die Effektivität der eingeleiteten gesetzlichen Maßnahmen zu erhalten. Die Basis bilden, wie auch bisher im Nitratbericht, die Monitoringergebnisse im Grund- und Oberflächenwasser der Bundesländer. Diese Daten werden von den Ländern erhoben und vom Umweltbundesamt ausgewertet und zeigen auf, ob es tatsächlich zu einer Verbesserung der Gewässerzustände kommt. Darüber hinaus sollen erstmals flächendeckend betriebliche Daten zur Düngung ausgewertet und

berichtet werden. Damit können kurzfristige Veränderungen im landwirtschaftlichen Nährstoffmanagement dargestellt werden. Allerdings sind die zu erwartenden Reaktionszeiten der Konzentrationen auf aktuell eingeleitete Maßnahmen von Messstelle zu Messstelle unterschiedlich. Während manche Messstellen bereits innerhalb weniger Jahr eine Antwort auf Maßnahmen zeigen werden, so ist die Wirkung der Maßnahmen an anderen Messstellen langdauernd, d. h. erst mit der Zeit messbar.

Um diese Lücke zu schließen, werden zwei Systeme angewendet. Zum einen wird das Julius-Kühn-Institut (JKI) mit einem auf Dauerbeprobungen basierenden Monitoringprogramm in ausgewählten Einzugsgebieten – sogenannten Modellregionen – beitragen, die zusammen mit den teilnehmenden Ländern betrieben werden. Dabei wird die tatsächliche Bewirtschaftung von Einzelflächen sowie die Konzentrationen im Sicker-, Drän- und kleineren Gräben erfasst. Die Konzentrationen in diesen Medien sollten erwartungsgemäß frühzeitig auf die veränderte Bewirtschaftung reagieren.

Zum anderen ist der Modellverbund AGRUM-DE Grundlage für eine flächendeckende deutschlandweite Darstellung der erwartbaren Auswirkungen eines geänderten landwirtschaftlichen Nährstoffmanagements auf die Gewässer, der in diesem Zusammenhang weiterentwickelt werden wird. Mittelfristig sollen die Flächenbilanzüberschüsse mit Hilfe der o. g. betrieblichen Daten zur Düngung ermittelt werden. Damit wird erstmals möglich sein, die Auswirkungen einer gewässerschonenden Landbewirtschaftung auf die Nährstoffeinträge flächendeckend darzustellen.

Wenn das gewachsene System sich als robust und belastbar erweist, könnten auch nachweislich gewässerschonend wirtschaftende Betriebe von Auflagen befreit werden, wenn die KOM zustimmt. Die auf der neuen, besseren Datengrundlage ermittelten Flächenbilanzüberschüsse werden anschließend mit den Modellen des Forschungszentrum Jülich (FZJ) und des Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) weiterverarbeitet. Dabei wird angestrebt, die räumliche Qualität der Modelleingangsdaten flächendeckend auf das Niveau der bisherigen Ländermodellierungen zu heben. Bei den Bodendaten bedeutet dies z. B. die Einbeziehung der in vielen Bundesländern im Maßstab 1 : 50.000 vorliegenden Datensätze. Zudem sollen einzelne Module im Detail weiterentwickelt werden.

Die erfolgreichen Arbeiten in AGRUM-DE werden in der von den zuständigen Bundesministerien initiierten Projektgruppe und in den begleitenden Fachgremien, in Zusammenarbeit mit Land- und Wasserwirtschaftsverwaltungen von Bund und Ländern weiter fortgesetzt.

Conclusions and outlook

With the AGRUM-DE model network, an instrument has been created that considers nutrient fluxes from their sources across all input pathways into groundwater, surface waters and the adjacent seas on a nationwide and spatially high-resolution basis. The intensive participation of the federal states ensures that state-specific characteristics are preserved even in a nationwide view and that consistency with state-specific work is possible in principle. Although there is still considerable potential for im-

proving the data basis, the plausibility checks showed that the instrument is fundamentally suitable for representing nutrient inputs to water bodies across the Länder. This makes it possible to use a uniform nationwide information base for reporting and management plans under the WFD.

In the context of the infringement proceedings under the Nitrates Directive, the European Commission (COM) demanded that Germany monitor the effectiveness of the measures introduced and, if necessary, take rapid countermeasures. The concept for this impact monitoring was submitted to the Commission in a first report in summer 2021 and welcomed by the Commission. Since then, the monitoring system has been set up at the federal and Länder levels.

The impact monitoring for the Nitrates Directive infringement procedure combines three components in order to obtain information on the effectiveness of the legal measures introduced. As in the Nitrate Report, the monitoring results in the groundwater and surface water of the Länder form the basis. These data are collected by the Länder and evaluated by the Federal Environment Agency and show whether there has actually been an improvement in water body conditions. In addition, for the first time, farm data on fertilisation will be evaluated and reported on an area-wide basis. This will enable short-term changes in agricultural nutrient management to be depicted. However, the expected reaction times of the concentrations to currently introduced measures differ from measuring point to measuring point. While some monitoring sites will already show a response to measures within a few years, the effect of measures at other monitoring sites is long-lasting, i. e. their effect will only be measurable over time.

To close this gap, two systems are used. Firstly, the Julius Kühn Institute (JKI) will contribute with a monitoring programme based on long-term sampling in selected catchments – so-called model regions – which will be operated together with the participating countries. This involves recording the actual management of individual areas as well as concentrations in seepage, drainage and smaller ditches. As expected, the concentrations in these media should react early to changes in management.

On the other hand, the AGRUM-DE model network is the basis for a nationwide representation of the expected effects of changed agricultural nutrient management on water bodies, which will be further developed in this context. In the medium term, the area balance surpluses are to be determined with the help of the above-mentioned farm data on fertilisation. This will make it possible for the first time to show the effects of water-friendly land management on nutrient inputs over a wide area. If the system that has evolved proves to be robust and resilient, farms that can demonstrate that they are managing their land in a way that protects water bodies could also be exempted from requirements if the COM agrees. The area balance surpluses determined on the new, improved data basis are then processed further with the models of the FZJ and the IGB. The aim is to raise the spatial quality of the model input data nationwide to the level of the previous Länder modelling. In the case of soil data, for example, this means including the data sets available in many federal states at a scale of 1 : 50,000. In addition, individual modules are to be further developed in detail.

The successful work in AGRUM-DE will be continued in the project group initiated by the responsible federal ministries and in the accompanying expert committees, in cooperation with land and water management administrations of the federal and state governments.

Erklärung zur Datenverfügbarkeit

Die Weitergabe zentraler Daten, auf denen die Erkenntnisse dieser Studie beruhen, ist durch Lizenzen und/oder datenschutzrechtliche Vorgaben eingeschränkt bzw. untersagt, weshalb die Daten in Ihrer Gesamtheit nicht öffentlich zugänglich sind.

Danksagung

Zwischen 2018 und 2022 wurde dieses Projekt intensiv durch einen Projektbeirat mit fachlich versierten Mitgliedern aus Bund und Ländern begleitet. Wir möchten daher den insgesamt 51 Mitgliedern des Projektbeirats, die die Arbeiten mit kritischem Blick in anregenden Diskussionen und im fachlichen Austausch begleitet haben, für die gute Zusammenarbeit danken.

Besonderer Dank gilt natürlich auch den Finanzierenden des von Thünen-Instituts (TI) für Ländliche Räume, Wald und Fischerei sowie der Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), ohne die dieses Projekt nicht durchführbar gewesen wäre.

Anschriften der Verfasser:

Dipl.-Ing. Benjamin Schmidt
Geschäftsstelle der Flussgebietsgemeinschaft Weser
An der Scharlake 39, 31135 Hildesheim
schmidt@fgg-weser.de

Dr. Michael Trepel
Ministerium für Energiewende, Klimaschutz,
Umwelt und Natur des Landes Schleswig-Holstein
Mercatorstraße 3, 24106 Kiel
michael.trepel@mekun.landsh.de

Dipl.-Ing. Mareike Fischer
Dr. Astrid Krüger
Niedersächsisches Ministerium für Umwelt,
Energie und Klimaschutz
Archivstraße 2, 30169 Hannover
mareike.fischer@mu.niedersachsen.de

M. Sc. Maximilian Zinnbauer
Dipl.-Ing. agr. Peter Kreins
M. Sc. Max Eysholdt
Johann Heinrich von Thünen-Institut Bundesforschungsinstitut
für ländliche Räume, Wald und Fischerei
Bundesallee 50, 38116 Braunschweig
maximilian.zinnbauer@thuenen.de

Prof. Dr. Frank Wendland
Dr. Ralf Kunkel
Dr. Björn Tetzlaff
Dr. Tim Wolters
Forschungszentrum Jülich GmbH
Wilhelm-Johnen-Straße, 52425 Jülich
f.wendland@fz-juelich.de

Dr. Markus Venohr
Dr. Hong Hanh Nguyen
Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB)
Müggelseedamm 310, 12587 Berlin
m.venohr@igb-berlin.de

Literaturverzeichnis

- ACKERMANN, A., C. HEIDECKE, U. HIRT, P. KREINS, P. KUHR, R. KUNKEL, ..., M. VENOHR (2015): Der Modellverbund AGRUM als Instrument zum landesweiten Nährstoffmanagement in Niedersachsen. Braunschweig (Thünen-Report, 37): Johann Heinrich von Thünen Institut.
- ACKERMANN, A., J. MAHNKOPF, C. HEIDECKE & M. VENOHR (2016): Reducing agricultural nitrogen inputs in the German Baltic Sea catchment – trends and policy options. In: Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research 74 (5), S. 1060–1068. DOI: 10.2166/wst.2016.267.
- BEHRENDT, H., M. KORNMILCH, D. OPITZ, O. SCHMOLL & G. SCHOLZ (2002): Estimation of the nutrient inputs into river systems – experiences from German rivers. Regional Environmental Changes 3, 107–117.
- BMU/BMEL (2020): Nitratbericht 2020. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Binnengewasser/nitratbericht_2020_bf.pdf; zuletzt geprüft am 21.07.2020.
- BMUV/UBA (2022): Die Wasserrahmenrichtlinie – Gewässer in Deutschland 2021 Fortschritte und Herausforderungen. Bonn, Dessau.
- BRANDES, E., M. HENSELER, F. HERRMANN, P. KREINS & F. WENDLAND (2022): Microplastics in the environment: Investigations in the War-now catchment. Johann Heinrich von Thünen-Institut.
- DEMUTH, S. (1993): Untersuchungen zum Niedrigwasser in West-Europa, in Freiburger Schriften zur Hydrologie. Institut für Hydrologie. p. 205.
- DIN 19708 (2017): Bodenbeschaffenheit – Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser mit Hilfe der ABAG.
- DüV (2020): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung – DüV). Düngeverordnung vom 26. Mai 2017 (BGBl. I S. 1305), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 28. April 2020 (BGBl. I S. 846) geändert worden ist.
- EHLERS, L., F. HERRMANN, M. BLASCHEK, R. DUTTMANN & F. WENDLAND (2016): Sensitivity of mGROWA-simulated groundwater recharge to changes in soil and land use parameters in a Mediterranean environment and conclusions in view of ensemble-based climate impact simulations. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.04.122: Science of The Total Environment, 543: 937–951.
- ENGEL, N., U. MÜLLER & W. SCHÄFER (2012): BOWAB - Ein Mehrschicht-Bodenwasserhaushaltsmodell. GeoBerichte – Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, 20: 85–98.
- ERTL, G., J. BUG, J.E.N. ELBRACHT & F. HERRMANN (2019): Grundwasserneubildung von Niedersachsen und Bremen. Berechnungen mit dem Wasserhaushaltsmodell mGROWA18. Hannover (LBEG). https://doi.org/10.48476/geober_36_2019: GeoBerichte 36: 54 S.
- EUROSTAT (2013): Nutrient Budgets – Methodology and Handbook. Version 1.02. Hg. v. EUROSTAT und OECD. Luxembourg: Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2393397/2518760/Nutrient_Budgets_Handbook_%28CPSA_AE_109%29_corrected3.pdf/4a3647de-da73-4d23-b94b-e2b-23844dc31, zuletzt geprüft am 07.01.2022.
- EYSHOLDT, M., R. KUNKEL, C. RÖSEMANN, F. WENDLAND, T. WOLTERS, M. ZINNBAUER & R. FUSS (2022): A model-based estimate of nitrate leaching in Germany for GHG reporting. In: J. Plant Nutr. Soil Sci., Artikel jpln.202200119. DOI: 10.1002/jpln.202200119.

- GÖMANN, H., P. KREINS, E. BRANDES, & T. PFINGSTEN (2020): Kooperationsprojekt GROWA+ NRW 2021. Teil I. Regionalisierte Quantifizierung der landwirtschaftlichen Flächenbilanzüberschüsse in Nordrhein-Westfalen. Köln/Braunschweig (10): Online verfügbar unter https://www.flussgebiete.nrw.de/system/files/atoms/files/teilbericht_i_naehrstoffbilanzen_2020_11_16.pdf, zuletzt geprüft am 30.06.2021.
- Haß, M., M. BANSE, C. DEBLITZ, F. FREUND, I. GEIBEL, A. GOCHT et al. (2020): Thünen-Baseline 2020 - 2030 Agrarökonomische Projektionen für Deutschland. Braunschweig (Thünen Report, 82); https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn062723.pdf. Johann Heinrich von Thünen-Institut.
- HÄUSSERMANN, U., M. BACH, L. KLEMENT & L. BREUER (2019): Stickstoff-Flächenbilanzen für Deutschland mit Regionalgliederung Bundesländer und Kreise – Jahre 1995 bis 2017 – Methodik, Ergebnisse und Minderungsmaßnahmen. Dessau-Roßlau (TEXTE, 131/2019): Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Institut für Landschaftsökologie und Ressourcenmanagement, Justus-Liebig-Universität Gießen.
- HEIDECKE, C., U. HIRT, P. KREINS, P. KUHR, R. KUNKEL, M. SCHOTT, ..., F. WENDLAND (2015): Entwicklung eines Instrumentes für ein flussgebietsweites Nährstoffmanagement in der Flussgebietseinheit Weser AGRUM+Weser. Endbericht zum Forschungsprojekt. Braunschweig (Thünen-Report, 21): Johann Heinrich von Thünen-Institut.
- HEIDECKE, C., A. WAGNER & P. KREINS (2012): Entwicklung eines Instrumentes für ein landesweites Nährstoffmanagement in Schleswig-Holstein. Braunschweig (Arbeitsberichte aus der TI-Agrarökonomie). Online verfügbar unter https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/bitv/dn051508.pdf, zuletzt geprüft am 15.05.2020: Johann Heinrich von Thünen-Institut.
- HEINRICHSMEYER, W., C. CYPRI, W. LÖHE, M. MEUDT, R. SANDER & F. VON SOTHEN (1996): Entwicklung eines gesamtdeutschen Agrarsektormodells. Braunschweig, Bonn: In: Universität Bonn und Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) (Hg.): Endbericht zum Kooperationsprojekt "Entwicklung des gesamtdeutschen Agrarsektormodells RAUMIS96".
- HENNING, C., F. TAUBE, J. HEDTRICH, K. STRELOW, C. KLUSS & T. REINSCH (2019): Nährstoffbericht des Landes Schleswig-Holstein. Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (MELUND). Kiel: Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- HENSELER, M., R. DELZEIT, M. ADENÄUER, S. BAUM & P. KREINS (2020): Nitrogen Tax and Set-Aside as Greenhouse Gas Abatement Policies Under Global Change Scenarios: A Case Study for Germany. In: *Environ Resource Econ*. DOI: 10.1007/s10640-020-00425-0.
- HENSELER, M., N. RÖDER, H. LIEBERSBACH, P. KREINS & B. OSTERBURG (2015): The mitigation potential and cost efficiency of abatement-based payments for the production of short-rotation coppices in Germany. In: *Biomass and Bioenergy* 81, S. 592–601. DOI: 10.1016/j.biombioe.2015.08.007.
- HERRMANN, F., S. CHEN, L. HEIDT, J. ELBRACHT, N. ENGEL, R. KUNKEL, ..., F. WENDLAND (2013): Zeitlich und räumlich hochaufgelöste flächendifferenzierte Simulation des Landschaftswasserhaushalts in Niedersachsen mit dem Model mGROWA. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 57(5): 206-224.
- HERRMANN, F., S. CHEN, L. HÜBSCH, N. ENGEL, R. KUNKEL, U. MÜLLER, ..., F. WENDLAND (2014b): Auswirkung von möglichen Klimaänderungen auf den Bodenwasserhaushalt und die Grundwasserneubildung in der Metropolregion Hamburg. In: Kaden, S., Dietrich, O., Theobald, S. *Wassermanagement im Klimawandel – Möglichkeiten und Grenzen von Anpassungsmaßnahmen*.
- HERRMANN, F., L. KELLER, R. KUNKEL, H. VERECKEN & F. WENDLAND (2015): Determination of spatially differentiated water balance components including groundwater recharge on the Federal State level – A case study using the mGROWA model in North Rhine-Westphalia (Germany). *Journal of Hydrology: Regional Studies* 294-312.
- HERRMANN, F., F. WENDLAND, L. HÜBSCH & U. MÜLLER (2014a): Auswirkung von möglichen Klimaänderungen auf die Grundwasserneubildung in der Metropolregion Hamburg. 6/2014: S. 34f: energie | wasser-praxis.
- KLAPPER, H. (2000): 3.2 Eutrophierung. In: Guderian, R. u. Gunkel, G. (Hrsg.): *Aquatische Systeme*, Bd. 3A, Berlin u.a., 270-328.
- KREINS, P., H. BEHRENDT, H. GÖMANN, C. HEIDECKE, U. HIRT, R. KUNKEL et al. (2009): Analyse von Agrar- und Umweltmaßnahmen im Bereich des landwirtschaftlichen Gewässerschutzes vor dem Hintergrund der EG-Wasserrahmenrichtlinie in der Flussgebietseinheit Weser. Braunschweig (Landbauforschung Sonderheft, 336): Johann Heinrich von Thünen-Institut.
- KUNKEL, R., & WENDLAND, F. (1997): WEKU- A GIS supported stochastic model of groundwater residence times in upperaquifers for the supraregional groundwater management. *J. Environ. Geol.*, 30 (1/2), 1-9.
- KUNKEL, R., M. EISELE, W. SCHÄFER, B. TETZLAFF & F. WENDLAND (2008): Planning and implementation of nitrogen reduction measures in catchment areas based on a determination and ranking of target areas. *Desalination*, 226, 1–12.
- LEMM, J., M. VENOHR, L. GLOBEVNIK, K. STEFANIDIS, Y. PANAGOPOULOS, J. VAN GILS, ..., S. BIRK (2021): Multiple stressors determine river ecological status at the European scale: Towards an integrated understanding of river status deterioration. *Glob. Chang. Biol.* 1–14. doi:10.1111/gcb.15504.
- LMS Agrarberatung (2020): Regionalisierte Flächenbilanzen für Stickstoff auf landwirtschaftlichen Nutzflächen in Mecklenburg-Vorpommern. Rostock. Online verfügbar unter http://www.lbesa.mv-regierung.de/doku/hintergrund/2020_Bericht_Regionalisierung_landwirtschaftliche_Stickstoffbilanzen_MV_2012-2017_end.pdf, zuletzt geprüft am 04.02.2022: Im Auftrag des Ministeriums für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern.
- MATHIVANAN, G.P., M. EYSHOLDT, M. ZINNBAUER, C. RÖSEMANN & FUSS, R. (2021): New N2O emission factors for crop residues and fertiliser inputs to agricultural soils in Germany. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 322, S. 107640. DOI: 10.1016/j.agee.2021.107640.
- MORIASI, D.N., M.W. GITAU, N. PAI & P. DAGGUPATI (2015): Hydrologic and water quality models: Performance measures and evaluation criteria. *Trans ASABE* 58, 1763–1785. <https://doi.org/10.13031/trans.58.10715>, Hydrologic and water quality.
- MSRL (2008): Richtlinie 2008/56/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17.06.2008 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Meeresumwelt (Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie ABl. EG Nr. L 164 S. 19). (MSRL).
- NASH, J.E., & J.V. SUTTCIFFE (1970): River flow forecasting through conceptual models – Part1 – A discussion of principles. *Journal of Hydrology* 10: 282-290.
- NGUYEN, H., & M. VENOHR (2021): Harmonized assessment of nutrient pollution from urban systems including losses from sewer exfiltration: a case study in Germany. In: *Environmental Science and Pollution Research*. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12440-9>.
- NGUYEN, H., A. PECHE & M. VENOHR (2021): Modelling of sewer exfiltration to groundwater in urban wastewater systems: A critical review. In *Journal of Hydrology* (Vol. 596, pp. 126130): Elsevier B.V.
- Nitratrichtlinie (1991): Richtlinie 91/676/EG des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen (Nitratrichtlinie).
- OENEMA, O., H. KROS & W. DE VRIES (2003): Approaches and uncertainties in nutrient budgets: implications for nutrient management and environmental policies. In: *European Journal of Agronomy* 20 (1-2), S. 3–16. DOI: 10.1016/S1161-0301(03)00067-4.

- SCHMIDT, B., U. KUHN, M. TREPEL, M. FISCHER, A. KRÜGER, P. KREINS, ..., H. NGUYEN (2022): Ergebnisse der bundesweiten Modellierung AGRUM-DE zur Bestimmung der Nährstoffbelastung und des Handlungsbedarfs in den deutschen Flussgebieten. *Wasser und Abfall*(04/2022 S. 22-30).
- TETZLAFF, B. (2006): Die Phosphatbelastung großer Flusseinzugsgebiete aus diffusen und punktuellen Quellen. *Forschungszentrum Jülich, Reihe Umwelt/Environment*, Bd. 65, Jülich, 287 S.
- TETZLAFF, B., L. KELLER, P. KUHR, P. KREINS, R. KUNKEL & F. WENDLAND (2017): Nährstoffeinträge ins Grundwasser und die Oberflächengewässer Schleswig-Holsteins unter Anwendung der Modellkombination RAUMIS-GROWA-WEKU-MEPhos, Endbericht zum Forschungsprojekt, 230 S.
- TETZLAFF, B., R. KUNKEL, P. TA, F. WENDLAND, & T. WOLTERS (2021): Fortführung der Nährstoffmodellierung Mecklenburg-Vorpommern. – Endbericht zum Forschungsprojekt, 184 S.
- TETZLAFF, B., H. SCHREINER, H. VEREECKEN & F. WENDLAND (2009b): Modellgestützte Analyse signifikanter Phosphorbelastungen in hessischen Oberflächengewässern aus diffusen und punktuellen Quellen – Abschlussbericht zum Kooperationsvertrag FZJ u. HLUG. *Forschungszentrum Jülich, Reihe Energie und Umwelt*, 29, 149 S.
- TETZLAFF, B., H. VEREECKEN, R. KUNKEL & F. WENDLAND (2009a): Modelling phosphorus inputs from agricultural sources and urban areas in river basins. *Environmental Geology* (1): 183-193, DOI: 10.1007/s00254-008-1293-1.
- UHLMANN, D., & W. HORN (2001): *Hydrobiologie der Binnengewässer*. Ulmer, Stuttgart, 528 S.
- US Soil Conservation Service (1972): *National Engineering Handbook*. (Chapter 4: Hydrology), 2nd. Reprint, US Dept. of Agriculture, Washington D.C.
- VENOHR, M. (2006): *Modellierung der Einflüsse von Temperatur, Abfluss und Hydromorphologie auf die Stickstoffretention in Flussgebieten*, Dissertation. *Berliner Beiträge zur Ökologie* 14, Weißensee Verlag, Berlin, 193 S.
- VENOHR, M., U. HIRT, J. HOFMANN, D. OPITZ, A. GERICKE, A. WETZIG, ..., H. BEHRENDT (2011). Modelling of Nutrient Emissions in River Systems – MONERIS – Methods and Background. In: *International Review of Hydrobiology* (Vol. 96, pp. 435-483).
- VENOHR, M., J. MAHNKOPF & A. GERICKE (1 2020): Räumliche Verteilung und Quellen von gelösten und partikulären Phosphoreinträgen in Deutschland. *Wertermittlungsforum* – 38, S. 18-27.
- WENDLAND, F., H. BEHRENDT, H. GÖMANN, U. HIRT, P. KREINS, U. KUHN, ..., B. TETZLAFF (2009): Determination of nitrogen reduction levels necessary to reach groundwater quality targets in large river basins: the Weser basin case study, Germany. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 85 (1), 63-78.
- WENDLAND, F., S. BERGMANN, N. CREMER, H. GÖMANN, M. EISELE, P. KREINS & R. KUNKEL (2021a): Minderungsbedarf der Stickstoffeinträge zur Erreichung der Ziele für das Grundwasser und für den Meeresschutz. *LANUV-Fachbericht* 110, Teil VII, 99 S.
- WENDLAND, F., F. HERRMANN, R. KUNKEL, P. TA, B. TETZLAFF & T. WOLTERS (2021b): Quantifizierung der Stickstoff- und Phosphoreinträge ins Grundwasser und in die Oberflächengewässer in Rheinland-Pfalz mit eintragspfadbezogener und regionaler Differenzierung – Projektabschlussbericht. *Forschungszentrum Jülich*; p.227.
- WENDLAND, F., L. KELLER, P. KUHR, B. TETZLAFF, C. HEIDECHE, P. KREINS, ..., M. TREPEL (2014): Räumlich differenzierte Quantifizierung der Stickstoffeinträge ins Grundwasser und die Oberflächengewässer in Schleswig-Holstein. In: *Korrespondenz Wasserwirtschaft: KW; Organ der DWA; Wasser, Boden, Natur* 7 (6), S. 327–332. DOI: 10.3243/kwe2014.06.001.
- WESSOLEK, G., & M. FACKLAM (1997): Standorteigenschaften und Wasserhaushalt von versiegelten Flächen. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 160 (1), 41–46.
- WOLTERS, T., T. BACH, M. EISELE, W. ESCHENBACH, R. KUNKEL, I. MCNAMARA, ..., F. WENDLAND (2022): The derivation of denitrification conditions in groundwater: combined method approach and application for Germany. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109564>: *Ecological Indicators*, Volume 144, 109564, ISSN 1470-160X.
- WOLTERS, T., N. CREMER, M. EISELE, F. HERRMANN, P. KREINS, R. KUNKEL & F. WENDLAND (2021): Checking the Plausibility of Modelled Nitrate Concentrations in the Leachate on Federal State Scale in Germany. *Water* 2021, 17, 226. <https://doi.org/10.3390/w11420226>.
- WRRL (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23.10.2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. (WRRL).
- WUNDT, W. (1958): Die Kleinstwasserführung der Flüsse als Maß für die verfügbaren Grundwassermengen. In: *Grahmann, R., Wundt, W. (Eds.), Die Grundwässer in der Bundesrepublik Deutschland und ihre Nutzung*. Verlag der Bundesanstalt für Landeskunde, Remagen, Germany, pp. 47-54.
- ZINNBAUER, M., M. EYSHOLDT, M. HENSELER, P. KREINS, F. HERMANN, R. KUNKEL, ..., F. WENDLAND (2023): Quantifizierung aktueller und zukünftiger Nährstoffeinträge und Handlungsbedarfe für ein deutschlandweites Nährstoffmanagement – AGRUM-DE – Abschlussbericht. *Braunschweig (Thünen-Report 108)*: Johann Heinrich von Thünen Institut.

Aktuelles

Globale Erwärmung verstärkt Extremniederschläge mehr als erwartet

Die Intensität und Häufigkeit extremer Niederschläge nimmt gemäß einer neuen Studie des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK) mit der globalen Erwärmung exponentiell zu. Die Forschenden stellten außerdem fest, dass die Klimamodelle die Zunahme der Häufigkeit von extremen Niederschlägen deutlich unterschätzen. Starkregenereignisse nehmen demnach schneller zu, als die Klimamodelle bislang vermuten lassen.

Die Studie bestätigt, dass die Intensität und Häufigkeit von Starkregen mit jedem Grad der Klimaerwärmung exponentiell zunehmen. Diese Veränderungen folgen dem physikalischen Gesetz der Clausius-Clapeyron-Gleichung von 1834, die besagt, dass wärmere Luft mehr Wasserdampf aufnehmen kann. Die aktuellen Klimamodelle variieren darin wie stark extreme Niederschläge mit der globalen Erwärmung ansteigen, und sie unterschätzen diesen Anstieg im Vergleich zu historischen Beobachtungsdaten.

Die Auswirkungen der Klimaerwärmung auf die Umwelt wurden auf der Grundlage von Klimamodellen berechnet. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Klimafolgen noch intensiver sein könnten, als bisher vermutet. Extreme Regenfälle werden stärker und häufiger auftreten, worauf sich die Gesellschaft einstellen müsse. Veränderungen in der Häufigkeit und Intensität der täglichen Niederschlagsextreme über Land können sich auf den Wohlstand und die Stabilität einer Gesellschaft sowie auf die wirtschaftliche Entwicklung auswirken. Überschwemmungen, aber auch die Verfügbarkeit von Grundwasser, können nicht nur zu finanziellen Einbußen führen, sondern zu erheblichen Verlusten an Menschenleben.

Die Forschenden des PIK analysierten die Intensität und Häufigkeit der täglichen Niederschlagsextreme über Land in 21 Klimasimulationen der neuesten Generation (CMIP-6) und verglichen sie mit den historischen Beobachtungen. Die von ihnen angewandte Mustererkennungsmethode ermöglicht es zu unterscheiden, welche Veränderungen im Klimasystem durch menschliche Emissionen bedingt sind und welche nicht.

Während über den meisten Landgebieten sowohl die Intensität als auch die Häufigkeit von Extremereignissen zunehmen, sind der Studie zufolge stärkerer Zunahmen typischerweise in tropischen Regionen zu erwarten. Signifikante Veränderungen treten am häufigsten in den Tropen und den hohen Breitengraden auf, etwa in Südostasien oder Nordkanada. Die Tatsache, dass diese Veränderungen der Clausius-Clapeyron-Gleichung folgen, unterstreicht, dass die Veränderungen von extremen Niederschlägen weltweit von thermodynamischen Variablen wie die Temperatur bestimmt wird und weniger von dynamischen Einflüssen wie dem Wind. Der positive Trend hierbei sei, dass dies extreme Niederschläge in Zukunft besser prognostizierbar machen. Auf der anderen Seite werden Starkregenereignisse immer häufiger und intensiver auftreten, solange die globalen Temperaturen durch den Ausstoß von Treibhausgasen weiter in die Höhe getrieben werden.

Fachartikel:

Kotz, M., Lange, S., Wenz, L., Levermann, A. (2023): Constraining the pattern and magnitude of projected extreme precipitation change in a multi-model ensemble. *Journal of Climate*, Online publication.

DOI: 10.1175/JCLI-D-23-0492.1

Weitere Informationen:

Forschungsabteilung "Komplexitätsforschung",
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung
<https://www.pik-potsdam.de/de/institut/abteilungen/komplexitaetsforschung/rd4-komplexitaetsforschung>

(aus: Pressemitteilung Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung vom 27. November 2023)

Studie bringt Veränderungen im globalen Wasserkreislauf mit höheren Temperaturen in Verbindung

Ein internationales Team von Forschenden hat in einer umfangreichen Datenanalyse den Wasserkreislauf der vergangenen 2.000 Jahre rekonstruiert. In der hierzu veröffentlichten Studie untersuchen sie den Zusammenhang von Wasserkreislauf und Klimaveränderungen und tragen zu einem besseren Verständnis bei.

Um Antworten zu finden und fundierte Vorhersagen zu treffen, blicken Wissenschaftler in die Vergangenheit. Rekonstruktionen vergangener Klimaveränderungen anhand geologischer Daten haben dazu beigetragen, den weitreichenden Einfluss menschlicher Aktivitäten auf die Temperaturen seit dem Industriezeitalter aufzuzeigen. Aufzeichnungen über das Hydroklima – also das vielfältige Zusammenspiel von Klima und Wasserkreislauf, wie zum Beispiel Niederschlagsmengen oder -intensitäten oder das Verhältnis von Niederschlag und Verdunstung auf lokalen bis globalen räumlichen Skalen – für denselben Zeitraum zusammenzustellen, hat sich jedoch als wesentlich schwieriger erwiesen.

Eine Studie des Iso2k-Projektteams von Past Global Changes (PAGES), einschließlich einem Wissenschaftlerteam vom MARUM – Zentrum für Marine Umweltwissenschaften der Universität Bremen, ist es hierbei gelungen, die globale Wassergeschichte der vergangenen 2.000 Jahre zu rekonstruieren. Anhand von geologischen und biologischen Belegen, die in natürlichen Umweltarchiven weltweit aufbewahrt werden – darunter 759 Paläoklimaaufzeichnungen von Korallen, Bäumen, Eis, Höhlenformationen und Sedimenten – konnten die Forschenden zeigen, dass sich der globale Wasserkreislauf in Zeiten höherer und niedrigerer Temperaturen in der jüngsten Vergangenheit verändert hat.

Der globale Wasserkreislauf ist eng mit der globalen Temperatur verbunden. Das Forscherteam hat hierzu festgestellt, dass sich in Zeiträumen, in denen sich die Temperatur auf globaler Ebene ändert, auch die Art und Weise ändert, in der sich das Wasser auf der Erde bewegt. Insbesondere der Niederschlag unterliegt geografischen Schwankungen, die viel deutlicher sind als die der

Lufttemperatur. Daher ist es schwierig zu beurteilen, wie sich die Niederschläge verändert haben. Die Forscher haben sich dabei für Zeitreihen von Wasserisotopen entschieden, weil sie ganzheitliche Signale widerspiegeln und weil sie in allen möglichen natürlichen Archiven aufgezeichnet sind. Dies ist ein erster Schritt zur Rekonstruktion von Dürre- oder Niederschlagsmustern auf globaler Ebene während der vergangenen 2.000 Jahre.

Der globale Wasserkreislauf ist komplex und verflochten. Wasser verdunstet von der Erdoberfläche, steigt in die Atmosphäre auf, kühlt ab und kondensiert in Wolken zu Regen oder Schnee und fällt als Niederschlag wieder auf die Oberfläche. Jedes Wassermolekül, das Teil des Kreislaufs ist, hat einen bestimmten isotopischen Fingerabdruck oder eine bestimmte Zusammensetzung, die kleine Variationen im Atomgewicht der Sauerstoff- und Wasserstoffatome, aus denen das Molekül besteht, widerspiegelt. Einzelne Wassermoleküle können also schwerer oder leichter sein.

In dieser neuen Studie fanden die Wissenschaftler heraus, dass Niederschlag und andere natürliche Wässer bei höheren globalen Temperaturen isotopisch schwerer werden. Die Forschenden interpretierten diese Isotopenveränderungen und bestimmten ihren zeitlichen Verlauf, indem sie Daten aus einer Vielzahl natürlicher Archivquellen aus den vergangenen 2.000 Jahren Erdgeschichte zusammenfassten.

Das PAGES Iso2k-Projektteam, dem mehr als 40 Forschende aus zehn Ländern angehören, sammelte, ordnete und digitalisierte teilweise Datensätze aus Hunderten von Studien, um die für ihre Analyse verwendete Datenbank aufzubauen. Am Ende verfügten sie über 759 weltweit verteilte Zeitreihen, die die weltweit größte integrierte Datenbank von Wasserisotopen-Proxydaten darstellen.

Das Zusammensetzen von Signalen aus vielen verschiedenen Arten von natürlichen Archiven kann allerdings wie das Zusammensetzen von Äpfeln und Birnen sein. Das Projektteam wusste jedoch, dass Klimasignale in verschiedenen natürlichen Archiven auf spezifische Weise in Wasserisotopen aufgezeichnet werden. Sorgfältig zusammengesetzt, konnte dieser rote Faden ihnen helfen, einen Baumring mit einem Eiskern zu vergleichen. Jedes Archiv ist dabei anders strukturiert. Um die Sache noch komplizierter zu machen, werden Datensätze aus verschiedenen Archiven von verschiedenen wissenschaftlichen Gemeinschaften mit ihrer eigenen Terminologie, ihren eigenen Normen und Referenzmaterialien erstellt. Hierzu wurden Datenbeschreibungsfelder, also Metadaten, für die Datenbank entwickelt, die die Besonderheiten jedes Datensatzes in eine gemeinsame Sprache übersetzen, die es ermöglicht, Variationen in einem Archiv mit Variationen in einem anderen zu vergleichen.

Globale Zusammenhänge zwischen der Temperatur und der Isotopenzusammensetzung bestimmter natürlicher Wässer, wie Meerwasser und Gletschereis, sind seit langem bekannt, da sich die Erde in Eiszeitzyklen hinein und wieder heraus bewegt. Lokale Zusammenhänge mit der Temperatur auf Zeitskalen von Minuten bis Monate sind ebenfalls gut belegt.

Diese Studie liefert jedoch den ersten Beweis dafür, dass die Temperatur und die Isotopenzusammensetzung natürlicher Wässer

auf Zeitskalen zwischen diesen beiden Größenordnungen – also über Jahrzehnte bis Jahrhunderte – Hand in Hand gehen.

Wenn sich der Planet erwärmt und abkühlt, wirkt sich das auf das Verhalten des Wassers aus, wenn es die Ozeane verlässt, und auf die Stärke seiner Bewegungen durch die Atmosphäre. Die isotopischen Signale in diesen Wässern reagieren sehr stark auf Temperaturveränderungen.

Das Wissenschaftlerteam fand heraus, dass die globale mittlere Oberflächentemperatur einen zusammenhängenden Einfluss auf die Isotopenzusammensetzung des weltweiten Niederschlags und so genannten "meteorischen Wässern" (Wasser in Seen, Flüssen und Eisschmelzen) während der vergangenen 2.000 Jahre ausübte. Die beobachteten Veränderungen wurden durch Verdunstungs- und Kondensationsprozesse in den Weltmeeren verursacht, mit niedrigeren Werten während der so genannten Kleinen Eiszeit (1450 bis 1850 unserer Zeitrechnung) und höheren Werten nach dem Einsetzen der vom Menschen verursachten Klimaerwärmung ab etwa dem Jahr 1850.

Was die konkreten Auswirkungen dieser Veränderungen auf die künftigen Niederschläge und die Wasserverfügbarkeit betrifft, so ist es laut dem Iso2k-Team noch zu früh, um Gewinner und Verlierer vorherzusagen. Die Daten dieser Studie deuten jedoch darauf hin, dass weitere Veränderungen im Wasserkreislauf wahrscheinlich sind, wenn die globalen Temperaturen weiter ansteigen.

Fachartikel:

Konecky, B.L., McKay, N.P., Falster, G.M. et al. (2023): Globally coherent water cycle response to temperature change during the past two millennia. *Nature Geoscience* 2023.
DOI: 10.1038/s41561-023-01291-3

Weitere Informationen:

Fachbereich "Mikropaläontologie – Paläozooarchäologie", MARUM www.marum.de/wir-ueber-uns/AG-Mikropalaeontologie-Palaeozooarchaeologie/Mikropalontologie.html

(aus: *Pressemitteilung Zentrum für Marine Umweltwissenschaften (MARUM), Universität Bremen vom 2. November 2023*)

Evaluierung der Qualität globaler Wassermodelle

In einer kürzlich dargelegten Studie testet die Arbeitsgruppe Analyse hydrologischer Systeme an der Universität Potsdam gemeinsam mit einem internationalen Team, inwiefern globale Wassermodelle untereinander und mit Messdaten übereinstimmen. Durch einen neuen Evaluierungsansatz können die Forschenden zeigen, in welchen Klimaregionen die Modelle übereinstimmen und wo sie voneinander abweichen. Das Projekt wurde im Rahmen einer Alexander von Humboldt-Professur an der Universität Potsdam sowie in Zusammenarbeit mit dem Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project (ISIMIP) durchgeführt.

Globale Wassermodelle sind unverzichtbar, um den Wasserkreislauf zu verstehen – aktuell vor allem, wenn es um die Auswirkungen des Klimawandels geht. Unsere Gesellschaft erfährt viele dieser Folgen in Form von Wasserextremen wie zunehmenden Dürren und Hochwassern, die eine Gefahr für Menschen und Ökosysteme

darstellen. Aber es ändert sich auch die generelle Wasserverfügbarkeit, zum Beispiel die landwirtschaftlich relevante Bodenfeuchte, oder die Grundwasserneubildung, die für eine nachhaltige Nutzung von Grundwasserressourcen von Bedeutung ist.

Allerdings sind Schlussfolgerungen zu diesen Veränderungen, die mithilfe globaler Wassermodelle gezogen werden, im Moment noch unsicher, da die Ergebnisse verschiedener Modelle dazu sehr unterschiedlich ausfallen. Diese Unstimmigkeiten waren bislang unzureichend quantifiziert und bisherige Evaluierungsansätze haben wenig Information darüber geliefert, wie die Modelle verbessert werden können. Die neue Studie nutzt zum ersten Mal großräumige Beziehungen zwischen klimatischen und hydrologischen Variablen, unter anderem Niederschlag und Grundwasserneubildung, um Unterschiede zwischen den Modellen und im Vergleich zu Messdaten aufzuzeigen. In Messdaten ist zum Beispiel ein starker Zusammenhang zwischen Niederschlag und Grundwasserneubildung über dem afrikanischen Kontinent feststellbar. Nicht alle Modelle bilden diesen Zusammenhang korrekt ab und es muss gemäß dem Forscherteam verstanden werden, wie realistisch die verschiedenen Modellergebnisse sind.

Zusammenhänge zwischen klimatischen und hydrologischen Variablen – sogenannte funktionale Beziehungen – geben einen Überblick darüber, wie der globale Wasserkreislauf funktioniert. Wie sehr ist die Grundwasserneubildung vom Niederschlag abhängig und wie stark ist der Einfluss anderer Faktoren, etwa der Geologie? Antworten auf solche Fragen sind enorm wichtig, aber sie fehlen für viele Gebiete der Erde, was sich auch in den Unstimmigkeiten zwischen den Modellen widerspiegelt. Neben der Grundwasserneubildung sind diese Unstimmigkeiten besonders groß bei Prozessen, die den Energiehaushalt an der Landoberfläche beschreiben, sowie generell in trockenen und kalten Regionen.

Das internationale Wissenschaftlerteam sucht dabei neue Methoden zur Evaluierung dieser immens wichtigen Modelle, die zum einen Entscheidungsträger darüber informieren, wie verlässlich die Modellergebnisse sind. Zum anderen sollen sie aber auch den Modellentwicklern dabei helfen, die Modelle zu verbessern. Wenn die Belastbarkeit der Modellvorhersagen besser quantifiziert werden kann, steigen auch die Relevanz und der Nutzen dieser Modelle. Funktionale Beziehungen bieten das Potenzial für grundlegende Fortschritte in der globalen Hydrologie und sollten ein neuer Schwerpunkt der hydrologischen Forschung sein, insbesondere der Modellevaluierung.

Fachartikel:

Gnann, S., Reinecke, R., Stein, L., Wagener, T., Wada, Y., Thiery, W., Müller-Schmied, H., Satoh, Y., Pokhrel, Y., Ostberg, S., Koutroulis, A., Hanasaki, N., Grillakis, M., Gislign, S.N., Burek, P., Bierkens, M.F.P., (2023): Functional relationships reveal differences in the water cycle representation of global water models, *Nat Water* (2023). DOI: 10.1038/s44221-023-00160-y

Weitere Informationen:

Institut für Umweltwissenschaften und Geographie,
Universität Potsdam
<https://www.uni-potsdam.de/de/umwelt/>

(aus: Pressemitteilung Universität Potsdam vom 28. November 2023)

Neues Verfahren zu den Meeresströmungen des El Niño

In unregelmäßigen Abständen tritt im Pazifik ein folgenreiches Wetterphänomen auf, das El Niño genannt wird (spanisch für Christkind). Dann strömt das ursprünglich durch die Passatwinde getriebene warme Oberflächenwasser vor den Küsten Indoniens und Ostaustraliens zurück nach Osten, was verheerende Folgen haben kann. Dem Physikerteam von der Justus-Liebig-Universität Gießen (JLU) ist es gemeinsam mit Wissenschaftlern vom Potsdam Institut für Klimafolgenforschung (PIK) erstmals gelungen, ein Verfahren zu entwickeln, mit dem sich bereits ein Jahr vorher mit hoher Wahrscheinlichkeit prognostizieren lässt, wie gefährlich ein kommender El Niño sein wird.

Bei dem Wetterphänomen unterscheidet man zwei Ausprägungen: Oft gelangt das zurückfließende warme Oberflächenwasser nur in die Mitte des Pazifiks, in diesem Fall spricht man von einem zentralpazifischen El Niño. In vielen Fällen gelangt das warme Wasser aber bis in den Ostpazifik hinein, der sich dann deutlich erwärmt – dies ist der ostpazifische El Niño. Beide Typen können Auswirkungen auf das Klima haben, deutlich stärkere Auswirkungen hat aber der ostpazifische El Niño, der ausgeprägte Dürren aber auch Starkregen und Überschwemmungen in vielen Teilen der Welt zu Folge haben kann. Zudem sorgen die hohen Wassertemperaturen vor der Küste von Peru und Chile dafür, dass ein Großteil der Fische sich in kühlere Gefilde zurückzieht, was Auswirkungen auf den Fischfang haben kann.

Das Verfahren, mit dem die Physiker aus Gießen und Potsdam den Typ eines El Niño vorhersagen, beruht auf der Analyse der Wassertemperaturen im West- und Zentralpazifik seit dem Jahr 1950. Bisher konnten die Forscher mithilfe eines von ihnen eingeführten Klimanetzwerkes etwa ein Jahr im Voraus nur den Beginn eines El Niño prognostizieren. Mit dem neuen Verfahren lassen sich jedoch auch sein Typ und damit sein Gefährdungspotenzial abschätzen.

Das Forscherteam kann nunmehr demnach mit einer Wahrscheinlichkeit von 86 % den Typ eines kommenden El Niño korrekt voraussagen. Das heißt, wenn am Ende eines Jahres von einem Klimanetzwerk die Prognose gegeben wird, dass sich ein El Niño entwickelt und neue Methode einen zentralpazifischen El Niño anzeigt, dann kann nunmehr bereits im Dezember eine gewisse Entwarnung für den kommenden Herbst und Winter geben. Deutet die Methode jedoch auf einen ostpazifischen El Niño hin, ist Vorsicht geboten. Die große Vorlaufzeit gepaart mit der hohen Treffsicherheit ist wichtig, um in den betroffenen Gegenden frühzeitig geeignete Anpassungsmaßnahmen einleiten zu können und so möglichen Katastrophen vorzubeugen und Menschenleben zu schützen.

Das neu entwickelte Frühwarnsystem ist selbst den Klimamodellen der neuesten Generation bezüglich Vorwarnzeit und Treffsicherheit deutlich überlegen. Mit der neuen Methode hatte das Wissenschaftlerteam den diesjährigen ostpazifischen El Niño bereits im Dezember 2022 vorhergesagt.

Fachartikel:

Ludescher, J., Bunde, A., Schellnhuber, H.J. (2023): Forecasting the El Niño type well before the spring predictability barrier. *Climate and Atmospheric Science*, No. 196 (2023). DOI: 10.1038/s41612-023-00519-8

Weitere Informationen:

Institut für Theoretische Physik, Justus-Liebig-Universität Gießen
<https://www.uni-giessen.de/de/fbz/fb07/fachgebiete/physik/index>

(aus: Pressemitteilung Justus-Liebig-Universität Gießen vom 27. November 2023)

Dem Gletschersee auf den Grund gehen – erster Einsatz für KU-Forschungsboot

Zu Lande, aus der Luft – und nun auch zu Wasser: Geographen der Universität Eichstätt-Ingolstadt weiten die Einsatzgebiete ihrer Forschungsarbeit aus. Zu ihrer Ausrüstung gehört nun auch ein Boot, das mit einem hochpräzisen Echolot ausgestattet ist. Damit kann der Untergrund von Seen, Flüssen und im Meer vermessen werden. Erstmals kam die Technik nun im Rahmen eines Forschungsprojektes im österreichischen Kautal zum Einsatz, wo Wissenschaftler der Universität Eichstätt-Ingolstadt seit mehreren Jahren die Auswirkungen des Klimawandels untersuchen.

An der Außenwand des Bootes ist ein Fächer-Echolot angebracht. Es sendet strahlenförmig Schallwellen ins Wasser aus und misst die Reflexionen am Grund des Sees. So kann die Tiefe des Gewässers Zentimeter genau berechnet werden – und zwar nicht nur an einem Punkt, sondern über eine mehrere Meter breite Bahn hinweg. Dazu ist das Messinstrument mit einem Satellitennavigationssystem versehen, sodass zu den Messwerten jeweils die exakten Positionsdaten mitgespeichert werden. Fährt man ein Gewässer damit systematisch in Bahnen ab, erhält man ein detailliertes Unterwasser-Geländemodell.

Rund um den Gepatschferner, der zweitgrößte Gletscher Österreichs, halten sich Geographen seit mehreren Jahren immer wieder zu Forschungszwecken auf. Im Rahmen des internationalen Projekts "Sensitivität Hochalpiner Geosysteme gegenüber dem Klimawandel ab 1850" (SEHAG) geht eine von der Universität Eichstätt-Ingolstadt koordinierte Forschungsgruppe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) der Frage nach, welche Auswirkungen der Klimawandel im alpinen Raum auf Gletscher und Flüsse, die Vegetation und die Geomorphologie haben. Beteiligt sind neben den Wissenschaftlern aus Eichstätt auch Forscher aus Bern, Bozen, Bremen, München, Innsbruck und Wien. Das Projekt rekonstruiert die Veränderungen durch das Abschmelzen des Gletschers rückwirkend für die Zeit seit dem Jahr 1850, misst aktuell stattfindende Prozesse und versucht so eine möglichst genaue Prognose für die Zeit bis zum Jahr 2050.

Bisher war das Wissenschaftlerteam meist zu Fuß auf dem Gletscher unterwegs. In regelmäßigen zeitlichen Abständen untersuchten sie mit einem Laserscanner und Drohnenaufnahmen die Berghänge, die durch das zurückgehende Eis des Gletschers instabil werden. Mit Hilfe eines auf einen Schlitten gebauten Radargeräts wird diese Dicke des Eises gemessen, die durch die hohen Temperaturen rapide abnimmt – um gut 50 m pro Jahr schrumpfte zuletzt die Länge des Gepatschfernners, kein anderer Gletscher in den Alpen schmilz so schnell. Daneben sind die Forscher regelmäßig mit dem Hubschrauber unterwegs. An ihn wird ein Laserscanner montiert, sodass auch aus der Luft Vermessungen der Geländeoberfläche möglich sind.

Das Schmelzwasser verlässt die Eisfläche an ihrem unteren Ende am so genannten Gletschertor. Dabei nimmt der Bach auch Gestein und Sedimente mit und trägt das Material talabwärts. Für die Erforschung der landschaftlichen Veränderungen im Gebirgsmassiv und an der Talsohle ist es auch eine wichtige Frage, wieviel Kies und feinere Sedimente vom Schmelzwasser mitgerissen werden. Am Gletscherbach direkt lasse sich das aber nur schwer bestimmen. Eine bessere Möglichkeit bietet sich im Kautal: Dort befindet sich unterhalb des Gletschers ein Wasserspeicher, der vor rund 60 Jahren durch den Bau einer Talsperre angelegt wurde, um über ein Kraftwerk Strom für die Region zu produzieren. Der Staudamm war zum Zeitpunkt ihres Baus mit einer Länge von 600 m und einer Höhe von über 150 m der zehnthöchste Staudamm weltweit, die Wassertiefe des Sees beträgt an manchen Stellen mehr als 100 m.

Das Wissenschaftlerteam der Universität Eichstätt-Ingolstadt kennt aufgrund von Daten und Aufnahmen das Geländeprofil aus der Zeit vor dem Bau des Gepatschstausees und kann hieraus nach einer nun erfolgenden neuen Vermessung des Seeuntergrunds berechnen, welche Mengen an Kies und Sediment der Gletscherbach seit der Inbetriebnahme des Wasserspeichers in den See transportiert hat und wo sich das Material abgelagert hat. Daraus lasse sich wiederum eine durchschnittliche jährliche Sedimentfracht berechnen und auch in die Zukunft prognostizieren. Dies sei nicht nur für das SEHAG-Projekt ein wichtiger noch fehlender Baustein, sondern auch eine nützliche Erkenntnis für die Betreibergesellschaft des Stausees.

In regelmäßigen Bahnen – ähnlich wie ein Landwirt mit dem Traktor auf dem Feld – fährt das Forschungsboot der Universität Eichstätt-Ingolstadt die Seeoberfläche ab. Auf dem Bildschirm können die Angaben über die Wassertiefe abgelesen werden und es ist eine Kartendarstellung ersichtlich, welchen Bereich des Seegrunds das Echolot abgedeckt hat. Die Technik könne auch für andere Forschungsprojekte und -orte eingesetzt werden, geplant seien beispielsweise Vermessungen in Flüssen nahe an Staustufen. Mit der neuen Ausrüstung können auch Fragestellungen bearbeitet werden, die mit der Morphologie, den Eigenschaften und der Veränderung von unter Wasser liegenden Teilen der Erdoberfläche zusammenhängen.

Weitere Informationen:

Lehrstuhl für Physische Geographie,
 Universität Eichstätt-Ingolstadt
<https://www.ku.de/mgf/geographie>

(aus: Pressemitteilung Universität Eichstätt-Ingolstadt vom 30. Oktober 2023)

Verbundprojekt gwTriade zur nachhaltigen Grundwasseranalyse

Im Rahmen des angelaufenen Verbundprojekts "gwTriade" untersuchen sechs wissenschaftliche Institute – darunter die Goethe-Universität als koordinierende Stelle – die Qualität des Grundwassers in Deutschland. Sie nutzen dabei erstmals den Triade-Ansatz, der neben chemischen Analysen auch sogenannte effektbasierte Methoden umfasst, die zeigen, wie sich ins Grundwasser eingetragene Schadstoffe auf dieses Ökosystem auswirken. Ziel des

Projekts ist die Entwicklung eines Konzepts, das Wasserversorger und Umweltbehörden in Zukunft nutzen können, um die Grundwasserqualität selbst zu prüfen und zu bewerten. Das Verbundprojekt gwTriade wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

Durch den Klimawandel wird das Grundwasser zu einer immer stärker bedrohten Ressource, denn häufigere und länger andauernde Dürreperioden führen zu niedrigeren Grundwasserständen. Deswegen wird Grundwasser in Ballungsräumen wie dem Rhein-Main-Gebiet schon mit Oberflächenwasser angereichert. Dieses enthält oft gereinigtes Abwasser, mit dem Schadstoffe ins Grundwasser gelangen können. Auch häufigere Starkregenereignisse – eine weitere Folge des Klimawandels – führen zu einem hohen Schadstoffeintrag. Die Folge: Gut ein Drittel aller Grundwasservorkommen in Deutschland befinden sich in keinem guten chemischen Zustand.

Zur Bewertung der Grundwasserqualität schafft die Europäische Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) hierzu den rechtlichen Rahmen. Allerdings besteht bezüglich der Grundwasserqualität noch "großer Untersuchungsbedarf". Zwar sind durch chemische Analysen zumindest einige Schadstoffe im Grundwasser schon bekannt, darunter Pharmaka, Pestizide und perfluorierte Stoffe (PFAS), die aus dem Abwasser, dem Verkehr oder der Landwirtschaft stammen. Was jedoch weiterhin fehlt, sind effektbasierte Daten, wie sich die Schadstoffe auf das Leben im Ökosystem Grundwasser und auch die menschliche Gesundheit auswirken. Für Oberflächengewässer gibt es hier bereits umfangreiches Wissen, für das Grundwasser noch nicht.

Die Wissenslücke soll das Verbundprojekt "Ökologisches und ökotoxikologisches Grundwasserqualitätsmonitoring auf Basis eines integrativen Triade-Ansatzes" (gwTriade) schließen. Der Triade-Ansatz umfasst drei unterschiedliche naturwissenschaftliche Säulen: chemische Analysen, Biotests und Untersuchungen der Biozönose, also der Lebensgemeinschaft der Lebewesen. Das Entscheidende: Die Ergebnisse der drei Messmethoden werden zu einem Gesamtergebnis zusammengeführt – erst dadurch lässt sich der ökologische Zustand überhaupt umfassend bewerten. Das Wissenschaftlerteam zu dem gwTriade-Verbundprojekt sind die ersten, die den Triade-Ansatz beim Grundwasser anwenden. Dieser verschafft einen guten Überblick. Es wird untersucht und festgestellt, welche Schadstoffe im Grundwasser enthalten sind, und wie sich diese auf Organismen und biologische Systeme auswirken – sowohl unter Laborbedingungen als auch in der Landschaft innerhalb der Flußgebiete.

Insgesamt sechs Institute sind am Projekt beteiligt und teilen sich die Aufgaben. Das Wissenschaftlerteam der Goethe-Universität koordiniert das Verbundprojekt gwTriade und führen die Biotests mittels einer Biotestbatterie durch, die auch kürzlich der Europäischen Kommission zur Umweltüberwachung vorgeschlagen wurde. Testsysteme sind Zellkultursysteme, Zebrafischembryonen, Algen und Daphnien, also winzig kleine Wasserflöhe. Das Forscherteam testet dabei die Wirkung der Schadstoffe zuerst in den unveränderten Grundwasserproben. Als nächstes werden sie die Grundwasserproben verdünnt und damit auch die Schadstoffkonzentration und es wird der Folgezustand beobachtet. So herausgefunden werden, ab welcher Verdünnung der Schadstoffe des Grundwassers welche Effekte bei den Daphnien auftreten. Zum Beispiel könnte eine Reproduktionstoxizität vor-

liegen, die Wasserflöhe vermehren sich dann nicht mehr so stark. Bei den Zebrafischembryonen wiederum sind neurotoxische Effekte denkbar, also Störungen im Nervensystem, die zu einer Verhaltensveränderung führen. Zebrafische haben ein typisches Schwimmverhalten. Ist es hell, verhalten sie sich entspannt, wird es dunkel, schwimmen sie hektisch im Zickzack. Der Grund: Ein plötzlich auftretender Schatten kann bedeuten, dass sich ein Fressfeind nähert. Um im Labor zu sehen, ob die Fischlarven dieses normale Verhalten zeigen, werden sie in einem speziellen experimentellen Aufbau einem Wechsel auch Licht und Dunkelheit ausgesetzt. Reagieren sie nicht darauf, ist das ein Hinweis, dass Schadstoffe ihr Nervensystem beeinträchtigt haben könnten. Die neurotoxische Wirkung wird dann im Verdachtsfall mit molekularbiologischen Methoden im Detail charakterisiert. Bei den Verhaltenstests geht es nicht nur um ökotoxikologische Aspekte, sondern auch um humantoxikologische. Arbeiten mit den frühen Stadien von Zebrafischen, die eine Alternativmethode zu klassischen Tierversuchen mit Fischen darstellen, sind auch in der Umweltmedizin ein etabliertes Modell. Bei Zebrafischen handelt es sich um Wirbeltiere, damit können die Ergebnisse Hinweise auf Effekte beim Menschen geben. So können Rückschlüsse für den Schutz der menschlichen Gesundheit gezogen werden.

In Ergänzung zu den Biotests in Frankfurt führen das Rheinisch-Westfälische Institut für Wasserforschung (IWW) in Mühlheim an der Ruhr und der Zweckverband Landeswasserversorgung in Langenau chemische Analysen durch. Dabei analysiert das IWW speziell die PFAS-Kontaminationen und übernimmt zudem die Geosystemerkundung. Es beschreibt geo- und hydrochemisch sowie hydraulisch die Standorte, an denen Grundwasser genommen wird. Die dritte Säule der Triade ist unter anderem Sache der Rheinland-Pfälzischen Technischen Universität Kaiserslautern-Landau (RPTU). Sie untersucht die Zusammensetzung der Grundwasserfauna, zu der beispielsweise Hüpferlinge oder Rädertierchen gehören, mit taxonomischen und modernen molekularbiologischen Methoden. So können mittels e-DNA-Analysen und Meta-Barcoding Erbgutfragmente aller Lebewesen nachgewiesen werden, die im Wasser gelebt haben oder leben. So lässt sich die Zusammensetzung der kompletten Artengemeinschaften des Grundwassers erforschen. Das Institut für Grundwasserökologie (IGÖ) in Landau unterstützt hier mit seiner Expertise zur Grundwasserökologie und speziell zur Etablierung neuer Grundwasserorganismen für Biotests.

Bei dem Verbundvorhaben gwTriade geht es aber nicht nur darum, ausgewählte Standorte zu überprüfen. Ziel ist es vielmehr, ein Konzept für die integrative Bewertung der Grundwasserqualität zu entwickeln, das dann übergeordnete Stellen in ganz Deutschland nutzen können, die für das Thema Grundwasser verantwortlich sind, wie zum Beispiel Wasserversorger oder Umweltbehörden. Das Bewertungssystem gibt hierbei eine Anleitung, wie man die Methoden zur Prüfung der Grundwasserqualität anwenden kann – und wie sich die dabei gesammelten Daten bewerten und einordnen lassen. Die Aufgabe, potenzielle Anwender zu finden und deren Bedarfe abzuklären, übernimmt das Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) in Frankfurt. Es versucht zudem Nutzungskonflikte zu identifizieren, die sich beim Grundwasser künftig ergeben könnten, zum Beispiel zwischen der Nutzung von Grundwasser als Ressource und dem Schutz des Ökosystems. Aus biologischer Sicht handelt es sich bei Grundwasserkörpern eben auch um einen Lebensraum, nur

ist diese Sichtweise aus Sicht des gwTriade-Forscherteams bisher vernachlässigt worden.

Weitere Informationen:

Institut für Ökologie, Evolution und Diversität,
Goethe-Universität Frankfurt
https://www.bio.uni-frankfurt.de/40689503/Institut_OED

Verbundprojekt gwTriade: Ökologisches und ökotoxikologisches Grundwasserqualitätsmonitoring auf Basis eines integrativen Triade-Ansatzes
<https://bmbf-lurch.de/Verbundprojekte/Verbundprojekte/gw-Triade.html>

(aus: Pressemitteilung Goethe-Universität Frankfurt vom 28. November 2023)

Einfluss des Menschen auf Gewässer: DFG fördert zweite Phase von Graduiertenkolleg

Wie reagieren Landökosysteme auf Veränderungen in Gewässern? Dieser Frage gehen derzeit Nachwuchsforscher im Graduiertenkolleg "System Link" an der Rheinland-Pfälzischen Technischen Universität Kaiserslautern-Landau (RPTU) nach. Wie die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) hierzu mitteilte, wird sie die Fortführung des Graduiertenkollegs ab April 2024 weiter fördern. Koordiniert wird es am Institut für Umweltwissenschaften der RPTU in Landau.

Wie Stoffe aus dem Umland ihren Weg in Gewässer finden, ist wissenschaftlich gut untersucht. Der umgekehrte Prozess des Transports vom Gewässer auf das Land ist jedoch weit weniger erforscht. Welche Effekte haben etwa Hochwasserereignisse auf angrenzende Landbereiche? Um diese Frage zu beantworten, nimmt das Graduiertenkolleg 2360 "Crossing Boundaries: Propagation of In-Stream Environmental Alterations to Adjacent Terrestrial Ecosystems" (SystemLink) unter anderem Umweltschadstoffe wie Fungizide in den Blick. Aber auch invasive Arten, die hier eigentlich nicht heimisch sind, spielen dabei eine wichtige Rolle. Dazu zählen beispielsweise verschiedene Uferpflanzen, aber auch Wirbellose wie Kleinkrebse.

Das Wissenschaftlerteam versucht zu verstehen, wie sich der Einfluss des Menschen auf Gewässer in angrenzenden Landökosystemen auswirkt, und wie miteinander vernetzte Systeme auf Umweltveränderungen reagieren. Hierbei soll untersucht werden, ob die Erkenntnisse, die in den vergangenen Jahren im Labor und in den Freiland-Versuchsanlagen gewonnen wurden, auch in der Natur zu beobachten sind. Darüber hinaus wird das Graduiertenkolleg empirische Forschung, sprich die Arbeit im Labor, und die Modellierung von Ökosystemen noch enger verzahnen, um mit Hilfe von solchen Simulationen Änderungen besser zu verstehen.

In Graduiertenkollegs werden Doktoranden strukturiert ausgebildet. Hinzu kommen spezielle Qualifizierungsprogramme. Bei SystemLink basiert dieses auf drei Säulen: Erstens arbeiten Forschungsteams an komplexen Fragestellungen in einzigartigen Freiland-Versuchsanlagen, ihre Kooperation drückt sich in gemeinsamen Publikationen aus. Zweitens unterstützt ein sogenanntes fast-track-Programm besonders talentierte Studierende

bis zur Promotion. Drittens erhalten alle Promovierenden ein auf ihre individuellen Bedürfnisse zugeschnittenes Kursprogramm.

Das Kolleg hat seine Arbeit erstmals im April 2019 aufgenommen. In der ersten Phase hat die DFG dafür 4,7 Mio. € zur Verfügung gestellt. Mit der Weiterförderung sollen nun 14 Promotionsstellen finanziert werden und das Vorhaben wird mit weiteren 6,6 Mio. € gefördert.

Graduiertenkollegs sind Einrichtungen der Hochschulen zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses, die von der DFG für maximal neun Jahre gefördert werden. Im Mittelpunkt steht die Qualifizierung von Doktorandinnen und Doktoranden im Rahmen eines thematisch fokussierten Forschungsprogramms sowie eines strukturierten Qualifizierungskonzepts. Eine interdisziplinäre Ausrichtung der Graduiertenkollegs ist erwünscht. Ziel ist es, die Promovierenden auf den komplexen Arbeitsmarkt "Wissenschaft" intensiv vorzubereiten und gleichzeitig ihre frühe wissenschaftliche Selbstständigkeit zu unterstützen.

Weitere Informationen:

Institut für Umweltwissenschaften, Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern-Landau
<https://nuw.rptu.de/>

(aus: Pressemitteilung Rheinland-Pfälzischen Technischen Universität Kaiserslautern-Landau vom 8. November 2023)

Neue Verfahren zur Detektion nicht-einheimischer Arten in Gewässern

Das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) und die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) haben erfolgreich genetische Verfahren getestet, um invasive Arten in Fluss und Meer frühzeitig zu entdecken. So könnte möglicherweise in Zukunft die Ausbreitung invasive Arten rechtzeitig eingedämmt werden. Die Ergebnisse wurden kürzlich bei der 2. Verkehrs- und Infrastrukturtagung des BMDV-Expertennetzwerks in Berlin vorgestellt.

Im Hafen Rostock haben hierzu die Wissenschaftler insgesamt 37 nicht-einheimische Arten detektiert, wobei erstmals herkömmliche und genetische Verfahren kombiniert werden, um die Arten zu bestimmen. Zusammen konnten hierdurch weit aus mehr nicht-einheimische Arten identifiziert werden. Dies ist wichtig, um sie frühzeitig zu erfassen und so kann rechtzeitig reagiert werden, um Mensch und Umwelt zu schützen.

In der Studie erfassten die Forscher des BSH und der BfG beispielsweise die Mittelmeer-Miesmuschel und die Neuseeländische-Zwergdeckelschnecke ausschließlich mit genetischen Verfahren erfasst. Der riffbildende Kalkröhrenwurm, der im Jahr 2020 für Aufsehen sorgte, wurde hingegen nur auf die klassische Art und Weise gefunden. In den Flüssen haben unter anderem auch die Wollhandkrabbe sowie die Zebamuschel einen großen Einfluss auf die heimischen Ökosysteme.

Die internationale Schifffahrt begünstigt hierbei ebenso die Verbreitung von nicht-einheimischen Arten: Im Bewuchs oder im Ballastwasser von Schiffen können Arten an Orte gelangen, wo sie natürlicherweise nicht vorkommen. Dort können sie sich

unter Umständen ansiedeln und so große Schäden anrichten. Daher ist eine frühzeitige Erkennung entscheidend. Oft werden diese Arten jedoch meist erst bemerkt, wenn sie sich bereits vor Ort etabliert haben.

Klassischerweise nehmen die Experten die äußeren Merkmale eines Lebewesens unter die Lupe und bestimmen so die Art jedes Individuums. Dies erfordert viel Erfahrung und Fachwissen – und vor allem Zeit. Einige Arten sind nur schwer zu identifizieren und seltene Arten werden so kaum entdeckt. Hier können genetische Verfahren weiterhelfen.

Um nicht-einheimische Arten schneller zu erkennen, werden neuerdings genetische Verfahren eingesetzt und getestet. Zuvor zählte der Fund von erkennbaren Individuen oder -teilen selbst. Die neuen Methoden zeigen das Vorkommen einer Art an, wenn lediglich das Vorkommen von genetischem Material (DNA) von Individuen in Probenmaterial nachgewiesen wird. So können auch schwer bestimmbare und eher seltene Arten identifiziert werden. In der Regel sind DNA-basierte Methoden sogar schneller und günstiger. Derzeit werden sie für das behördliche Monitoring standardisiert.

In den Studien wurde der Bewuchs von Booten und Platten im Hafen Rostock beprobt und die DNA der Artengemeinschaft analysiert. Die DNA kann auch direkt aus Umweltproben wie Wasser gewonnen werden. Dies ist eine sinnvolle Ergänzung zu der klassischen Artenbestimmung – insbesondere, wenn die Referenzdatenbanken zum Abgleich der DNA weiter vervollständigt werden.

Mit den genetischen Verfahren steht Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) und die Bundesanstalt für Gewässerkunde nun eine neue und zuverlässige Methodik für weitere Untersuchungen zur Verfügung. Zusammen mit der klassischen Artenbestimmung haben sie ein großes Potenzial als Frühwarnsystem. Zukünftig können so die Verbreitungspfade besser identifiziert und effektive Maßnahmen zur Eindämmung von nicht-einheimischen Arten abgeleitet werden.

Weitere Informationen:

Neobiota Informationssystem,
Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
<https://marlin.bsh.de/MARLINDMZ/publicSites/MainAppPublic.jsf>

(aus: *Gemeinsame Pressemitteilung Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie und Bundesanstalt für Gewässerkunde vom 9. November 2023*)

Erfolge von Maßnahmen zur Auenrenaturierungen

Deutschlands Fließgewässer und deren Auen sollen wieder naturnäher werden. Dafür werden in ganz Deutschland Bäche und Flüsse renaturiert, Deiche zurückverlegt sowie Feuchtgebiete und Auwälder wiederhergestellt. Allein 220 große Auenrenaturierungsprojekte an Flüssen werden im Auenzustandsbericht 2021 des Bundesumweltministeriums und des Bundesamtes für Naturschutz (BMUV) genannt.

Wie aber entwickelt sich die biologische Vielfalt an renaturierten Uferabschnitten und in wiederhergestellten Flussauen? Welche Renaturierungsmaßnahmen erweisen sich als besonders wirk-

sam? Hierzu wurde vom Bundesamt für Naturschutz (BfN) ein neues standardisiertes Verfahren koordiniert, mit dem sich der Erfolg von Renaturierungsmaßnahmen für Flora und Fauna an Ufern und in Auen nachvollziehbar bewerten lässt.

Bislang werden die Auswirkungen von Renaturierungsmaßnahmen in Auen mit einer Vielzahl unterschiedlicher Methoden überprüft. Ein Forschungsteam unter Leitung der Universität Duisburg-Essen hat nun ein einfach anwendbares, standardisiertes Verfahren zur biozönotischen Erfolgskontrolle von Renaturierungsmaßnahmen an Gewässern und in Auen entwickelt. Dabei wird untersucht, ob typische Pflanzenarten, Vögel, Amphibien, Laufkäfer sowie Muscheln und Schnecken in den renaturierten Gewässer- und Auenabschnitten vorhanden sind und von der Renaturierung profitiert haben. Gleichzeitig wird geprüft, ob typische Lebensräume wie Kiesbänke, Auengewässer und Auwald wiederhergestellt wurden. Durch dieses einheitliche Vorgehen sollen die Ergebnisse von Erfolgskontrollen in Zukunft besser vergleichbar sein.

Zusammenhängende naturnahe Flusslandschaften sind unverzichtbar für die Erhaltung der biologischen Vielfalt. Mit dem vorliegenden Bewertungsverfahren kann nun standardisiert erfasst und beurteilt werden, inwieweit typische Pflanzen und Tierarten nach Renaturierungsmaßnahmen zurückgekehrt sind. Das wird nun auch im Bundesprogramm *"Blaues Band Deutschland"* und perspektivisch im Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz weiterhelfen.

Aus bundesweiten Ergebnissen des Wissenschaftlerteams der Universität Duisburg-Essen ist bekannt, dass die Artenzusammensetzung der verschiedenen Tiergruppen sowie die Ufer- und Auenvegetation besonders sensibel und rasch auf Renaturierungsmaßnahmen reagieren und somit gute Zeiger für naturnahe Verhältnisse sind. Das Verfahren zur biozönotischen Erfolgskontrolle wird allen Behörden, Planern sowie wissenschaftlichen Einrichtungen empfohlen, die Gewässer- und Auenrenaturierungsmaßnahmen umsetzen und Erfolge ihrer Maßnahmen überprüfen möchten. Insbesondere bei Maßnahmen an Bundeswasserstraßen im Rahmen des Bundesprogramms *"Blaues Band Deutschland"* einschließlich seines *"Förderprogramms Auen"*, aber auch an anderen Flüssen, wo in den nächsten Jahren und Jahrzehnten viele ökologischen Verbesserungen zu erwarten sind, sollten einheitliche Erfolgskontrollen durchgeführt werden.

Um das Verfahren zur biozönotischen Erfolgskontrolle weiter zu testen und zu entwickeln und um es einem möglichst großen Anwenderkreis zugänglich zu machen, führen die Forscher unter der Leitung der Universität Duisburg-Essen von 2023 bis 2027 einen sogenannten Praxistest durch und entwickeln ein Online-Tool zur Dateneingabe. Interessierte Institutionen können sich gerne an diesem Praxistest beteiligen und zum Beispiel Monitoring-Daten von Renaturierungsprojekten zur Verfügung stellen.

Das Bundesumweltministerium und das Bundesverkehrsministerium haben mit dem gemeinsam erarbeiteten Bundesprogramm *"Blaues Band Deutschland"* einen Handlungsrahmen für die nächsten Jahre und Jahrzehnte geschaffen. Damit soll verstärkt in die Renaturierung von Bundeswasserstraßen und ihren Auen investiert werden und Fluss, Ufer und Aue sollen wieder miteinander verbunden werden. Das Bundesamt für Naturschutz (BfN) ist hierbei für die Betreuung und Abwicklung von Förderpro-

jekten aus dem "Förderprogramm Auen" zuständig. Über dieses Förderprogramm können Landkreise und Kommunen, Naturschutz- und Umweltverbände sowie andere Akteure beim BfN Fördermittel beantragen, um die Auen entlang der Bundeswasserstraßen als Zentren der biologischen Vielfalt und Achsen des Biotopverbundes naturnah zu entwickeln. Zur Wiederherstellung intakter Flusslandschaften können beispielsweise Auengewässer angelegt, nicht mehr benötigte Entwässerungseinrichtungen entfernt sowie der für die Maßnahmenumsetzung notwendige Grunderwerb und das erforderliche Personal gefördert werden.

Mit dem "Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz" (ANK) will die Bundesregierung entscheidend dazu beitragen, den allgemeinen Zustand der Ökosysteme in Deutschland deutlich zu verbessern und so deren Resilienz und deren Klimaschutzleistung zu stärken. Neben Treibhausgasminderung und Negativemissionen wird auch ein Beitrag zur Klimaanpassung erreicht. Die Natur an Land und im Meer soll besser geschützt und widerstandsfähiger werden, um dauerhaft zu den nationalen Klimaschutzziele beizutragen. Die Land- und Forstwirtschaft soll nachhaltiger werden und mehr Raum lassen für eine vielfältige Tier- und Pflanzenwelt auf den bewirtschafteten Flächen. Ebenso soll der natürliche Klimaschutz und der erforderliche Ausbau erneuerbarer Energien eng aufeinander abgestimmt und mögliche Synergien genutzt werden.

Im Jahr 2009 hat das BfN bereits den ersten bundesweiten Auenzustandsbericht veröffentlicht und auf den kritischen Zustand der Flussauen in Deutschland aufmerksam gemacht. Der Auenzustand bewertet dabei das Ausmaß der Veränderungen vor Ort sowie die Nutzungsintensität und Biotopstruktur der noch überflutbaren Flussauen sowie den Auenverlust. Der Bericht wurde im Zeitraum 2016 bis 2021 aktualisiert und die Ergebnisse im Auenzustandsbericht 2021 veröffentlicht.

Weitere Informationen:

Portal "Gewässer und Auen", Bundesamt für Naturschutz
<https://www.bfn.de/gewaesser-und-auen>

Portal "Natürlicher Klimaschutz", Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
<https://www.bmu.de/natuerlicher-klimaschutz>

(aus: Pressemitteilung Bundesamt für Naturschutz vom 24. November 2023)

Projekt zur Auenentwicklung im Bereich der Ems

Das Projekt "EmsLand – Auenentwicklung an der Ems zwischen Salzbergen und Dörpen" ist in die Umsetzung gestartet. Am 2. November trafen sich Bundes- und Landesvertreter mit den Beteiligten vor Ort, um sich über die weiteren Schritte zu informieren. Das Projekt wird im Förderprogramm Auen des Bundesprogramms "Blaues Band Deutschland" gefördert und zählt zu den größeren bewilligten Projekten in diesem Förderprogramm.

Teil des Programms ist die Besichtigung einer Maßnahmenfläche in der Mehringer Heide, die kürzlich vom Landkreis Emsland erworben wurde. An anderer Stelle ist die erste Maßnahme des Projekts begonnen worden: Am Wesuweer Schloot werden Strukturelemente wie Totholzbäume und kleinere Steinbänke als "Hindernisse" angelegt. Dies ist ebenfalls für weitere Zuflüs-

se der Ems geplant. Damit wird deren gradliniger Verlauf hin zu einem natürlich geschwungenen Verlauf verändert, der kleinräumige Unterschiede bei der Wassertiefe, der Fließgeschwindigkeit oder dem Material der Bachsohle aufweist. Ein solch kleinteiliges Mosaik bietet mehr Tier- und Pflanzenarten, zum Beispiel dem gefährdeten Fischotter (*Lutra lutra*), der Quappe (*Lota lota*) oder dem Stumpfkantigen Wasserstern (*Callitriche cophocarpa*), einen Lebensraum als ein gleichförmiger Verlauf. Darüber hinaus werden über das Vorhaben Altarme wieder an die Ems angebunden und zahlreiche kleinere Stillgewässer in den Auen geschaffen.

Maßnahmen, wie sie im Projekt "EmsLand" geplant sind, gewinnen immer mehr an Bedeutung, denn: Längere Trockenperioden und Extremereignisse wie Hochwasser haben in den vergangenen Jahren zugenommen. Immer mehr Auen fehlt die Verbindung zum Gewässer, Auenwälder und Feuchtlebensräume leiden häufiger unter Wassermangel. Die Vertiefung oder der Ausbau von Gewässern verstärken diese Entwicklung oft noch.

Das Projekt "EmsLand – Auenentwicklung an der Ems zwischen Salzbergen und Dörpen" ist das vierte Vorhaben, das im Förderprogramm Auen bewilligt wurde. Mit einem Gesamtbudget von 6,6 Mio. €, die bis zum Jahr 2028 zur Verfügung stehen, gehört es zu den größeren Projekten dieses Programms. Neben den rund 5 Mio. € des Bundesumweltministeriums aus dem Förderprogramm Auen unterstützt auch das Land Niedersachsen das Projekt mit etwa 1 Mio. €. Die verbleibenden 600.000 € trägt der Landkreis Emsland selbst. Das Projektgebiet umfasst 16.500 ha der Emsauen auf einer Strecke von 160 km zwischen den Gemeinden Salzbergen und Dörpen.

Über das Förderprogramm Auen können Landkreise und Kommunen, Naturschutz- und Umweltverbände sowie andere Akteure beim Bundesamt für Naturschutz Fördermittel beantragen, um die Auen entlang der Bundeswasserstraßen als Zentren der biologischen Vielfalt und Achsen des Biotopverbundes naturnah zu entwickeln. Zur Wiederherstellung intakter Flusslandschaften können beispielsweise Auengewässer angelegt, nicht mehr benötigte Entwässerungseinrichtungen entfernt sowie der für die Maßnahmenumsetzung notwendige Grunderwerb und Personal gefördert werden. Das Förderprogramm ist Teil des Bundesprogramms "Blaues Band Deutschland", einer gemeinsamen Initiative von Bundesumwelt- und Bundesverkehrsministerium.

Weitere Informationen:

Portal "Gewässer und Auen", Bundesamt für Naturschutz
www.bfn.de/gewaesser-und-auen

(aus: Pressemitteilung Bundesamt für Naturschutz vom 2. November 2023)

Hochwasservorsorge: Erster Meilenstein im Forschungsvorhaben "Urban Flood Resilience – Smart Tools"

Starkregen und Überschwemmungen traten in den letzten Jahren nicht nur in Deutschland, sondern weltweit vermehrt auf. Dass ein Umgang mit den künftig zunehmenden Starkregenereignissen gefunden werden muss, steht außer Frage. Mit der Bestimmung von Fließwegen und der anschließenden Ausweisung von Notabflusswegen beschäftigt sich das Forschungs-

vorhaben "Urban Flood Resilience – Smart Tools" (FloReST), das von der Hochschule Koblenz koordiniert und wissenschaftlich begleitet wird.

Starkregen und daraus resultierende Überschwemmungen traten in den letzten Jahren nicht nur in Deutschland vermehrt auf. Auch im Sommer 2023 waren verschiedenste Länder in Europa und den USA stark betroffen. Dass ein Umgang mit den künftig zunehmenden Starkregenereignissen gefunden werden muss, steht außer Frage. Mit einer wassersensiblen Stadtentwicklung kann diesen Extremereignissen begegnet werden. Die Ausweisung von Notabflusswegen spielt dabei eine bedeutende Rolle. Notabflusswege sind Wege, über die das oberflächlich abfließende Wasser bei Starkregenereignissen möglichst schadlos durch die urbane Bebauung abgeleitet werden soll. Mit der Bestimmung von Fließwegen mittels verschiedenster, innovativer Lösungsansätze und der anschließenden Ausweisung dieser Notabflusswege beschäftigt sich das Forschungsvorhaben "Urban Flood Resilience – Smart Tools" (FloReST), das von der Hochschule Koblenz koordiniert und wissenschaftlich begleitet wird.

Das Projekt FloReST wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) über eine Laufzeit von drei Jahren gefördert. Neben der Hochschule Koblenz besteht das Projektkonsortium aus der Hochschule Trier mit dem Umweltcampus Birkenfeld, der Universität Trier sowie Praxispartnern des Deutschen Forschungszentrums für Künstliche Intelligenz, sowie einigen der Ingenieurgesellschaften.

Zur Halbzeit des Projektes fand ein Workshop zum ersten Meilenstein an der Universität Trier statt. Bei dem Workshop waren Vertreterinnen und Vertreter der beteiligten Pilotkommunen sowie des Projektbeirats, bestehend aus der Ingenieurkammer Rheinland-Pfalz, dem Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität Rheinland-Pfalz und dem Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz anwesend. Weiterhin nahmen VertreterInnen des Projektträgers Karlsruhe und der übergeordneten Fördermaßnahme "Wasser-Extremereignisse" (WaX) teil. Beim Meilensteinworkshop wurden der aktuelle Arbeitsstand des Projektes, erste Ergebnisse sowie Live-Anwendungen verschiedener SmartTools vorgeführt und diskutiert.

Ein wesentlicher Aspekt im Forschungsvorhaben ist die Kommunikation und Partizipation mit den Pilotkommunen sowie den Bürgerinnen und Bürgern. Eine Umfrage in den fünf beteiligten Pilotkommunen zur Risikokommunikation bei Hochwasser und Starkregen ergab unter anderem, dass es ein Defizit im Bereich der Katastrophenvorsorge zu geben scheint. Viele der befragten Bürgerinnen und Bürger wissen nicht, ob es in ihrer Heimatgemeinde ein Frühwarnsystem oder ein Hochwasserschutzkonzept gibt. Die Mehrheit der Befragten würde zudem gerne mehr über Hochwasserschutzmaßnahmen auf dem eigenen Grundstück erfahren. Eine wesentliche Fragestellung lautet daher: Wie kann das Wissensdefizit hinsichtlich Katastrophenvorsorge aufgearbeitet und geschlossen werden? Dieser Fragestellung wird derzeit im Projekt nachgegangen. Eine nachhaltige Sensibilisierung für Gefahren und Folgen aus Starkregenereignissen soll dabei in der Bevölkerung geschaffen und mögliche Lösungsansätze für eine erfolgreiche Risikokommunikation innerhalb der Kommunen erarbeitet werden.

Zur Ausweisung von Notabflusswegen werden in dem Forschungsvorhaben FloReST verschiedene innovative Ansätze verfolgt. Analysen zeigen, dass frei verfügbare Geodaten insbesondere im Siedlungsbereich nicht ausreichend genau sind, um detaillierte Fließwege und darauf aufbauend Notabflusswege auszuweisen. Digitale Geländemodelle mit einer Rasterweite von 1 x 1 m decken die lokalen, abflussrelevanten Strukturen nicht oder nur ungenügend ab, sodass zusätzliche lokale Vermessungen notwendig werden. Im Projekt wurden daher erste Modellierungen auf einem Höhenmodell mit 25 cm-Rasterweite aus einer Kombination frei verfügbarer Geodaten und zusätzlichen terrestrischen Vermessungen durchgeführt. So können in potenziell kritischen Bereichen lokale, abflusslenkende Strukturen (sog. Bruchkanten) erfasst werden. Die Identifizierung und Vermessung abflussrelevanter Bereiche soll im Vorhaben FloReST durch einen innovativen Ansatz über hochaufgelöste Videoaufnahmen optimiert werden. Die daraus ermittelten potenziell kritischen Bereiche sind mit gängigen Vermessungstechniken hochaufgelöst zu erfassen und ein Hybrid-Höhenmodell für belastungsunabhängige und -abhängige Analysen zu erstellen. Anhand dessen kann eine detaillierte Betroffenheit von sozialen und technischen Infrastrukturen ermittelt und Notabflusswege ausgewiesen werden.

Ein weiterer Ansatz zur Ermittlung von Fließwegen ist der Einsatz von Künstlicher Intelligenz. Klassische Modellierungen sind in der Regel sehr zeitaufwändig. Über Machine Learning Modelle sollen daher schneller verfügbare Überflutungssimulationen generiert werden. Indem verschiedene Geländemodelle als Eingangsdatensatz verwendet werden, soll künftig eine schnelle Vorhersage von Fließwegen auf variierenden Geländeinformationen ermöglicht werden.

Ein Highlight des Meilensteinworkshops stellten die Live-Vorführungen von Flutungsversuchen im Stadtteil Trier-Filsch dar. Dort wird aktuell ein experimenteller Ansatz zur Ausweisung von Notabflusswegen verfolgt, indem Flutungs- und Dotierversuche umgesetzt werden. Vor Ort demonstrierte das Team der Universität Trier Versuche mit einer Kleinberegnungsanlage, um den Bodenfeuchtezustand und Wasserhaushalt abzubilden und den Oberflächenabfluss zu ermitteln. Zum anderen wurden Flutungsversuche vorgeführt, indem eine gezielte Wassermenge eingeleitet und die Fließspur mittels thermaler Markiertechnik über eine Drohne verfolgt wurde. Die Live-Vorführung zeigte die Problematik an dem bereits mehrfach von Starkregen betroffenen Standort und dem derzeit dysfunktionalen Notabflussweg. Hochaufgelöste Datensätze lassen künftig eine exakte Fließwegbestimmung zu, sodass aufbauend gezielt Maßnahmen umgesetzt werden können.

Während die zuvor genannten Untersuchungen vordringlich auf die Ermittlung von Fließwegen und Ausweisung von Notabflusswegen durch Fachplaner abzielen, dienen die digitalen Produkte im Vorhaben FloReST der späteren Anwendung in Kommunen und der Bevölkerung. So wird derzeit eine SmartApp entwickelt, über die Missstände an abflussrelevanten Standorten erfasst werden können. So lassen sich über den Standort und die Kamerafunktion Problemstellen zu beispielsweise verstopften Verrohrungen oder dysfunktionalen Regenwassereinflüssen erfassen und übermitteln. Die Dokumentation über die SmartApp kann unter anderem bei der Umsetzung von Maßnah-

men hilfreich sein, um die lokalen Bedingungen für den Starkregenfall zu verbessern. Ein Prototyp ist bereits entwickelt und soll im Frühjahr 2024 in einer Pilotkommune in die Testanwendung gehen. Alle in FloReST erzeugten Daten werden in einem GeoDataWarehouse gesammelt und kommunenspezifisch aufbereitet. Darüber werden die räumlich hochaufgelösten Daten zur Planungs- und Entscheidungsunterstützung für die Kommunen bereitgestellt.

Der Workshop zum ersten Meilenstein in FloReST zielte darauf ab, die bereits entwickelten Methoden und Ansätze den Vertreterinnen und Vertretern der Pilotkommunen sowie des Projektbeirats zu präsentieren und über potenzielle Anwendungsfälle und die jeweiligen Bedarfe der Kommunen zu diskutieren. Mit den gewonnenen Erkenntnissen kann das FloReST-Konsortium in die weitere Entwicklung der Lösungsansätze und Optimierung der Arbeiten gehen.

Weitere Informationen:

Projektüberblick FloReST – Urban Flood Resilience – Smart Tools <https://www.hs-koblenz.de/bauingenieurwesen/forschung-projekte/laufende-projekte/florest-urban-flood-resilience-smart-tools/florest-urban-flood-resilience-smart-tools>

(aus: Pressemitteilung Hochschule Koblenz vom 25. Oktober 2023)

Operativer Hochwasserschutz beginnt bei der Qualifizierung von Einsatzkräften: RPTU entwickelt Weiterbildungsprogramm

Wie lassen sich Hochwasser- und Starkregenereignisse bewältigen? Hierzu forscht das Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft an der Rheinland-Pfälzischen Technischen Universität (RPTU) – aktuell im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Verbundprojekts KAHR (Klima-Anpassung, Hochwasser, Resilienz) zur wissenschaftlichen Begleitung des Wiederaufbaus nach der Flutkatastrophe in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen. Ein Weiterbildungsprogramm für Einsatzkräfte ist bereits entstanden. Ebenso haben die Experten der Technischen Universität Rheinland-Pfalz gemeinsam mit Partnern im Ahrtal wie dem Technischen Hilfswerk (THW) sowie der Feuerwehr das Katastrophenschutz-Netzwerk "H-Kat-Net" gegründet, um den Wissenstransfer zu fördern.

Das Weiterbildungsprogramm, welches das Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft im Rahmen des KAHR-Forschungsverbundvorhabens bereitgestellt hat, befasst sich mit dem operativen Hochwasserschutz.

Operativer Hochwasserschutz vereint alle vorbereitenden und durchführenden Maßnahmen und Planungen an der Schnittstelle zwischen Katastrophenschutz und Wasserwirtschaft mit dem Ziel, Risiken vorzubeugen und Schäden durch Hochwasser und Starkregen – über die rein wasserwirtschaftliche Hochwasservorsorge hinaus – zu reduzieren. So richtet sich das Bildungsmodul insbesondere an Personen aus THW-Ortsverbänden, Berufsfeuerwehren, freiwilligen Feuerwehren sowie weitere Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben und ebenso an Verantwortliche in Kommunen und Städten. Die Projektbeteiligten sind überzeugt, dass eine intensive und fachlich fundierte Vorbereitung der Schlüssel für effektives, koordiniertes und zielführendes Handeln im Einsatzfall ist. Dabei spielt der Um-

gang mit Hochwasser- und Starkregengefahrenkarten zur Lagebeurteilung ebenso eine Rolle wie das Vermitteln von Wissen und Erfahrungen aus der Einsatzpraxis.

Es handelt sich dabei nicht um das erste Bildungsmodul, welches die Arbeitsgruppe Technischen Universität Rheinland-Pfalz konzipiert haben. Bereits seit dem Jahr 2021 bieten sie gemeinsam mit dem Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft an der RPTU und dem Landesfeuerwehrverband Rheinland-Pfalz "BiWaWehr" als festes Weiterbildungsangebot an. Über 500 Einsatzkräfte von Feuerwehr und THW haben das Training bereits absolviert.

Auf Vorschlag des Umweltbundesamts (UBA) bewarben sich die Forschenden mit ihrem Bildungsprojekt für die Feuerwehr um den Bundespreis "Blauer Kompass" 2022 und erreichten die Endausscheidung.

Bilateraler Erfahrungsaustausch zwischen Wissenschaft und Praxis ist ein weiterer Aspekt, der für die Projektpartner mit Blick auf die Katastrophenvorsorge in Risikogebieten entscheidend ist. Mit "H-Kat-Net" hat er den Anstoß für ein Katastrophenschutz-Netzwerk für das Ahrtal gegeben, welches er gemeinsam mit zwei THW-Ortsverbänden, dem Kreisverbandkommando Ahrweiler der Bundeswehr sowie der Feuerwehr Sinzig und dem Brand- und Katastrophenschutz des Landkreises Ahrweiler gegründet hat.

Mit dem Netzwerk wird die Brücke zwischen Wissenschaft und Praxis etabliert: Man lernt aus dem Wissen der Einsatzkräfte für die Forschung und andererseits können die Forschungsergebnisse direkt dorthin erbracht werden, wo sie gebraucht werden. Dabei unterstützen die Partner aus dem KAHR-Projekt.

Das vom BMBF geförderte Projekt KAHR soll mit neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen die Aufbaumaßnahmen in den von der Flutkatastrophe im Juli 2021 zerstörten Regionen in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz unterstützen. Bis Ende 2024 werden in dem Verbundprojekt mit insgesamt 13 Partnern aus Wissenschaft und Praxis Fragen zur Klimaanpassung, der risikobasierten Raumplanung und zum Hochwasserschutz erarbeitet. Ziel ist es, konkrete Maßnahmen für einen klimaresilienten und zukunftsorientierten Wieder- und Neuaufbau zu schaffen.

Weitere Informationen:

Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft,
Universität Kaiserslautern
<https://bauing.rptu.de/ags/wasserbau>

(aus: Pressemitteilung Universität Kaiserslautern vom 24. Oktober 2023)

Nachhaltige Forschungssoftware für eine hochkarätige berechnungsbasierte Forschung in den Erdsystemwissenschaften – Empfehlungen für Universitäten, Forschungsförderer und die wissenschaftliche Gemeinschaft

Neues Wissen in den Erdsystemwissenschaften wird zunehmend durch berechnungsbasierte Forschung geschaffen. Diese umfasst die Simulation von Erdsystemprozessen (z. B. Klimamodelle), das Design, die Prozessierung und die Analyse von Erdbeobach-

tungen und -experimenten sowie integrative Analysen (z. B. von großen Datenmengen durch maschinelles Lernen). Eine hohe Effizienz und Qualität von berechnungsbasierter Forschung ebenso wie deren Reproduzierbarkeit bedürfen einer nachhaltigen Forschungssoftware, deren Entwicklung von Universitäten, Forschungsförderern und der wissenschaftlichen Gemeinschaft gefördert werden sollte. Im Rahmen eines Rundgesprächs der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im Juni 2023 erarbeiteten Wissenschaftler, Research Software Engineers, Chief Information Officers zweier Universitäten sowie ein Vertreter der DFG insgesamt 15 Empfehlungen zur Förderung von berechnungsbasierter Forschung in Deutschland. In einem White Paper sind diese Empfehlungen zusammen mit Best-Practice-Beispielen dargestellt.

Fachartikel:

Döll, P., Sester, M., Feuerhake, U., Frahm, H., Fritzsche, B., Hezel, D.C., Kaus, B., Kolditz, O., Linxweiler, J., Müller Schmied, H., Nyenah, E., Risse, B., Schielein, U., Schlauch, T., Streck, T., Van den Oord, G. (2023): Sustainable research software for high-quality computational research in the Earth System Sciences: Recommendations for universities, funders and the scientific community in Germany. 10 pp.

DOI: 10.23689/figeo-5805

Weitere Informationen:

Arbeitsgruppe Hydrologie, Universität Frankfurt
www.uni-frankfurt.de/45217668/AG_Hydrologie__Hydrology_Group

(aus: *Medienzuschrift Universität Frankfurt vom 25. Oktober 2023*)

Neue Studie zu den Senken von Mikroplastik innerhalb von Flusssedimenten

Nach aktuellem Stand der Wissenschaft ist die Konzentration von Mikroplastik in Flusssedimenten deutlich höher als im Wasser. Forschende der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) haben jetzt Daten zur Verteilung von Mikroplastik in Flüssen neu bewertet. Die Ergebnisse widerlegen diese Annahme und relativieren damit die Funktion der Flusssedimente als Mikroplastik-Senke.

Der geringere Unterschied der Konzentrationen in der Wassersäule und in den Sedimenten am Flussbett liege an den unterschiedlichen Bezugseinheiten, die bis jetzt für die Konzentration von Mikroplastik im Wasser und in den Flusssedimenten herangezogen wurden, so die BfG-Forschenden. Für die aktuelle Studie haben die Forschenden Daten aus 92 wissenschaftlichen Publikationen ausgewertet.

Die Mehrheit der Wissenschaftler gibt hier die Anzahl der Mikroplastikpartikel in der Wassersäule pro Volumen Wasser an. Bei Sedimenten wird die Anzahl der Mikroplastikpartikel auf die Masse der Sedimente bezogen. Mithilfe von Daten des Schwebstoffmessnetzes der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes konnten die Wissenschaftler die Anzahl der Mikroplastikpartikel im Wasser auf die Masse der Schwebstoffe beziehen und somit in dieselbe Masseneinheit wie bei Sedimenten umrechnen. Die neuen Berechnungen zeigen, dass bei gleicher Einheit, also Anzahl der Teilchen pro Masse Sediment/Schwebstoff, die Zahl der Mikroplastikteilchen in den Fluss-

sedimenten nicht mehr signifikant größer sind als die im Wasser, wie bisher angenommen. Die Ergebnisse setzen frühere Erkenntnisse – auch der BfG – dass Flusssedimente eine entscheidende Senke für Mikroplastik sind, somit in ein neues Licht. Natürlich gäbe es punktuelle "Hot-spots" in den Sedimenten im Flussbett, aber es finde hier keine generelle Anreicherung von Mikroplastik im Vergleich zur Wassersäule statt. Die Funktion des Flussbettes als Mikroplastik-Senke sei daher deutlich reduziert.

Ein weiterer wichtiger Aspekt der Studie ist, dass räumliche und zeitliche Veränderungen des Mikroplastiktransports, wie z. B. Konzentrationsverteilungen in verschiedenen Wassertiefen, in den analysierten Studien meist eine untergeordnete Rolle spielen. Da Mikroplastik in Flüssen den gleichen hydraulischen Bedingungen ausgesetzt ist wie auch andere Schwebstoffe, wurde in der BfG-Studie das Thema Mikroplastik in Flüssen mit einem hydrologischen und geomorphologischen Blickwinkel beleuchtet. Somit konnten aus dem seit vielen Jahren etablierten Forschungsfeld der Schwebstoffe Rückschlüsse auf das vergleichsweise junge Forschungsfeld des Mikroplastiktransports gezogen werden. Ein Beispiel: Wissenschaftlicher Konsens ist, dass Schwebstoffkonzentrationen in den meisten Flüssen mit dem Abfluss steigen, da bei erhöhtem (Oberflächen-)Abfluss auch mehr Schwebstoffe eingetragen und transportiert werden. Dieses Verhältnis sei auch auf die Mikroplastikkonzentration in Flüssen übertragbar. Zudem werde in zahlreichen Studien angenommen, dass Mikroplastik nur im oberen Bereich der Wassersäule, also in der Nähe der Oberfläche, transportiert werde. Durch Turbulenzen und Dichteunterschiede muss man sich aber die gesamte Wassersäule anschauen.

In den letzten Jahren ist eine Vielzahl an Studien zum Thema Mikroplastik in Flüssen erschienen. Hauptkritikpunkt der BfG-Forscher: Häufig werde hierbei nur ein grober Eindruck in die Belastung mit den Plastikpartikeln ermöglicht, da es weder standardisierte Probenahmetechniken, noch standardisierte Analyse- und Berechnungsmethoden gäbe und, verglichen mit der Erfassung von Schwebstoffkonzentrationen, der Arbeitsaufwand ungleich höher sei. Einen wissenschaftlichen Konsens bei der Methodik und Bilanzierung von Mikroplastik in Flüssen gibt es bis heute nicht. Die Betrachtung der Quellen- und Senkenbeziehung und möglicher Transportpfade des Mikroplastiks in der Umwelt ist daher nur unzureichend möglich. Die aktuelle Studie der BfG beschreibt und prüft daher Ansätze, um einheitliche Standards zu entwickeln.

Fachartikel:

Range, D., Scherer, C. Stock, F., Ternes, T.A., Hoffmann, T.O. (2023): Hydro-geomorphic perspectives on microplastic distribution in freshwater river systems: A critical review. *Water Research*, Vol. 245.

DOI: 10.1016/j.watres.2023.120567

Weitere Informationen:

"Referat Gewässermorphologie, Sedimentdynamik und -management", Bundesanstalt für Gewässerkunde
https://www.bafg.de/DE/08_Ref/M3/M3_node.html

(aus: *Pressemitteilung Bundesanstalt für Gewässerkunde vom 9. November 2023*)

Studie zur Erwärmung des Grundwassers durch Tiefgaragen

Automotoren heizen durch ihre Abwärme Tiefgaragen derart auf, dass die Wärme über den Boden ins Grundwasser gelangt. Dabei geht allein in Berlin so viel Energie ins Grundwasser über, dass damit 14.660 Haushalte mit Wärme versorgt werden könnten. Das hat ein Team der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (MLU), des Karlsruher Instituts für Technologie und der Universität Basel herausgefunden. Den Forschenden zufolge könnte diese Erwärmung auf Dauer die Qualität des Grundwassers beeinträchtigen. In ihrer Studie schlagen sie auch eine Lösung vor: Mit Geothermie und Wärmepumpen könnte die Wärme dem Boden entzogen und sogar genutzt werden.

Die Forschenden untersuchten die Temperatur in 31 Tiefgaragen in verschiedenen Städten in Deutschland, Österreich und der Schweiz. In sechs von ihnen konnten sie zudem die Temperatur des Grundwassers in der direkten Umgebung messen. So ließ sich für alle Standorte ein Wärmeprofil erstellen. Die Untersuchungen ergaben, dass Tiefgaragen über das gesamte Jahr betrachtet das Grundwasser erwärmen. Den größten Einfluss hatten dabei das Verkehrsaufkommen in den Tiefgaragen, ihre Nähe zum Grundwasser und die vorherige Grundwassertemperatur. Da öffentliche Tiefgaragen häufig tiefer sind und mit kürzeren Standzeiten genutzt werden, erwärmen sie das Grundwasser stärker als private Anlagen.

Die überschüssige Wärme im Boden könnte dem Team zufolge mithilfe von Geothermie und Wärmepumpen genutzt werden. Der Vorteil davon wäre, dass dem Grundwasser Energie entzogen wird und es so abkühlt. Anhand von Modellierungen für 5.040 Tiefgaragen in Berlin berechnete das Team die Grundwassererwärmung durch Tiefgaragen für die Stadt. Da in den zentralen Bezirken der Hauptstadt viele Tiefgaragen im oder nahe am Grundwasser liegen, wird dort besonders viel Wärme an das Grundwasser abgegeben. Rund 0,65 Petajoule Energie kommen den Berechnungen zufolge jährlich in Berlin zusammen. Damit könnten theoretisch etwa 14.660 Haushalte mit Wärme versorgt werden. Natürlich reicht allein die Wärme aus dem Grundwasser nicht aus, um den Wärmebedarf einer Stadt wie Berlin oder gar eines Landes wie Deutschland zu decken. Auch ist das Temperaturniveau des oberflächennahen Grundwassers nicht hinreichend, um ohne Wärmepumpe zu heizen. Aus früheren Arbeiten wissen die Forschenden jedoch, dass das Potenzial für Geothermie deutlich darüber hinaus geht und sie einen wesentlichen Anteil an einer nachhaltigen Wärmeversorgung haben könnte.

Die Grundwassertemperatur steigt seit Jahrzehnten infolge der globalen Erwärmung an. In Städten wird dies durch dichte Bebauung, Versiegelung, fehlende Vegetation sowie direkte Wärmeeinstrahlung aus Tunneln und Tiefgaragen verstärkt. Da die Organismen im Grundwasser an konstante Temperaturen angepasst sind, könnte sich so auch die Artenzusammensetzung verändern. Dadurch könnte sich auch die Qualität des Grundwassers verändern, aus dem große Teile des Trinkwassers bezogen werden. Diese Entwicklung gilt es durch vielfältige Maßnahmen zu kontrollieren.

Die Studie wurde durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) und das Margarete von Wrangell-Programm des Ministe-

riums für Wissenschaft, Forschung und Kunst des Landes Baden-Württemberg gefördert.

Fachartikel:

Noethen, M. et al. (2023): Thermal impact of underground car parks on urban groundwater. *Science of The Total Environment* (2023). DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.166572

Weitere Informationen:

Institut für Geowissenschaften und Geographie,
Martin-Luther-Universität-Halle-Wittenberg
www.geo.uni-halle.de

(aus: Pressemitteilung Martin-Luther-Universität-Halle-Wittenberg vom 2. November 2023)

Hochaufgelöste Niederschlagskarten mittels KI

Starke Niederschläge können Naturkatastrophen wie Hochwasser oder Erdbeben auslösen. Um die durch den Klimawandel zu erwartenden Änderungen der Häufigkeit dieser Extreme vorherzusagen, sind globale Klimamodelle notwendig. In einer Studie zeigten Forschende des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) erstmals eine Methode auf Basis Künstlicher Intelligenz (KI), mit der sich die Genauigkeit der von globalen Klimamodellen erzeugten groben Niederschlagsfelder erhöhen lässt. Dem Wissenschaftlerteam gelang es, die räumliche Auflösung von Niederschlagsfeldern von 32 auf 2 km und die zeitliche von 1 Stunde auf 10 Minuten zu verbessern.

Viele Naturkatastrophen wie Überschwemmungen oder Erdbeben sind direkte Folgen von extremen Niederschlägen. Forschende erwarten, dass mit steigenden Durchschnittstemperaturen extreme Niederschläge weiter zunehmen werden. Um sich an ein sich änderndes Klima anzupassen und frühzeitig auf Katastrophen vorbereiten zu können sind genaue lokale und globale Informationen über den aktuellen sowie zukünftigen Wasserkreislauf unerlässlich. Niederschläge sind sowohl räumlich, als auch zeitlich sehr variabel und daher schwer vorherzusagen – insbesondere auf lokaler Ebene. Deshalb hat das KI-Wissenschaftlerteam die Auflösung von Niederschlagsfeldern, wie sie zum Beispiel von globalen Klimamodellen erzeugt werden, erhöht und damit vor allem ihre Einordnung bezüglich möglicher Bedrohungen wie Flutkatastrophen verbessert.

Bisherige globale Klimamodelle verwenden ein Raster, das nicht fein genug ist, um die Variabilität der Niederschläge genau darzustellen. Hochaufgelöste Niederschlagskarten können nur mit extrem rechenintensiven und daher räumlich oder zeitlich begrenzten Modellen erzeugt werden. Das Forscherteam hat deshalb ein Generatives Neuronales Netz – GAN genannt – aus dem Bereich der Künstlichen Intelligenz entwickelt und es mit hochauflösenden Radarniederschlagsfeldern trainiert. Das Generative Neuronale Netz GAN lernt dabei, wie es realistische Niederschlagsfelder und deren zeitliche Abfolge aus grob aufgelösten Daten generiert. So ist das Netz in der Lage, aus den sehr grob aufgelösten Karten realistische hochaufgelöste Radarniederschlagsfilme zu erstellen. Diese verfeinerten Radarkarten zeigen nicht nur, wie sich Regenzellen entwickeln und bewegen, sondern rekonstruieren auch präzise die lokalen Regenstatistiken mit entsprechender Extremwertverteilung.

Die neu entwickelte Methode dient als Grundlage, um grob gerasterte Niederschlagsfelder auf eine Auflösung zu bringen, die der hohen raum-zeitlichen Variabilität von Niederschlag gerecht wird und die Untersuchung regionaler Auswirkungen erst ermöglicht. Die "Deep-Learning-Methode" ist dabei um mehrere Größenordnungen schneller als die Berechnung solcher hochaufgelöster Niederschlagsfelder mit numerischen Wettermodellen, die üblicherweise genutzt werden, um Daten von globalen Klimamodellen regional zu verfeinern. Die Methode generiert außerdem ein Ensemble verschiedener möglicher Niederschlagsfelder. Dies ist entscheidend, da für jedes grob aufgelöste Niederschlagsfeld eine Vielzahl an physikalisch plausiblen hochaufgelösten Lösungen existiert. Ein Ensemble ermöglicht, ähnlich wie bei der Wettervorhersage, die damit einhergehende Unsicherheit genauer zu erfassen.

Die Ergebnisse zeigen, dass mithilfe des von den Forschenden entwickelten KI-Modells und der geschaffenen methodischen Grundlage in Zukunft neuronale Netze eingesetzt werden können, um die räumliche und zeitliche Auflösung des von Klimamodellen berechneten Niederschlags zu verbessern. Damit könnten die Auswirkungen und Entwicklungen des Niederschlags in einem sich ändernden Klima genauer dargestellt und untersucht werden.

Im nächsten Schritt werden die Forscher die Methode auf globale Klimasimulationen anwenden, die spezifische Großwetterlagen in eine zukünftige, klimatisch veränderte Welt übertragen – etwa in das Jahr 2100. Durch die höhere Auflösung der mit der Methode simulierten Niederschlagsereignisse lässt sich dann besser abschätzen, wie sich beispielsweise die Wetterlage, die im Jahr 2021 das Hochwasser an der Ahr verursacht hat, in einer 2 °C wärmeren Welt ausgewirkt hätte. Solche Informationen seien entscheidend, um Maßnahmen für eine nachhaltige Klimaanpassung entwickeln zu können.

Fachartikel:

Glawion, L. Polz, J., Kunstmann, H., Fersch, B., Chwala, C. (2023): spateGAN: Spatio-Temporal Downscaling of Rainfall Fields Using a cGAN Approach. *Earth and Space Science*, Vol. 10, Issue 10, 2023. DOI: 10.1029/2023EA002906

Weitere Informationen:

Zentrum Klima und Umwelt, Karlsruher Institut für Technologie
www.klima-umwelt.kit.edu

(aus: Pressemitteilung Karlsruher Institut für Technologie vom 29. November 2023)

Untersuchungen der Bodentemperatur auf die Pflanzenvielfalt

Eine neue Studie zeigt eine natürliche Lösung zur Abschwächung von Auswirkungen des Klimawandels wie extremen Wetterereignissen auf. Forschende der Universität Leipzig, der Friedrich-Schiller-Universität Jena, des Deutschen Zentrums für integrative Biodiversitätsforschung Halle-Jena-Leipzig (iDiv) und anderer Forschungseinrichtungen fanden heraus, dass eine vielfältige Pflanzenwelt als Puffer gegen Schwankungen der Bodentemperatur wirkt. Dieser Puffer wiederum kann einen entscheidenden Einfluss auf wichtige Ökosystemprozesse haben.

Die Bodentemperatur spielt eine zentrale Rolle bei der Steuerung wichtiger Ökosystemprozesse in Bezug auf Wasser-, Kohlenstoff- und Nährstoffdynamik, mikrobielle Aktivität und landwirtschaftliche Produktivität. Trotz ihrer Bedeutung wurde bisher in keiner Studie untersucht, ob gerade die Pflanzenvielfalt als Puffer gegen Schwankungen der Bodentemperatur während der langfristigen Entwicklung einer Gemeinschaft wirkt.

Das Wissenschaftlerteam präsentierte in ihrer Studie Ergebnisse eines umfassenden Datensatzes, der von den Jahren 2004 bis 2021 in einem groß angelegten Grasland-Biodiversitätsexperiment – dem Jena-Experiment – gesammelt wurde. Das Versuchsgelände umfasst 80 Parzellen mit einer unterschiedlichen Pflanzenvielfalt von einer bis zu 60 Arten. Außerdem lieferten vier Parzellen mit unbepflanztem Boden und zwei Parzellen mit unkontrolliertem Bewuchs wichtige Bezugspunkte. Die Bodentemperatur wurde automatisch in 5 cm und 15 cm Tiefe mit einer Auflösung von 1 Minute über einen Zeitraum von 18 Jahren aufgezeichnet, was eine erhebliche Klimavariabilität abdeckt.

Im Sommer, an Tagen mit besonders hoher Lufttemperatur, lag die Bodentemperatur in Pflanzengemeinschaften mit 60 Arten um 5,04 °C niedriger als in unbepflanzten Parzellen. Zum Vergleich: Dieser Unterschied ist mehr als doppelt so hoch wie der Unterschied zwischen Monokulturen und unbepflanztem Boden zum gleichen Zeitpunkt. An Tagen mit besonders niedriger Lufttemperatur war jedoch die Bodentemperatur in der 60-Arten-Pflanzengemeinschaft um 1,48 °C wärmer als im unbepflanzten Parzellen, was in diesem Fall fast fünfmal so hoch ist wie der Unterschied zwischen Monokulturen und dem unbepflanzten Boden. Die Forschenden kamen zu dem Schluss, dass Pflanzenvielfalt die Bodentemperatur das ganze Jahr über stabilisieren kann. Die Auswirkungen verstärkten sich mit zunehmendem Alter der Versuchsgemeinschaften und sind gerade unter den härtesten klimatischen Bedingungen wie sengend heißen Tagen und trockenen Jahren noch prägnanter.

In einem zweiten Schritt untersuchten die Forscher die Ursachen für die stabilisierende Wirkung der Pflanzenvielfalt. Die Pflanzenvielfalt erhöhte nicht nur die Gesamtheit an Blattflächen der Pflanzen, was zu einer stärkeren Beschattung führte, sondern auch den Gehalt an organischem Kohlenstoff im Boden. Die stabilisierende Wirkung der Pflanzenvielfalt zeigte sich durch eine Reduktion der Wärmeleitung in den oberen 60 cm des Bodens. Infolgedessen blieb die Bodentemperatur in Gemeinschaften mit einer höheren Pflanzendiversität das ganze Jahr über und durch den kompletten Oberboden hinweg stabiler.

Diese Ergebnisse haben weitreichende Auswirkungen. In Graslandschaften der gemäßigten Zonen und darüber hinaus könnte die durch die Pflanzenvielfalt bewirkte Stabilisierung der Bodentemperatur entscheidend sein, um negative Auswirkungen extremer klimatischer Ereignisse abzuschwächen. Dazu gehört auch der Abbau von Kohlenstoff im Boden und dessen Freisetzung in die Atmosphäre. Hierdurch hat dieser natürliche Mechanismus nach Ansicht der Forschenden zusätzlich das Potenzial, den Prozess der globalen Erwärmung zu verlangsamen.

Die Forschung zeigte die bemerkenswerte Fähigkeit der Pflanzenvielfalt, als Schutzschild gegen die Auswirkungen des Klima-

wandels zu wirken. Sie erinnert eindringlich daran, wie wichtig es ist, die biologische Vielfalt innerhalb der Ökosysteme zu erhalten und zu fördern, um die Umwelt zu schützen und eine nachhaltige Zukunft zu sichern. Die Studie erweitert nicht nur das Verständnis der lebenswichtigen Rolle der biologischen Vielfalt, sondern bietet auch einen Hoffnungsschimmer im laufenden Kampf gegen den Klimawandel.

Fachartikel:

Huang, Y., Stein, G., Kolle, O., Kübler, K., Schulze, E.-D., Dong, H., Eichenberg, D., Gleixner, G., Hildebrandt, A., Lange, M., Roscher, C., Schielzeth, H., Schmid, B., Weigelt, A., Weisser, W.W., Shadaydeh, M., Denzler, J., Ebeling, A., Eisenhauer, N. (2023): Enhanced stability of grassland soil temperature by plant diversity. *Nature Geoscience*.

DOI: 10.1038/s41561-023-01338-5

Weitere Informationen:

Deutsches Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung (iDiv)
<https://www.idiv.de/de/index.html>

(aus: Pressemitteilung Universität Leipzig vom 6. Dezember 2023)

Gewässerschutz – Mehr Schutz für die Trinkwasserressourcen

Um sauberes Trinkwasser gewinnen zu können, hat das Bundesumweltministerium eine Verordnung auf den Weg gebracht, mit der Rohwasser, Grundwasser und Oberflächenwasser in Trinkwassereinzugsgebieten präventiv besser geschützt werden können. Hierzu legt die Trinkwassereinzugsgebietverordnung (TrinkwEGV), die am 12. Dezember 2023 in Kraft trat, fest, welche Anforderungen an die Bewertung und das Risikomanagement der Einzugsgebiete von Trinkwasserversorgungen gestellt werden. So sollen Belastungen, die zur Verunreinigung von Wasserkörpern führen können, denen Trinkwasser entnommen wird, vermieden, reduziert und besser beherrscht werden. Der Aufwand, der sonst im Bereich der Trinkwasseraufbereitung betrieben werden muss, wird dadurch verringert.

Wasser ist eine lebenswichtige Ressource. Damit auch in Zukunft Wasser für die Trinkwassergewinnung in hoher Qualität zur Verfügung steht, muss die Wasserressourcen noch besser vor schädlichen Einflüssen geschützt werden. Mit der neuen Verordnung werden deshalb künftig die Trinkwassereinzugsgebiete mit Blick auf mögliche Risiken für die Wasserbeschaffenheit bewertet und einem Risikomanagement unterzogen. Gefahren können damit frühzeitig erkannt werden und es werden die Voraussetzungen für noch sicherere Wasserqualität geschaffen, wie es in der EU-Trinkwasserrichtlinie vorgesehen ist.

Um die menschliche Gesundheit vor den nachteiligen Einflüssen zu schützen, die sich aus der Verunreinigung von Trinkwasser ergeben können, wurde mit der EU-Trinkwasserrichtlinie ein risikobasierter Ansatz implementiert. Dieser basiert auf dem Vorsorgeprinzip und zielt darauf ab, dass in der Trinkwasserversorgung ein vorausschauendes und zielgenaues Qualitätsmanagement betrieben wird. Der risikobasierte Ansatz nach der EU-Trinkwasserrichtlinie betrifft die gesamte Versorgungskette: von den Wassereinzugsgebieten über die Gewinnung, die Aufbereitung, Speicherung und Verteilung des Trinkwassers bis hin zu den Trinkwasserinstallationen in Gebäuden. Die Trinkwassereinzugs-

gebiete sind zukünftig zu bewerten und einem Risikomanagement zu unterziehen, das an die jeweils vor Ort bestehenden Verhältnisse angepasst ist. So sollen frühzeitig potenzielle mikrobielle sowie chemische Risiken und Gefährdungen für die Trinkwassereinzugsgebiete erkannt werden, um darauf angemessen reagieren zu können. Die TrinkwEGV dient der Umsetzung insbesondere der Artikel 7 und 8 der EU-Trinkwasserrichtlinie. Die TrinkwEGV ergänzt damit die Vorschriften der Trinkwasserverordnung, in der der Schutz des Trinkwassers ab der Wassergewinnung durch den Versorger nach dem risikobasierten Ansatz für die Zukunft bereits geregelt ist.

Weitere Informationen:

EU-Trinkwasserrichtlinie

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020L2184>

Trinkwassereinzugsgebietverordnung, Bundesgesetzblatt

<https://www.recht.bund.de/bgbl/1/2023/346/VO.html>

Trinkwasserverordnung, Bundesgesetzblatt

<https://www.recht.bund.de/bgbl/1/2023/159/VO.html>

(aus: Pressemitteilung Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz vom 12. Dezember 2023)

Das Global Runoff Data Centre, GRDC feiert das 35. Jubiläum

Die hydrologische Größe "Abfluss" ist eine wichtige Variable im globalen Wasserkreislauf sowie für das Wasserressourcenmanagement. Abfluss ist zudem eine relevante Klimavariablen, da der Eintrag von Süßwasser in die Weltmeere Einfluss auf die Temperaturverteilung, den Salzgehalt der Meere und auf ozeanografische Zirkulationssysteme hat. Das an der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) beheimatete Global Runoff Data Centre, GRDC beherbergt die umfangreichste globale Datenbank von qualitätsgeprüften Abflussdaten, sogenannten Jahrbuchdaten oder historischen Daten. Wir sammeln nur Tages- und Monatsmittelwerte – keine ungeprüften Echtzeitdaten.

Derzeit liegen in der Datenbank Abflussdaten von etwa 10.700 Stationen aus 160 Ländern vor. Die Statistik zeigt, dass GRDC-Daten in den letzten beiden Jahren von Nutzenden aus mehr als 130 Ländern angefordert wurden. Die Anwender der Datenbank reichen von Promovierenden und Studierenden, welche die Daten für Abschlussarbeiten benötigen, bis hin zu internationalen Forschungsprogrammen und Organisationen, die weltweite Untersuchungen durchführen. An einigen davon ist das GRDC auch selbst beteiligt, wie beispielsweise dem "State of Global Water Resources" Bericht der WMO sowie dem Bericht des "Global Climate Observing System (GCOS)", dessen Ergebnisse direkt in die UN-Klimakonferenzen einfließen.

Der Abfluss ist nur einer von vielen wichtigen hydrologischen Parametern. Daher arbeiten die GRDC-Mitarbeiter auch eng mit dem Internationalen Zentrum für Wasserressourcen und Globalen Wandel (ICWRGC) zusammen, welches ebenfalls an der BfG eingerichtet ist. Weltweit gibt es weitere globale Wasserdatenzentren, die alle zusammen für die Erfassung unterschiedlicher Parameter des hydrologischen Kreislaufs zuständig sind

(z. B. für Grundwasser, Isotopen, See- oder Gletscherbeobachtungen).

Diese Zentren werden von anderen Nationen und unter verschiedenen Schirmherrschaften betrieben. Sie stellen wichtige Partnerdatenzentren für das GRDC dar. Die Zusammenarbeit erfolgt beispielsweise im Rahmen des Globalen Terrestrischen Netzwerks für Hydrologie (GTN-H), welches im ICWRGC mit Mandat von der WMO organisiert wird und ein Programm vom Global Climate Observing System, GCOS ist. In diesem internationalen Netzwerk ist das GRDC ein starker Partner in der sogenannten UN-Water Family und trägt wesentlich zum Berichtswesen der Vereinten Nationen bei.

Der technische Fortschritt im Bereich Daten und Digitalisierung eröffnet viele neue Möglichkeiten. So arbeitet das GRDC aktiv daran, die Datensätze entsprechend den FAIR-Prinzipien (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) verfügbar zu machen. Dazu gehört die Anwendung freier Software und das Angebot, den Nutzenden die Daten über Datenrepositorien und Programmierschnittstellen zur Verfügung zu stellen. Ein Meilenstein ist hier die kürzlich erfolgte Veröffentlichung des Caravan-Datensatzes, mit dem den Forschenden ein Teildatensatz freier GRDC-Stationen inklusive meteorologischer Daten und Einzugsgebietsattribute angeboten wird.

Anspruch des Zentrums ist es, das GRDC als digitalen Dienstleister für globale Abflussdaten weiter zu entwickeln und an der BfG weiter zu betreiben. Grundlagen dazu sind u. A. eine zuverlässige Dateninfrastruktur und wie oben schon erwähnt die internationale Zusammenarbeit mit weiteren Datenzentren und den vorhandenen Partnern.

Weitere Informationen:

Website des GRDC

https://www.bafg.de/GRDC/EN/Home/homepage_node.html

(aus: Pressemitteilung Bundesanstalt für Gewässerkunde vom 13. Dezember 2023)

Wassermanagement im Mittelmeerraum – Koordinierung europaweiter Projekte zur nachhaltigen Wasserwirtschaft

Die Auswirkungen des Klimawandels und die Belastungen durch den Menschen führen zusehends zu Problemen bei der Wassersicherheit im Mittelmeerraum. Immer wichtiger wird es deshalb, die dort verfügbaren Wasserressourcen so zu managen, so dass die Bedürfnisse der verschiedenen Wassernutzer berücksichtigt werden. Im kürzlich gestarteten EU-Projekt OurMED wird ein internationales Forscher-Team unter Leitung des Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) bis Juni 2026 integrierte Wassermanagementkonzepte für acht Demonstrationsstandorte im Mittelmeerraum erarbeiten.

Der Mittelmeerraum ist ein einzigartiges Mosaik von Kulturen und Klimazonen, welche die dort lebenden Menschen, die natürliche Umwelt und die Artenvielfalt prägen. Das rasche Bevölkerungswachstum, die Verstädterung und die vielerorts intensive Landwirtschaft bedrohen jedoch die Menge und die Qualität des Wassers sowie die damit verbundenen Ökosystemleistungen. Zudem ist die Region ein Hotspot des Klimawandels. Die Folgen:

Der Mittelmeerraum leidet unter mehr und mehr Dürreperioden, Niedrigwasser der Flüsse und trockenen Böden. Das alles beeinflusst die Wasserbewirtschaftung.

Das in diesem Sommer gestartete Projekt OurMED zielt darauf ab, natürliche und künstliche Wasserspeichersysteme wie Seen, Stauseen, Flüsse und Grundwasserleiter zu optimieren und besser zu verwalten. Dafür werden Interessensgruppen aus Landwirtschaft, Wasserversorgung und Naturschutz in die Entscheidungsfindung einbezogen. Die Forschergruppe wird hierzu ein Monitoring mit wissenschaftlichen Modellen zur Problemlösung und einfach umzusetzenden Technologien kombinieren, um so eine faire Wasserverteilung zu erreichen. Im OurMED-Projekt soll die Bewirtschaftung von Wasserressourcen so gestaltet werden, dass die verschiedenen Wassernutzer gleichberechtigt berücksichtigt werden. Es soll sichergestellt werden, dass genügend und qualitativ gutes Wasser für Haushalte und Landwirtschaft zur Verfügung steht und gleichzeitig die natürlichen Ökosysteme geschützt werden. Nur so lasse sich angesichts der zunehmenden Wasserknappheit und der Umweltprobleme ein nachhaltiges Wassermanagement im Mittelmeerraum erzielen. Das Forscherteam wird jedoch nicht nur Bewirtschaftungsinstrumente verbessern, sondern auch dafür sorgen, vorhandene Daten, Dienste und Technologien, aber auch lokales Wissen besser zu vernetzen und damit überregional zugänglich zu machen.

Insgesamt zählen zum OurMED-Projektgebiet acht Demonstrations-Standorte vor allem im Mittelmeerraum. Dazu gehören die Flusseinzugsgebiete Agia (Kreta, Griechenland), Konya (Türkei), Mujib (Jordanien), Medjerda (Tunesien), Sebou (Marroko), Júcar (Spanien), die Region um Arborea (Sardinien, Italien) sowie zusätzlich das Einzugsgebiet der Bode in Sachsen-Anhalt. Den für den Júcar zuständigen Wasserbehörden gelang es, den Rückgang des Grundwasserspiegels in einigen Grundwasserleitern zu stoppen und Know-how zur Wasserbewirtschaftung unter äußerst schwierigen semiariden Bedingungen aufzubauen. Die Umkehr des Negativtrends zeigt, dass es möglich ist, für mehr Nachhaltigkeit in der Wasserbewirtschaftung zu sorgen. Innerhalb des Projekts OurMED wird mit der Wasserbehörde des Júcar-Flusses zusammengearbeitet, um deren Erfahrungen an die weiteren Projektgebiete weiterzugeben.

Gleichzeitig kann der Júcar auch von den Erfahrungen profitieren, die an anderer Stelle gemacht wurden. So soll Wissen, das die Wissenschaftler des UFZ an der Bode im Harz gesammelt haben angewendet werden, um den Zustand des übermäßig nährstoffbelasteten Albufera-Sees in der Nähe der Mündung des Júcar zu verbessern. Trotz seiner Lage außerhalb der Mittelmeerregion ist das Einzugsgebiet der Bode in Sachsen-Anhalt von besonderem Interesse, weil es mit der Rappbodeltalsperre nicht nur die größte Trinkwassertalsperre Deutschlands einschließt und fruchtbarste Böden für die Landwirtschaft, sondern auch, weil es zu den am besten untersuchten Flussgebieten Mitteleuropas zählt. Das Bode-Einzugsgebiet war zudem in den vergangenen Jahren von langanhaltender Trockenheit betroffen, was die Wassermenge reduzierte und durch den gleichzeitig starken Waldverlust die Wasserqualität verschlechterte. Die Erkenntnisse aus diesem Gebiet können als Beispiel für andere Projektstandorte mit diffusen Verschmutzungsproblemen dienen, denen es an innovativer Überwachung und wissenschaftlich fundierten Lösungen mangelt. Ziel ist aber nicht nur, Lösungsansätze für die jeweiligen Demonstrationsstandorte zu finden, sondern diese auch für den

gesamten Mittelmeerraum zu entwickeln. So wolle man gewährleisten, die erarbeiteten Lösungen auch auf größere Landschaften zu übertragen.

Das bis Sommer 2026 laufende Projekt OurMED wird über das Programm PRIMA, Partnership for Research and Innovation in the Mediterranean Area im Rahmen des EU-Forschungs- und Innovationsprogramms Horizon 2020 mit 4,4 Mio. € gefördert. Zum Projektkonsortium zählen insgesamt 15 Partner aus 10 Staaten.

Weitere Informationen:

Projekt OurMED

<https://www.ourmed.eu/>

(aus: Pressemitteilung Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung vom 18. Dezember 2023)

Gewappnet sein gegen Sturmfluten an der Ostseeküste

Die Rekord-Sturmflut im Oktober 2023 hat schwere Schäden an der Deutschen Ostseeküste verursacht. Effektive Anpassungsszenarien an den steigenden Meeresspiegel werden daher immer drängender. In zwei aktuellen Studien haben Forschende der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU) sowohl die Überflutungsflächen entlang der Ostsee-Küstengebiete als auch erstmals in hoher Auflösung die möglichen Anpassungsoptionen aktueller Deichlinien modelliert. Dabei legen sie verschiedene Sturmflut- und Meeresspiegelanstiegsszenarien zu Grunde. Ihre Ergebnisse zeigen auf, dass basierend auf der aktuellen Deichlinie weder eine Erhöhung noch eine Rückverlegung für den Schutz von Menschen, Infrastruktur oder Gebäuden ausreichend sein kann, um das Überflutungsrisiko bis zum Jahr 2100 entlang der Deutschen Ostseeküste entscheidend zu reduzieren. Das Risiko für die Bevölkerung im Vergleich zu heute existierendem Küstenschutz verringerte sich im Modell etwa für das Szenario der Deichrückverlegungen nur um maximal 26 %.

Der Großteil der simulierten Überflutungsflächen befindet sich in Mecklenburg-Vorpommern, mit den Hotspots in den Bodden von Fischland-Darß-Zingst, Rügen, Usedom und das Peene Mündungsgebiet. In Schleswig-Holstein sind insbesondere die Flensburger Förde, die Eckernförder Bucht, Fehmarn, Travemünde sowie Lübeck betroffen. Heute kann man für einen großen Teil der Deutschen Ostseeküste noch entscheiden, wie eine Anpassung in Zukunft aussehen kann. Die bekannten Nachteile von existierenden Deichen sollten dabei gemäß der Forschergruppe unbedingt berücksichtigt werden. Dies sei auch zum Schutz vor zukünftigen Extremereignissen, die sich mit hoher Wahrscheinlichkeit häufen, entscheidend, so der CAU-Forscher.

Vor allem naturbasierte Anpassungsoptionen gewinnen derzeit zunehmend an Bedeutung. Ein Beispiel dafür sind kontrollierte Deichrückverlegungen, die das Ziel haben, eine natürliche Pufferzone zwischen Meer und Deich zu schaffen. Beispiele dafür sind Küstenfeuchtgebiete, die mit ihrer Vegetation die Oberflächenrauigkeit erhöhen und damit einen natürlichen Beitrag zum Küstenschutz leisten. In diesen Pufferzonen können sich selten gewordene Lebensräume wie Salzwiesen und Schilfröhrichte entwickeln, die auch zur Erhaltung der Biodiversität beitragen.

Bisherige Modelle simulieren Überflutungen nach dem Prinzip einer gleichmäßigen Ausbreitung des Wassers, wenn Sturmfluten auf die Küste treffen. In den aktuellen, prozessbasierten Modellierungen berücksichtigen die Forschenden nun erstmals zusätzlich auch den zeitlichen Verlauf von Sturmfluten sowie die Abschwächung der Flut mit ihren Strömungen und Scheitelwasserständen, wenn sie auf unterschiedlich raue Flächen treffen wie etwa Feuchtgebiete, Wälder oder befestigte Böden. Im Vergleich zu früheren überregionalen oder kontinentalen Studien hat das Wissenschaftlerteam mit ihrem angewendeten Küstenüberflutungsmodell erstmals für die gesamte Deutsche Ostseeküste hochaufgelöste Geländedaten von Landesschutz- und Regionaldeichen mit einem Meter Auflösung verwendet. So konnten sie die Effektivität auf der einen Seite von bestehenden und erhöhten Deichen und auf der anderen Seite von rückverlegten Deichen einschätzen. Beides wird jedoch vermutlich nicht ausreichen, um dem fortschreitenden Meeresspiegelanstieg standhalten zu können.

Das Forschungsteam schätzt jedoch das Schutzpotenzial für eine Rückverlegungen von Deichen inklusive deren Erhöhung als größer ein als eine Erhöhung ohne Rückverlegung. Bei Deichrückverlegungen werden existierende Deichlinien geschlitzt, sodass Wasser auf natürliche Weise in das Hinterland gespült wird und typischerweise wird vor der Schlitzung eine neue Deichlinie landeinwärts gezogen. Entlang der Deutschen Ostseeküste gibt es bereits einige Beispiele solcher Deichrückverlegungen. Der bessere Schutzeffekt gegen Sturmfluten, so die Erkenntnis aus der Modellstudie, liegt hier an der deutlich längeren, landwärtigen Deichlinie.

Um physikalisch plausible Flächen für potenzielle Deichrückverlegungen zu erfassen, legten die Wissenschaftler in ihrer Untersuchung mehrere Parameter zu Grunde: keine direkte Bebauung hinter dem Deich und keine Infrastruktur in Form von Straßen oder Schienennetz. Um die Effektivität von Deichrückverlegungen mit konventionellem Küstenschutz vergleichen zu können, wurden außerdem alle Landesschutz- und Regionaldeiche entlang der Deutschen Ostseeküste um 1,5 m gemäß dem Klimazuschlag von Landesschutzdeichen nach dem Klimadeich-Konzept erhöht. Es gibt in der Wissenschaft eine breite Diskussion um Deichrückverlegungen und naturbasierte Anpassungsoptionen allgemein. Noch wenig untersucht ist jedoch die Effektivität in Bezug auf den Küstenschutz. Die derzeitige Forschung schließt hier eine Lücke. Das Wissenschaftlerteam wollte wissen, welchen Beitrag Deichrückverlegungen zum regionalen Küstenschutz leisten können, wenn man sie überall dort implementiert, wo es physikalisch möglich ist. Aus diesem Grund wurden sozioökonomische Überlegungen sowie die oft fehlende Akzeptanz in der Bevölkerung für derartige Maßnahmen, die auch Eingriffe in die Infrastruktur bedeuten, zunächst nicht berücksichtigt.

In ihrer ersten Studie vom September 2023, rund einen Monat vor der schweren Sturmflut, hatte das Forschungsteam bereits mit zwei Szenarien mit einem hohen Meeresspiegel nachweisen können, dass die gesamte Deutsche Ostseeküste durch Überflutung stark gefährdet ist und Anpassungen im Küstenschutz notwendig sind. Sie koppelten dafür ein Modell der westlichen Ostsee mit einem Küstenüberflutungsmodell.

Die räumlichen Informationen über Deiche und Vegetation erfordern meist eine gute Lokalkennntnis und die Zusammenarbeit mit

den Behörden. Ohne unser transdisziplinäres Arbeiten hätte das Forascherteam die Überflutungskarten nicht in dieser Auflösung bereitstellen können.

Mit dem Klimadeichkonzept des Landes Schleswig-Holstein und den geplanten Deichkonstruktionen entlang der deutschen Ostseeküste sind bereits erste Maßnahmen zum Küstenschutz auf den Weg gebracht. Es wird jedoch mehr Forschung über die Effektivität alternativer Anpassungskonzepte an den Meeresspiegel benötigt. Die Ereignisse der Ostsee-Sturmflut haben gezeigt, dass möglichst frühzeitig damit begonnen werden sollte. Auch aufeinanderfolgende Sturmfluten in einem kurzen Zeitraum können sich zukünftig häufen. Die bereits durch die erste Sturmflut geschwächte Infrastruktur wäre bei nachfolgenden Ereignissen deutlich anfälliger, mit noch schlimmeren Konsequenzen für die Menschen an der Küste.

Die Anpassungskonzepte sind eine Herausforderung, vor der nicht nur Länder und Menschen an der Deutschen Ostseeküste stehen. Auch in Europa nehmen derartige Risiken zu. So forscht die Arbeitsgruppe zu europäischen Lösungen im EU Horizon 2020 Projekt "Coastal Climate Core Services" (CoCliCo).

Die Forschungsergebnisse zu den beiden Studien entstanden im Projekt "Ecosystem-supporting Coastal Adaptation Strategies for the German Baltic Sea Coast" (ECAS-Baltic), das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert wird. Koordiniert wurde das Projekt vom Global Climate Forum (GCF) in Berlin. Neben der Kieler Universität mit der Küstengeologie und Küstengeographie waren die folgenden Institutionen im ECAS-Baltic Projekt beteiligt: das Ludwig-Franzius-Institut für Wasserbau und Ästuar- und Küsteningenieurwesen der Leibniz Universität Hannover, das Helmholtz-Zentrum Hereon, das Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW) sowie die beiden Universitäten Rostock und Greifswald.

In der Bevölkerung sorgen Deiche grundsätzlich für ein Gefühl von Sicherheit und ermöglichen oder fördern sogar menschliche Bebauung unmittelbar hinter dem Deich. Dadurch kann das Überflutungsrisiko durch Deiche paradoxerweise steigen, was in der Wissenschaft mit dem Levee-Effekt beschrieben wird. Gleichzeitig reduzieren Deiche die Anpassungsfähigkeit von ökologisch wertvollen Küstenfeuchtgebieten, die mit ihrer Vegetation die Oberflächenrauigkeit erhöhen und damit einen natürlichen Beitrag zum Küstenschutz leisten.

Niedrig gelegenes Land hinter Deichen wird zur weiteren Nutzung oft entwässert und die regelmäßige Sedimentzufuhr durch Überflutung bleibt aus, was verhindert, dass das Land hinter den Deichen im selben Tempo wie der Meeresspiegel anwachsen kann. Es fehlen demnach Sedimente und gleichzeitig sinkt das Land als Folge der Entwässerung, in einigen Gegenden bis unter das Niveau des Meeresspiegels, ab. Der Verlust von Küstenfeuchtgebieten und sinkendes Land tragen weiter zum Anstieg des Überflutungsrisikos bei. Aus diesem Grund bekommen heute naturbasierte Anpassungsoptionen zunehmend Aufmerksamkeit. Ein Beispiel dafür sind kontrollierte Deichrückverlegungen, die das Ziel haben eine natürliche Pufferzone zwischen Meer und Deich zu schaffen. In diesen Pufferzonen können sich insbesondere an der deutschen Ostseeküste selten gewordene Lebensräume wie Salzwiesen und Schilfröhrichte entwickeln und somit auch zur Erhaltung der Biodiversität beitragen.

Über die Forschungsgruppe Coastal Risks and Sea-Level Rise (CRSLR):

In der Forschungsgruppe "Coastal Risks and Sea-level Rise" (CRSLR) an der Uni Kiel arbeiten aktuell insgesamt zehn Wissenschaftler. Das Team bewertet das Ausmaß der durch den Klimawandel verursachten Auswirkungen auf weltweite Küstenregionen und erforscht wie die Küstensysteme auf die kombinierten Belastungen durch natürliche und anthropogene Faktoren reagieren. Die Forschenden nutzen Daten aus Beobachtungen und Modellierungen sowie weiträumigen, wissenschaftlichen Analysen und fokussieren sich dabei auf die Themen Küstenanpassung, Bevölkerungsentwicklung an der Küste sowie Küsteneinfluss und Gefährdungsanalyse. In ihre Forschungsaktivitäten reiht sich auch das EU Horizon 2020 Projekt "Coastal Climate Core Services" (CoCliCo) ein, dessen Laufzeit bis September 2025 beträgt. Das Projekt zielt darauf ab, Entscheidungsträgerinnen und -träger besser über Küstenschutzmaßnahmen und -anpassungen beim Meeresspiegelanstieg und damit verbundene, zukünftige Gefahren für die Bevölkerung zu informieren.

Fachartikel:

Kiesel, J., Honsel, L.E., Lorenz, M., Gräwe, U. and Vafeidis, A.T. (2023): Raising dikes and managed realignment may be insufficient for maintaining current flood risk along the German Baltic Sea coast. *Commun Earth Environ* 4, 433 (2023). DOI: 10.1038/s43247-023-01100-0

Kiesel, J., Lorenz, M., König, M., Gräwe, U., and Vafeidis, A.T. (2023): Regional assessment of extreme sea levels and associated coastal flooding along the German Baltic Sea coast, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 23, 2961–2985 (2023). DOI: 10.5194/nhess-23-2961-2023

Weitere Informationen:

Webseite der CRSLR-Forschungsgruppe
www.crsrlr.de

BMBF-Projekt ECAS-Baltic
www.deutsche-kuestenforschung.de

EU-Projekt CoCliCo
www.coclicoservices.eu/

Arbeitsgruppe Küstenrisiken und Meeresspiegelanstieg, Universität Kiel
www.uni-kiel.de/de/detailansicht/news/299-sturmfluten-anpassungen-ostsee

(aus: Pressemitteilung Universität Kiel vom 29. November 2023)

Bayern

Käfer-Monitoring in Südbayern zur Situation von Waldbächen

Alle sechs Jahre führt die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) turnusmäßige Erhebungen zu den EU-weit geschützten Waldarten und Lebensräumen durch. Ein ganz besonderer Schatz unter diesen Arten ist der Grubenlaufkäfer (*Carabus variolosus nodulosus*). Dieser mit etwa 3 cm Größe sehr stattliche Käfer ist in Deutschland außerhalb Bayerns bis auf ein Vorkommen vollständig ausgestorben. In Südbayern kommt der

Grubenlaufkäfer jedoch noch an ca. 100 Standorten vor. Daher hat Bayern eine ganz besondere Verantwortung für diese Art. Folgerichtig liegen von den bundesweit 63 Monitoringpunkten nicht weniger als 62 in Bayern.

Der Grubenlaufkäfer ist ein reiner Waldbewohner und kommt weltweit nur in Europa vor. Nur wenn Wasserläufe intakt und gut vernetzt sind, sowie naturnahe Laubwälder an ihrem Rand wachsen, findet der seltene Käfer einen geeigneten Lebensraum. Dieser Käfer ist daher ein Indikator für den Zustand der Waldbäche und Waldquellen. Ungestörte Waldbäche haben in den Wäldern aber auch wichtige Funktionen für den Verbund von Lebensräumen anderer Tiere und Pflanzen sowie die Regulation des Wasserhaushaltes.

In den immer trockener werdenden Landschaften versiegen die Quellen jedoch zunehmend. Gleichzeitig spülen zunehmende Starkniederschläge die Bachläufe zeitweise stark aus. Daher ist die Einbettung der Waldbäche in stabile Laub- und Mischwälder besonders wichtig. Allerdings sind diese bachbegleitenden Wälder durch das Eschentriebsterben und andere eingeschleppte Baumkrankheiten zusätzlich gefährdet. Dies sind künftig zusätzliche Herausforderungen für diese schützenswerten Lebensräume und damit den Grubenlaufkäfer.

Die bayerischen Nachweiszahlen für den Grubenlaufkäfer zeigen, dass die Bestände dieser gefährdeten Art derzeit stabil sind. Knapp 2 % der Vorkommen sind dabei in einem "hervorragenden Zustand" (Stufe "A"), 56 % im Zustand "gut" oder "B". Immerhin bei 42 % der Vorkommen ist jedoch der Lebensraum gestört. Sei dies bedingt durch geringe Größe, durch fehlende Puffer, durch einen schlechten Zustand des Bachlaufs oder auch fehlendes Totholz als Winterquartier. In diesem Zusammenhang und insbesondere angesichts der erheblichen Klimaveränderungen sehen die Experten an der LWF erhebliche Verbesserungspotenziale.

Für die bayerischen Privat- und Kommunalwaldbesitzer stellt die Forstverwaltung daher ein umfassendes Paket an Fördermaßnahmen bereit. An erster Stelle steht dabei der Waldumbau an den Wasserläufen zu stabilen und naturnahen Laub- und Mischwäldern.

Das Monitoring für den Grubenlaufkäfer führte die LWF bayernweit mit 20 speziell geschulten Mitwirkenden aus den örtlichen Forstverwaltungen und Ehrenamtlichen durch. Auf diesem Wege wurden auch gleich Multiplikatoren für den Schutz der Art vor Ort gewonnen und die LWF-Spezialisten erfreuen sich über die Erhebungen.

Mit ihrem Beratungs- und Förderangebot unterstützt die Bayerische Forstverwaltung die Waldbesitzer und informiert sie über diese bedeutsamen, naturnahen Waldstandorte. Die staatlichen Beratungsförster weisen auf deren Schutz und die Notwendigkeit der behutsamen Pflege und Bewirtschaftung hin. Ein hierfür erstellter Flyer informiert die Waldbesitzer über die wichtigsten förderlichen Maßnahmen. Er zeigt aber auch die Maßnahmen auf, die in diesen Lebensräumen besser nur nach sorgfältiger Planung durchgeführt werden oder eventuell ganz unterlassen werden sollten.

In Bayerns Wäldern liegt die Verantwortung für die Natura2000 Schutzgüter und damit das FFH-Monitoring bei der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF).

Die Ergebnisse der Untersuchung werden derzeit ausgewertet und anschließend an das Bundesamt für Naturschutz (BfN) übermittelt, von wo aus diese an die EU-Kommission in Brüssel weitergegeben werden. Gemeinsam mit den Daten der anderen EU-Mitgliedsstaaten werden dann die Erhebungen durch das "European Topic Centre for Nature Conservation, ETC/NPB" in Paris ausgewertet. Auf diese Weise kann die EU abschätzen, ob sich das Europäische Naturerbe, in diesem Fall der Grubenlaufkäfer, in einem günstigen Zustand befindet. Die diesen Erhebungen zugrunde liegende Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie stammt aus dem Jahr 1992 und gilt in allen 27 Mitgliedsstaaten einheitlich. Gemeinsam bilden sie das "Europäische Netzwerk Natura 2000".

Weitere Informationen:

FFH-Monitoring der Wälder in Bayern
<https://s.bayern.de/ffh-artenmonitoring>

Infoblatt "Holzernte in Feuchtwald-Flächen",
Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft
https://s.bayern.de/faltblatt_holzernte_feuchtwald

(aus: Pressemitteilung Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft vom 17. November 2023)

Hessen

Förderung weiterer naturnaher Gewässer

Das Hessische Umweltministerium wird das im Jahr 2020 gestartete Programm "100 Wilde Bäche für Hessen" um weitere vier Jahre bis mindestens 2027 fortsetzen. Im Programm werden 100 hessische Bäche von der Quelle bis zur Mündung renaturiert. Hierbei wies das Hessische Umweltministerium auf die Bedeutung des Projekts für die Artenvielfalt und Biodiversität. Viele Bäche in Hessen wurden in der Vergangenheit ausgebaut, begradigt und in ein Betonbett gedrängt. An ihren Ufern können keine Bäume und Sträucher mehr wachsen, Insekten finden keine Nahrung und Fische können nicht mehr ungehindert schwimmen. Mit dem Programm "100 Wilde Bäche für Hessen" wird diesen Gewässern wieder ein breites und unberührtes Ufer und ein natürliches Bachbett zurückgegeben, wo das Wasser frei fließen kann. Damit werden typische Gewässer- und Auenlebensräume erhalten oder wiederhergestellt. Außerdem wird der Hochwasserschutz verbessert und der Wasserhaushalt gestützt.

Derzeit sind mehr als 50 Gewässerentwicklungsmaßnahmen in der Planungs- und Genehmigungsphase und können mit der Programmverlängerung nun zügig fertiggestellt werden. Außerdem ist das Flächenmanagement an 25 Bächen angelaufen.

Die teilnehmenden Kommunen werden dabei durch einen Dienstleister im Auftrag des Landes Hessen von den ersten Planungsschritten bis hin zur baulichen Umsetzung eng begleitet und unterstützt. Seit dem Jahr 2020 ist die Hessische Land-

gesellschaft mbH (HLG) damit beauftragt, zunächst bis Ende 2023. Nach einem europaweiten Ausschreibungsverfahren hat die HLG nun erneut den Zuschlag ab 2024 bekommen.

Aktuell sind 155 Kommunen und Wasserverbände Teilnehmer im Programm, welches zum Ziel hat, mindestens 100 Bäche in den guten ökologischen Zustand gemäß EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) zu bringen. Die gesamte Lauflänge der derzeit im Programm befindlichen Gewässer beträgt rd. 1.150 km. An diesen Bächen sind nach dem Maßnahmenprogramm für Hessen an 615 km Maßnahmen zur Entwicklung naturnaher Gewässer und an 520 km Maßnahmen zur Bereitstellung von Flächen für die Eigenentwicklung der Bäche umzusetzen. Hinzu kommt die Herstellung der Längsdurchgängigkeit an den "100 Wilden Bächen". Hier sind insgesamt rd. 3.500 Wanderhindernisse für Fische und andere Wasserlebewesen erfasst, die im Rahmen der Bearbeitung bewertet und umgestaltet werden müssen. Nach abgeschlossener Renaturierung der Bäche können zukünftig auch wieder weitere Bäche in das Landesprogramm aufgenommen werden.

Weitere Informationen:

Programm "100 Wilde Bäche für Hessen", Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz <https://wildebachehessen.de/>

(aus: Pressemitteilung Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz vom 5. Dezember 2023)

Hessen

Kompetenzzentrum Wasser Hessen eröffnet

Es sind gleich mehrere tiefgreifende Veränderungen, mit denen sich der Wassersektor in Hessen konfrontiert sieht: Der Klimawandel mit seinen häufigeren Extremwetterereignissen erhöht den Druck auf Wasserressourcen und Wasserökosysteme, was wiederum einen Verlust der Biodiversität nach sich zieht. Die Folgen für Mensch und Natur wurden in den Dürresommern der vergangenen Jahre deutlich sichtbar. Dann wiederum gab es vermehrt Starkregenereignisse mit Schäden an Gebäuden und Infrastruktur. Eine weitere Herausforderung für die Wasserwirtschaft ist der demografische Wandel. Die Zunahme der Bevölkerung in den Ballungsräumen führt zu einem steigenden Wasserbedarf in den kommenden Jahren, die Abnahme der Bevölkerung in Teilen des ländlichen Raums dagegen zu steigenden Kosten bei der Bereitstellung einer ausreichenden Wasser- und Abwasserinfrastruktur. Heute schon führen Einträge von Spurenstoffen zum Beispiel durch Arzneimittel im Abwasser zu Problemen in der Abwasserbehandlung und Trinkwasseraufbereitung.

Angesichts dieser Herausforderungen und damit verbundener Zielkonflikte zwischen Schutz und Nutzung der Ressource Wasser sind innovative und nachhaltige Umsetzungslösungen für die vielen beteiligten Akteure zu suchen und zu finden. Hessen geht diese Herausforderungen jetzt durch eine Stärkung der interdisziplinären Zusammenarbeit von Wissenschaft, Verwaltung, Politik, Praxis und Bildung an und gründet das Hessische Kompetenzzentrum Wasser (KWH), in dem das Hessische Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUKLV), das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt

und Geologie (HLNUG), die Regierungspräsidien, alle hessischen Universitäten, viele hessische Hochschulen sowie die Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung und das Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) ihre jeweilige Expertise einbringen und kooperieren werden.

Ziel des Hessischen Kompetenzzentrums Wasser (KWH) ist es, praxistaugliche, wissenschaftlich fundierte, evidenzbasierte und innovative Lösungen entsprechend den Herausforderungen im Wassersektor zu entwickeln. Statt einzelner hydrologischer, ökologischer und technisch-ingenieurwissenschaftlicher Fragestellungen können im KWH die dringenden Probleme zu Prozessen und Dynamiken des Wasserressourcenmanagements interdisziplinär und integriert betrachtet werden. Soziale, ökonomische und politische Aspekte, als weitere wichtige Handlungsfelder in der Wasserwirtschaft, können durch diese übergreifende Zusammenarbeit ebenfalls berücksichtigt werden.

Eine solche Bündelung der hessischen Wasserkompetenz eröffnet neue Perspektiven für die Durchführung von angewandten Forschungsprojekten zu in Hessen relevanten Themen für eine nachhaltige Nutzung der Ressource Wasser, einschließlich der Vermittlung von entsprechenden Kompetenzen, sowie für die Politikberatung.

Weitere Informationen:

Portal "Wasser", Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz <https://umwelt.hessen.de/wasser>

(aus: Pressemitteilung Universität Frankfurt vom 11. Dezember 2023)

Niedersachsen

Niederschlagsreiche Witterung wirkt sich günstig auf Grundwasserstände aus

Die trockenen Witterungsverhältnisse 2022 haben zu sehr niedrigen Grundwasserstandsverhältnissen in Niedersachsen geführt. Dies zeigt der Sonderbericht des Niedersächsischen Landesbetriebs für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) zur Grundwasserstandssituation im Jahr 2022. Doch wie steht es aktuell um das Grundwasser in Niedersachsen? Der Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) gibt eine vorläufige Einschätzung der Auswirkungen des niederschlagsreichen Sommers 2023.

Wie angespannt die Lage noch im Sommer 2022 war, zeigt ein umfangreicher Bericht des NLWKN, der jetzt erschienen ist. Der mittlerweile fünfte Sonderbericht im Rahmen des Grundwasserberichts Niedersachsen fasst die Entwicklungen des Grundwasserstands im hydrologischen Jahr 2022 zusammen. Als hydrologisches Jahr bezeichnet man den Zeitraum von November bis Oktober des Folgejahres. Der NLWKN wertet jährlich die Grundwasserstandssituation des Vorjahres auf Basis von insgesamt 1.391 Messstellen aus und veröffentlicht die Ergebnisse in Form der Sonderberichte. Sie enthalten auch Auswertungen zur historischen Einordnung der Grundwasserstandssituation und der zeitlichen Entwicklungen auf landesweiter und regionaler Basis. Bereits seit dem Jahr 2009 bewegen sich die Grundwasserstände in Niedersachsen auf einem durchschnittlichen bis nied-

rigen Niveau, die Trockenjahre 2018 und 2019 hatten landesweit zu extrem niedrigen und vielfach auch neuen historischen Tiefständen geführt, die sich in den Folgejahren nur geringfügig erholten.

Das hydrologische Jahr 2022 war erneut durch eine extreme Trockenheit im Sommer geprägt. Ergebnis waren überregionale Absenkungen des Grundwasserstandes, die im Osten und Süden Niedersachsens besonders deutlich wurden. Die Grundwasserstände fielen im Sommer 2022 auf ein Niveau zurück, das in etwa dem Niveau der extremen Trockenjahre 2018/2019 entsprach, zwischenzeitliche Grundwasserstandsgewinne gingen weitgehend wieder verloren.

Die feuchten Witterungsverhältnisse im Jahr 2023 haben sich dagegen günstig auf die Grundwasserstandssituation in Niedersachsen ausgewirkt. Im Vergleich zu den Vorjahren weisen für den Monat November viele Grundwassermessstellen aktuell normale bis sehr hohe Grundwasserstände auf. Das zeigen Daten aus 161 ausgewählten Messstellen des Messprogramms "Klima-Grundwasserstand", welches vom Landesbetrieb zur Ermittlung klimawandelbedingter Veränderungen des Grundwasserstands in Niedersachsen betrieben wird. Die Messwerte sind seit 2023 Jahr auch online tagesaktuell abrufbar.

Der niederschlagreiche Sommer sorgte insgesamt für eine geringere Absenkung der Grundwasserstände, die durch die starken Niederschläge insbesondere der vergangenen Wochen noch einmal deutlich ansteigen konnten. Aus der exemplarischen Betrachtung einzelner Messstellen zeichnet sich ab, dass die Tiefststände im Sommer 2023 deutlich über den Tiefstständen des Vorjahres 2022 und der Trockenjahre 2018/2019 lagen. Aktuell zu Beginn der winterlichen Neubildungsphase bewegen sich die Wasserstände dieses Jahr bereits annähernd auf dem Niveau der vorangegangenen Hochstände im Frühjahr 2023, so die Momentaufnahme. Sofern die feuchten Witterungsverhältnisse über den Winter anhalten, sind weitere Grundwasserstandsanstiege bis zum Frühjahr möglich.

Eine abschließende Bewertung der Grundwasserstandssituation für 2023 und eine Einordnung in den langfristigen Kontext wird jedoch erst im Rahmen der landesweiten Auswertung für

die nächste Ausgabe der Sonderberichte 2024 erfolgen. Vor dem Hintergrund der unsicheren Projektionen der zukünftigen Niederschlagsentwicklung im Zuge des Klimawandels wird die Entwicklung der letzten Jahre vom NLWKN aufmerksam beobachtet.

Weitere Informationen:

Portal "GrundwasserstandOnline", Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
<https://www.grundwasserstandonline.nlwkn.niedersachsen.de/Start>

(aus: Pressemitteilung Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz vom 1. Dezember 2023)

Nordrhein-Westfalen

Auswertung des Wasserwirtschaftsjahres 2022/2023 vorgelegt

Mehr Regen, höhere Grundwasserstände, aber trotzdem Grundwasserdefizite: In den letzten zwölf Monaten sind in Nordrhein-Westfalen in der Summe rd. 1.044 mm Niederschlag gefallen. Das sind 198 l Niederschlag pro Quadratmeter mehr gegenüber den langjährigen Mittelwerten, was einem Plus von 24 % entspricht. Als Folge der überdurchschnittlichen Regenfälle in den Sommermonaten des Jahres 2023 sind nach mehreren Dürre Jahren zwar an rd. 83 % der Messstellen in NRW höhere Grundwasserstände gemessen worden. Dennoch aber zeigt sich an rund der Hälfte der Messstellen weiterhin ein Grundwasserdefizit als Langzeitfolge der deutlich unterdurchschnittlichen Grundwasserneubildungsraten in den hydrologischen Jahren 2017 bis 2019 und 2022. Dies geht aus dem Bericht des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (Lanuv) für das Wasserwirtschaftsjahr 2022/2023 hervor.

Weitere Informationen:

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz
Nordrhein-Westfalen
www.lanuv.nrw.de/landesamt

(aus: Pressemitteilung Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen vom 3. November 2023)

Ausbildung

Neuer Bachelorstudiengang "Gewässerkunde und Wasserwirtschaft"

Zum Wintersemester 2023/24 ist an der Hochschule Koblenz ein neues Studienangebot etabliert worden. Der Bachelorstudiengang "Gewässerkunde und Wasserwirtschaft" ist das jüngste Angebot der Hochschule Koblenz und richtet sich an Studierende, die sich für Klimaanpassung, Umweltschutz und eine nachhaltige Wasserwirtschaft einsetzen möchten. Mit einem breiten Spektrum an praxisnahen Inhalten aus der Naturwissenschaft und den Ingenieurwissenschaften werden die Studierenden in die Lage versetzt, sich den aktuellen und zukünftigen Herausforderungen im Umgang mit der lebenswichtigen Ressource Wasser zu stellen.

Wasserwirtschaftliche Herausforderungen gibt es viele. Starkregen und daraus resultierende Überschwemmungen traten in den letzten Jahren nicht nur in Deutschland, sondern weltweit vermehrt auf und bedingen eine umfassende und weitblickende Hochwasservorsorge. Auf der anderen Seite sind langanhaltende Hitze und Trockenheit Auslöser für sinkende Grundwasserspiegel und Ernteausfälle und könnten in Zukunft die Trinkwasserversorgung auch in Deutschland gefährden. Der Studiengang Gewässerkunde und Wasserwirtschaft vermittelt praxisbezogen natur- und ingenieurwissenschaftliche Grundlagen zu allen relevanten Gebieten der Hydrologie, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft und zielt darauf ab, Expertinnen und Experten für die komplexen Problemstellungen in der Wasserwirtschaft auszubilden.

Der Bachelorstudiengang zeichnet sich durch eine Kooperation der Hochschule Koblenz mit der Universität Koblenz und der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) in Koblenz aus und ist damit bundesweit einmalig. Der Abschluss ermöglicht einen direkten Berufseinstieg bei Ingenieurbüros, Versorgern und Verbänden oder in den einschlägigen Behörden im Wassersektor. Darüber hinaus eröffnet er den Zugang zum konsekutiven Masterstudiengang "Gewässerkunde und Wasserwirtschaft", der von der Universität Koblenz in Kooperation mit der Hochschule Koblenz und der BfG angeboten wird.

In diesem Semester haben 13 Studierende das Bachelorstudium an der Hochschule Koblenz aufgenommen. Die Studierenden werden in Themen wie Gewässerökologie, Wasserqualität, Wasserwirtschaft, Hydrologie und Umweltschutz ausgebildet. Darüber hinaus werden sie Gelegenheiten haben, ihre Kenntnisse durch Praktika und Projektarbeiten in der realen Welt anzuwenden.

Im Bereich der Wasserwirtschaft besitzt die Hochschule Koblenz eine große Expertise. Bereits seit zehn Jahren bildet sie im Studiengang Umwelt-, Wasser- und Infrastrukturmanagement Bauingenieurinnen und Bauingenieure für das Thema aus. Die Hochschule Koblenz ist zudem für das landesweite Kompetenzzentrum "Wissenschaft für den Wiederaufbau" verantwortlich, das nach der Flutkatastrophe 2021 ins Leben gerufen wurde, und engagiert sich im Projekt des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) "Impulse für Resilienz und Klimaanpassung – Klima-Anpassung, Hochwasser und Resilienz" (KAHR). Die Initiativen verfolgen das Ziel, Hochwasserereig-

nisse wissenschaftlich zu untersuchen und bedarfsorientierte Vorsorgemaßnahmen zu entwickeln. Insbesondere sollen neueste wissenschaftliche Erkenntnisse zum Klimawandel und zur Klima-Anpassung für die Prozesse des Wiederaufbaus zur Verfügung gestellt werden, damit die betroffenen Regionen zukunftsichere, resiliente und klimafeste Strukturen gestalten können. Ein weiteres Forschungsvorhaben der Hochschule – "Urban Flood Resilience – Smart Tools" (FloReST) – beschäftigt sich mit der Bestimmung von Wasser-Fließwegen und der Ausweisung von Notabflusswegen. Darüber hinaus ist die Hochschule Koblenz einer der Projektpartner im Projekt CapTain Rain, das die Wassersammlung und -ableitung sowie die Verbesserung der Methoden zur Sturmflutvorhersage und -vermeidung bei Starkregenereignissen in Jordanien zum Forschungsgegenstand hat. Die wissenschaftliche Expertise der Hochschule fließt nun in den neuen Bachelorstudiengang Gewässerkunde und Wasserwirtschaft ein, der das Studienangebot um einen wichtigen Baustein ergänzt.

Weitere Informationen:

Portal "Umwelt-, Wasser- und Infrastrukturmanagement",
Hochschule Koblenz

<https://www.hs-koblenz.de/bauingenieurwesen/bachelor-studiengang-umwelt-wasser-und-infrastrukturmanagement/umwelt-wasser-und-infrastrukturmanagement>

(aus: Pressemitteilung Hochschule Koblenz vom 25. Oktober 2023)

Wasser-Ressourcenpreis 2024: Rüdiger Kurt Bode-Stiftung startet Ausschreibung

Konkurrenz um die immer knapper werdende Ressource Wasser wird die globale Entwicklung in den nächsten Jahrzehnten prägen. Hauptgründe sind Bevölkerungsdruck, Klimawandel und ineffizientes, nicht nachhaltiges Management der Wasserressourcen. Bereits heute lebt etwa ein Drittel der Weltbevölkerung unter Bedingungen, die durch mittleren bis starken Wasserstress gekennzeichnet sind. Bis zum Jahr 2050 erwarten die Vereinten Nationen einen Anstieg des weltweiten Wasserverbrauchs um etwa 1 % pro Jahr. Parallel werden Dürre- und Starkregen-Ereignisse zunehmen (Weltwasserbericht 2023).

Der mit 100.000 € dotierte Preis wird an Wissenschaftler aus dem Bereich der Lebens-, Natur- und Ingenieurwissenschaften vergeben, die in interdisziplinärer, praxisorientierter Forschungsarbeit an der Schnittstelle von Wissenschaft und Gesellschaft herausragende Strategien und Konzepte für eine nachhaltige Nutzung der globalen Wasserressourcen entwickelt haben. Die Auszeichnung soll dazu dienen, die Forschungsmöglichkeiten der Preisträger zu erweitern, die Beschäftigung von Nachwuchswissenschaftlern zu erleichtern und weitere Forschungsinitiativen zu starten.

Sowohl Selbstbewerbungen, als auch Vorschläge Dritter sind möglich. Es können sowohl Einzelpersonen als auch Forschungsgruppen berücksichtigt werden. Der Preis adressiert Forscher, die in das deutsche Wissenschaftssystem integriert sind oder an einer deutschen Forschungseinrichtung im Ausland arbeiten.

Aussagefähige Unterlagen (max. 10 Seiten) und Anhang mit Motivationsschreiben, Lebenslauf, Kurzdarstellung des wissenschaftlichen Werdeganges, Publikationsliste, bis zu fünf einschlägigen Publikationen sowie Konzept über die geplante Verwendung des Preisgeldes sind per E-Mail komplett als pdf-Datei einzureichen. Bei Selbstbewerbungen ist die Empfehlung eines zweiten Wissenschaftlers beizufügen.

Über die Vergabe des Preises entscheidet das Kuratorium der Stiftung auf der Grundlage einer wissenschaftlichen Jury. Die Verleihung des Preises erfolgt im Jahr 2024.

Die erforderlichen Unterlagen sind bis zum 15. Februar 2024 einzureichen: karsten.krueger@stifterverband.de

Weitere Informationen:

Deutsches Stiftungszentrum
www.deutsches-stiftungszentrum.de

(aus: Pressemitteilung Stifterverband vom 16. November 2023)

Interview

In dieser 5. Folge der Kolumne "Interview" geht es um Feuchtwiesen und insbesondere um Moore. Dabei wird nicht nur die Typisierung von wFeuchtgebieten angesprochen, sondern auch die Renaturierung und Wiedervernässung von Mooren, die seit Jahrhunderten für land- und forstwirtschaftliche Zwecke sowie den Torfabbau entwässert wurden. Projekte zur Wiederherstellung von Moorlandschaften sind letztlich hinsichtlich des Klimaschutzes von ganz außerordentlicher Bedeutung.

Dr. Thomas Lüllwitz, HyWa-Redaktion

Herr Dr. Dietrich, wo liegen innerhalb Deutschlands die bedeutendsten Feuchtgebiete, die es ja gilt zu schützen oder sogar noch auszuweiten?

Antwort Dr. Dietrich:

Hallo Herr Lüllwitz, und vielen Dank zunächst, dass ich die Gelegenheit bekomme über dieses aktuell ja gerade sehr wichtige Thema in dem HyWa-Podcast mit Ihnen einmal zu sprechen. Ja, wo liegen die Feuchtgebiete? Wenn man über Feuchtgebiete spricht, dann muss man zunächst eigentlich erst einmal definieren, um welchen Feuchtgebietstyp es denn genau geht. Feuchtgebiete kommen in ganz unterschiedlichen Landschaften vor. Die Palette der Feuchtgebietstypen ist sehr breit und folglich kann die Rolle, die sie spielen und wo sie vorkommen auch sehr unterschiedlich sein.

Feuchtgebiete können eine Bedeutung für den Biotop- und Artenschutz haben, sowie auch für den Klimaschutz und sind für den Wasserhaushalt in Einzugsgebieten sehr wichtig. Aber sie kommen regional eben sehr unterschiedlich verteilt vor und es gibt auch große Unterschiede in dem, was sie können und was sie nicht können. Per Definition ist ein Feuchtgebiet oder Feuchtbiotop erst mal eine Zone, die sich im Übergangsbereich vom trockenen zum dauerhaft feuchten Ökosystem befindet. Der Begriff des Feuchtgebiets umfasst viele verschiedene Lebensraumtypen der Flora und Fauna wie Fluss- und Bachauen, Bruchwälder, Feuchtwiesen, Moore, Marschen und noch viele mehr. Etwa 80% der bedeutenden Feuchtgebiete in Deutschland liegen in den Watt- und Wasserflächen der Ost- und Nordsee. Diese Gebiete werden z. B. auch auf der sogenannten Ramsar-Liste geführt, einem völkerrechtlichen Vertrag, der die Feuchtgebiete von internationaler Bedeutung schützt.

Die Ramsar-Konvention wurde im Jahr 1971 in der iranischen Stadt Ramsar abgeschlossen und sollte in erster Linie dem Lebensraumschutz von Vögeln dienen. In der Ramsar-Konvention ist der Begriff der Feuchtgebiete noch viel weiter gefasst. Es gehören zum Beispiel auch Mangrovenwälder und Salzseen dazu, die ja in Deutschland gar nicht vorkommen.

In der EG-Wasserrahmenrichtlinie kommen Feuchtgebiete auch vor. Es gibt zum Beispiel einen übergreifenden Leitfaden zur Bedeutung der Feuchtgebiete. Dort schaut man wieder weniger auf die Feuchtgebiete in ihrer Rolle als Biotop, sondern vielmehr: Was können sie für einen Beitrag zur Erreichung der guten Gewässerqualität leisten? Also man sieht, es ist eine sehr breite Palette sehr unterschiedlicher Feuchtgebiete und auch die Sichtweise auf diese kann sehr unterschiedlich sein. Um jetzt noch mal auf Ihre



Dr. O. Dietrich
Foto: N. Dietrich

Frage zurückzukommen: Wo kommen diese Feuchtgebiete vor? In Deutschland gibt es natürlich, wie gesagt, sehr unterschiedliche Typen und die Moore, mit denen ich mich speziell befasse, die kommen in erster Linie in den nördlichen Bundesländern im Tiefland in Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Schleswig-Holstein und Niedersachsen vor, aber auch im Alpenvorland in Bayern gibt es sehr große Moorgebiete. Kleinere Vorkommen von Moorgebieten kommen praktisch in ganz Deutschland vor.

Sie haben jetzt gerade die unterschiedlichen Typen von Feuchtgebieten dargestellt. Werden diese denn alle am ZALF erfasst und kartiert?

Nein, am ZALF befassen wir uns eigentlich vorrangig nur mit den Mooren, weil sie auch eine Bedeutung im Zusammenhang mit der Agrarlandschaft haben. Es gibt aber recht gute bundesweite Übersichten, zum Beispiel auch zu den Mooren vom Greifswalder Moorzentrum oder der Humboldt-Universität. Aber eigentlich ist Moorschutz in Deutschland eine Angelegenheit der Bundesländer. Und daher gibt es gute Übersichten in den einzelnen Bundesländern und weniger bei Bundesbehörden. Das ist wie bei den Wassergesetzen: der Bund gibt im Grunde nur den Rahmen vor und die Umsetzung des Moorschutzes ist Ländersache.

Sie haben jetzt gerade eben das Stichwort Moorschutz gebracht. Die Feuchtgebiete werden ja in Deutschland seit Jahrhunderten entwässert, um sie land- und forstwirtschaftlich zu nutzen. Eine Studie der Universität Göttingen hat zum Beispiel einen Rückgang der Feuchtgebiete von mehr als 25 % in den letzten 300 Jahren festgestellt. Können Sie sich es vorstellen, dass man in Zukunft auf diese Praxis der Entwässerung komplett verzichten kann?

Also, komplett sicher nicht, denn ich denke, das muss man auch differenzierter betrachten. Wir leben ja in einer seit Jahrhunderten gewachsenen Kulturlandschaft, die mit vielen anthropogenen Eingriffen und Veränderungen im Wasserhaushalt der Einzugsgebiete verbunden war. Dazu gehören eben auch die Entwässerung von Mooren seit mehr als zwei Jahrhunderten. Das war eine gesellschaftliche Notwendigkeit. Die Bevölkerung musste ernährt werden, man brauchte landwirtschaftliche Nutzfläche. Die Folge ist aber, dort wo es einmal große Mooregebiete gab, gibt es heute nicht nur land- und forstwirtschaftlich genutzte Flächen, sondern auch Siedlungen, Infrastruktur und Verkehrswege. Und manchmal sind die Moore dabei auch schon vollständig verschwunden. Diese Gebiete wird man sicherlich nicht wieder in ihren ursprünglichen Zustand zurückversetzen können und daher sollte man sie auch weiter entwässern und nutzen können. Wo es allerdings noch wertvolle Reste von Mooren gibt, die ausschließlich land- und forstwirtschaftlich genutzt werden, dort könnte man die Entwässerung durchaus einstellen oder zumindest reduzieren. Das würde aber bedeuten, dass man dort auch in die land- und forstwirtschaftliche Nutzung eingreift und man sich zumindest an die höheren Wasserstände anpasst. Dagegen gibt es natürlich, zum Teil auch berechtigt, großen Widerstand von den Flächeneigentümern und Nutzern. Das ist also kein einfacher Weg und zudem auch ein sehr langwieriger Weg, wie die Erfahrungen der letzten 30 Jahre gezeigt haben und auch kein ganz preiswerter Weg, wenn man das alles zurückbauen will.

Nun möchte ich noch einmal auf die Moorflächen zu sprechen kommen, die prinzipiell in eine Renaturierung oder Wiedervernässung überführt werden können. Lässt sich dies denn problemlos an solchen Flächen umsetzen?

Also problemlos auch nicht. Denn aus meiner Sicht ist es immer ganz wichtig, möglichst gut zu planen und vorzubereiten, damit solche Renaturierungen auch erfolgreich sind. Es gibt in der Vergangenheit einfach schon viel zu viele Beispiele, wo es am Ende nicht geklappt hat. Denn auch aus rein hydrologisch-wasserwirtschaftlichen Gründen wird es nicht immer funktionieren, dass man wieder den alten Wasserhaushalt zurückbekommt. Es reicht oftmals nicht aus, nur die Entwässerung in einem Mooregebiet einzustellen, weil die Einzugsgebiete der Mooregebiete auch eine große Rolle für den Wasserhaushalt der Mooregebiete spielen. Dort gab es natürlich auch viele Veränderungen, die sich so auf den Wasserhaushalt der Feuchtgebiete auswirken. Das muss einfach mitberücksichtigt werden. Und wir dürfen auch nicht vergessen, dass es natürlich bereits in den letzten Jahrzehnten, und in der Zukunft noch wahrscheinlicher, sehr große klimatische Veränderungen gab bzw. geben wird, die auch alle Folgen für den Wasserhaushalt haben. Wenn man wiederum berücksichtigt, dass eine Renaturierung ein sehr langwieriger Prozess ist, bei dem man nach 5 oder 10 Jahren oftmals noch gar nicht sicher sein kann, ob er überhaupt erfolgreich war, dann müssen diese Aspekte eben alle berücksichtigt werden. Und es kann auch sein, dass in vielen Gebieten das Wasser einfach auch nicht mehr ausreicht.

Der wirkliche Erfolg einer Moor-Renaturierung kann sich durchaus erst in Jahrzehnten einstellen. Und ob dann noch diese hydro-klimatischen Voraussetzungen für einen intakten Moorwasserhaushalt oder Feuchtgebietswasserhaushalt existieren, ist nicht immer ganz sicher und vorausgesetzt. Insofern gilt es, alle

diese Aspekte mit in die Planung und in die begleitenden Untersuchungen vorher mit einzubeziehen.

Sie haben jetzt gerade eben die klimatischen Aspekte von Feuchtgebieten, ganz speziell von Mooren angesprochen. Deren Bedeutung wird ja jetzt gerade hinsichtlich des Klimawandels immer wichtiger. Einige Bundesländer gehen Moorschutzkonzepte an. Könnten Sie noch einmal darlegen, wie genau Moore entstehen?

Ja, es gibt ja den einfachen, aber wie ich finde, kurzen und genialen Satz, von dem großen Moorforscher Michael Succow, der nur vier Worte hat und der lautet: "Moore leben vom Wasser". Dieser Satz sagt eigentlich sehr viel, eigentlich schon fast alles darüber aus, wie Moore entstehen und wie sie fortbestehen. Wenn langfristig in einer Region Wasser im Überschuss vorhanden ist, dann können sich durch die absterbende Vegetation und Sedimente dort Moore bilden. Die Vegetation, die dort wächst, muss natürlich an die feuchten Bedingungen angepasst sein. Nicht jede Pflanze kann dort überleben und auch nicht jede Pflanze kann Torf bilden. Es gibt aber eine ganze Reihe von Pflanzen, die das können und welche Art in einem Moor vorkommt, das hängt dann wiederum vom Wasserhaushalt und auch vom Nährstoffstatus in diesem Moor ab. Die Biomassebildung in Mooren ist aufgrund der guten Wasserversorgung der Pflanzen meistens sehr groß und nach der Vegetationszeit sterben die Pflanzen dann ab und sinken unter die Wasseroberfläche. Und dort verrotten sie eben nicht, da unter der Wasseroberfläche der Sauerstoff dafür fehlt. Auf diese Weise wurde im Laufe von Jahrhunderten und Jahrtausenden immer mehr abgestorbene Biomasse akkumuliert. So eine Faustzahl für wachsende Moor ist zum Beispiel, dass man sagt, wir gehen davon aus, dass ein Moor in einem Jahr ein Millimeter wachsen kann. Das ist sicherlich nicht sehr viel, aber so kann man grundsätzlich den Entstehungsprozess erklären.

In unserer Region sind die Moore eigentlich fast ausschließlich alle nach dem Rückgang der letzten Vereisung entstanden. Ihre Entstehung ist natürlich auch sehr eng an die klimatischen Verhältnisse und die herrschenden Geländestrukturen gebunden. Womit wir wieder bei dem Satz sind: "Moore leben vom Wasser". Ein Überschuss an Wasser kann dabei auf viele Arten entstehen: Es kann mehr regnen als verdunstet oder abfließt. Oder es kann Wasser aus einem Einzugsgebiet zusammenfließen und nicht in tiefere Schichten versickern und abfließen, wodurch ein Überschuss, eine Vernässung entstehen. Aufgrund dieser Vielfalt an Möglichkeiten, wie es zu einer ausreichenden Vernässung kommen kann, gibt es auch sehr viele unterschiedliche hydrogenetische Moortypen, die so alle ihre speziellen Eigenschaften haben.

Jetzt kennt man ja, weil sie gerade eben die verschiedenen Eigenschaften ansprechen, die Unterschiede zum Beispiel Nieder- und Hochmoor. Wie würden Sie darstellen, wie sich beide unterscheiden und was sind deren Unterschiede? Und wie groß ist die Verbreitung in Deutschland?

Hydrologisch und auch standortökologisch lassen sich die vom Regenwasser versorgten Hochmoore von den von Grund- und Oberflächenwasser gespeisten Niedermooren unterscheiden. Beide unterscheiden sich also zunächst in ihrer Wasserversorgung und folglich auch in der Nährstoffverfügbarkeit und letztlich in der Vegetation, die den Torf bildet. Die Hochmoore, die auch Regenmoore genannt werden, gibt es in Deutschland

vorwiegend nur in den niederschlagsreicheren Bundesländern, in Schleswig-Holstein, Niedersachsen und Bayern oder auch kleinere Vorkommen in den Mittelgebirgslagen. Hochmoore sind sehr nährstoffarm, weil sie eben keinen Zufluss von nährstoffreichem Wasser aus dem mineralischen Einzugsgebiet erhalten. Typische Vegetation und Torfbildner sind die Torfmoose. Die Entstehung eines Hochmoors hängt aber letztendlich auch nicht nur von der Höhe des mittleren Niederschlags ab. Das Wasser darf zum einen nicht in tiefere Schichten versickern, das Mooregebiet muss nach unten dicht sein oder es darf auch nicht oberflächlich abfließen. Einmal ganz einfach gesagt, die Verdunstung muss kleiner als der Niederschlag sein. Daher gibt es zum Beispiel in Nord-Skandinavien auch Hochmoore bei viel geringerem Jahressummen an Niederschlag als bei uns, weil dort die Verdunstung sehr viel kleiner ist. In südlicheren Breiten, wo es zum Teil noch höhere Niederschläge gibt, gibt es dagegen keine Hochmoore, da die Verdunstungsraten sehr viel höher sind.

Die andere Moorart, die Niedermoore, die gibt es eigentlich in Deutschland weitflächig in allen Bundesländern, nur eben nicht überall gleich häufig. Die bedeutendsten Vorkommen gibt es auch wieder in den nördlichen Bundesländern Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und eben auch in Bayern im Alpenvorland.

Die Niedermoore sind viel nährstoffreicher als Hochmoore. Torfbildende Arten sind dort vor allem Seggen, Schilf oder auch Erlenbruchwälder. Sie können ihren Zufluss aus dem Einzugsgebiet über das Grundwasser oder über Oberflächengewässer erhalten. Ohne diesen Zufluss können sie langfristig nicht existieren. Aber ihre Einbindung in den Wasserhaushalt des Einzugsgebietes kann sehr vielfältig sein und daher am Ende auch wieder ihre Bedeutung für den Wasserhaushalt des Einzugsgebietes. Wenn man insgesamt noch mal auf Deutschland schaut, so sprechen wir heute von 1,8 Millionen ha organische Böden. So steht es in der Moorschutzstrategie des Bundes. Ich kenne auch ältere Zahlen, dort ist man immer von 1,4 Millionen ha Moore ausgegangen, ungefähr eine Million ha Niedermoor, 0,4 Millionen ha Hochmoor. Diese Unterschiede liegen einfach daran, wie streng man die Definition für Moore auslegt. Nach der DIN-Definition ist ein Gebiet ein Moor, wenn die Moormächtigkeit größer als 30 cm ist und der Gehalt an organischer Substanz größer als 30 Gewichtsprozent beträgt. Nach der IPCC-Definition für die organischen Böden kann eben durchaus einer dieser Kriterien unterschritten sein. Sie haben als organische Böden immer noch eine große Bedeutung, gerade für den Klimaschutz.

Wir haben vorhin die Bedeutung der Moore hinsichtlich des Klimawandels angesprochen. Worin liegt denn die besondere Bedeutung der Moore für den Klimaschutz?

Moore speichern mehr Kohlendioxid als jedes andere Ökosystem der Welt. Zum einen speichern sie natürlich den Kohlenstoff in ihrem Torfkörper, der in den Jahrtausenden zuvor dort akkumuliert wurde. Aber wachsende, intakte Moore erhöhen diesen Kohlenstoff vor Ort natürlich auch immer noch weiter. Dagegen setzen entwässerte oder zu trockene Moore den in der Vergangenheit gespeicherten Kohlenstoff als Treibhausgas wieder frei und speichern keinen weiteren Kohlenstoff. Sie tragen also noch zur Treibhausgasenerhöhung bei. Wenn man einmal berücksichtigt, dass nur 5 % der gesamten Landfläche Deutschlands Moore sind, dann ist in diesen Mooren genauso viel Kohlenstoff gespeichert

wie in allen deutschen Wäldern, die einen viel größeren Flächenanteil an der Landesfläche haben.

Das sind ganz beachtenswerte Zahlen. Da möchte ich noch mal die Nachfrage stellen. Was macht jetzt die besondere Rolle von Mooren im Wasserhaushalt von Tieflandeinzugsgebieten aus?

Wie schon gesagt, der Wasserhaushalt von Mooren unterscheidet sich sowohl von dem Wasserhaushalt von terrestrischen Flächen als auch vom Wasserhaushalt rein aquatischer Flächen. Moore haben zunächst erst mal eine große ökologische Bedeutung als Lebensraum für viele seltene Pflanzen und Tierarten. Das kommt mir häufig zurzeit etwas zu kurz. Wahrscheinlich, weil es auch nicht gerade so aktuell ist, wie zum Beispiel die Bedeutung der Moore für das Klima, insbesondere auch für die globalen Treibhausbilanzen, wenn wir an die Bedeutung der Moore weltweit denken. Aber Moore, um auf den Wasserhaushalt zurückzukommen, waren in ihrem ursprünglichen Zustand natürlich erst einmal auch Senken für Wasser und Stoffe, die zum einen zur Vergleichmäßigung des Abflusses beigetragen haben, weil sie eben sehr viel Wasser auch speichern können, meistens sehr wenig Gefälle haben, zumindest die im Tiefland, und das Wasser daher auch sehr langsam abfließt. Damit tragen sie zur Reduzierung von Nährstofffrachten bei. Diese wichtigen Funktionen können sie aber auch nur erfüllen, wenn ihr Wasserhaushalt intakt ist. Aus letzteren darf man aber auch nicht gleich ableiten, dass sie das heute auch noch alle in gleicher Weise und Umfang könnten. Nährstofffrachten, die wir vor einigen Jahrhunderten hatten und die, die heute so in der Landschaft unterwegs sind, die sind sicher nicht miteinander vergleichbar.

Die Fließbahnen des Wassers können infolge von vielen Veränderungen in den Einzugsgebieten andere sein als sie es zuvor einmal waren. Auch wenn wir jetzt alle Moore renaturieren würden, darf man nicht erwarten, dass diese dann alle Nährstoffe aus den Abflüssen herausfiltern könnten. Ganz einfach gesagt, damit würde man die Moore überfordern. Dann gilt es auch zu berücksichtigen, dass eben nicht jedes Moor alle Leistungen erbringen kann. Das hängt alles sehr stark von dem Einzugsgebiet ab, von der Lage des Moores im Einzugsgebiet, von der Größe der Moore im Vergleich zur Einzugsgebietsfläche, aber auch von ihrer Einbindung in das Abflussregime eines Einzugsgebietes. Moore können im Bypass zu den Hauptabflusslinien liegen, sie können sich in einem Kopfeinzugsgebiet befinden oder am Ausgang eines Einzugsgebietes. Und je nachdem kann die Bedeutung daraus resultierend eine andere sein.

Ein Moor in einem Kopfeinzugsgebiet, also den sogenannten Headwater-Catchments, funktioniert eben ganz anders als ein Moor am Ausgang eines Einzugsgebietes in einer Niederung. Das wird leider sehr oft zu wenig differenziert und auch zu sehr pauschalisiert, und es wird so getan, als ob jedes Moor alles leisten kann, jedoch dem ist mit Sicherheit nicht so. Wenn wir hierzu einmal in den deutschsprachigen Raum schauen, so gibt es dazu leider auch nicht sehr viel Literatur, die sich speziell mit dem Wasserhaushalt von Mooren befasst und deren Einbindung in die Einzugsgebiete und diese Differenzierung vornimmt. In den klassischen Lehrbüchern zur Hydrologie spielen Moore eigentlich eher eine untergeordnete Rolle. In anderen Büchern, die jetzt speziell aus der Moorkunde kommen, da wird der Wasserhaushalt oder die Hydrologie nur als ein Aspekt von vielen behandelt.

Das ist vielleicht so ein bisschen mit der Grund, warum dort so ein kleines Defizit bei uns hier zu verzeichnen ist.

International gibt es da schon einige viel detailliertere und bessere Veröffentlichungen, die auch sehr einfach und anschaulich diese Zusammenhänge von Moor und Einzugsgebiet betrachten und die Unterschiede zwischen den Mooren viel besser herausarbeiten. Was dann dabei immer noch berücksichtigt werden muss, ist die Abhängigkeit des Moores vom Einzugsgebiet und dass alle Veränderungen, die im Einzugsgebiet und in der Wasserbewirtschaftung des Einzugsgebietes stattfinden oder stattgefunden haben, sei es Entnahmen von Oberflächen und Grundwasser oder Aufstauung von Flüssen oder auch Landnutzungsänderungen sind ganz wesentlich, dass das alles eben auch erhebliche Auswirkungen auf den Wasserhaushalt des Moors hat und damit auch auf die Funktionen, die so ein Moor einnehmen kann. Die sogenannten Ökosystemleistungen, die ein Moor leisten kann, die sollte man eben immer sehr differenziert betrachten und nicht pauschalisieren. Das muss man auch berücksichtigen, wenn man sich zum Beispiel mit dem Wasserhaushalt eines Moores und seiner Funktion in den Tieflandeinzugsgebieten beschäftigt.

Wenn ich hierzu noch ein Beispiel nennen darf: Es ist ja fast schon ein Mythos, der auch immer wieder sehr oft zu hören und zu lesen ist, dass Moore die Entstehung von Hochwasser vermeiden können. Also das wäre was die Moore und ihre Ökosystemleistungen betrifft, viel zu viel verlangt. Dafür gibt es auch meiner Meinung nach überhaupt keine ausreichenden Nachweise. Ich kenne hierzu dagegen Publikationen aus dem nordamerikanischen Bereich, die zeigen, dass Moore in diesen sogenannten Kopfeinsatzgebieten sogar eher Hochwasser verstärkend wirken. Dafür muss man sich zunächst einmal anschauen, wie und wo Hochwässer entstehen. Sie entstehen grundsätzlich, wenn sehr viel Niederschlag mit hoher Intensität und in großer Menge in einer Region mit entsprechend ausreichend Gefälle, also in einer bergigen Region fällt und so schnell viel Wasser in Gerinnen zusammenlaufen kann. In solchen Regionen finden wir, wenn dort Moore vorkommen, vorrangig Hangmoore, die, wie der Name schon sagt, auch eine geneigte Oberfläche haben. Wenn ihr Wasserhaushalt intakt ist, sollten sie auch ganz gut mit Wasser gesättigt sein, also auch schon vor dem Starkregen. Wenn nun auf diese Hangmoore viel Niederschlag fällt, sind sie sehr schnell vollständig gesättigt. Das Wasser fließt oberflächlich ab, nach unten sind sie dicht, da kann kaum Wasser versickern. Das wurde schon mehrfach aufgezeigt, dass dann dort zum Beispiel dieser sogenannte „pistenflow“ auftritt und der Abfluss noch beschleunigt wird.

Ein gut durchlässiger Waldboden kann da durchaus viel größere Retentionswirkungen haben. Und im Tiefland, wo andere Moortypen dominieren, die ein sehr geringes Gefälle haben, und das Wasser auch sehr langsam abfließt, wären ja theoretisch Voraussetzungen für die Vermeidung einer Hochwasserentstehung gegeben. Im Tiefland entstehen aber eigentlich keine Hochwässer. Wenn dort Hochwasserwellen mit den Flüssen auch im Tiefland ankommen, dann fluten sie im Idealfall die großen Flussauen und nicht die Moore, auch wenn es dort vermoorte Flächen in den Auen gibt. In den Auen können dann Wasserstände von ein, zwei Meter über Gelände eintreten und so können auch große Wassermengen gespeichert werden. In den Mooren haben wir so hohe Wasserstände typischerweise nicht. Daher kann ein Moor auch nicht vergleichsweise so viel Wasser für kurze Zeit aufnehmen wie eine Flussaue. Hier wird in meinen Augen oft-

mals eben nicht korrekt genug argumentiert und man geht von falschen Vorstellungen aus.

Wenn man an das letzte Hochwasser der Spree im Juni 2013 denkt, das im Spreegebiet eigentlich nicht so oft vorkommt, so ist dies durch große Niederschläge im Lausitzer Bergland entstanden. Als dann die Hochwasserwelle im Spreewald, eines der bekanntesten Feuchtgebiete in Deutschland, eintraf, haben sich die Wassermassen großflächig in dem Feuchtgebiet verteilt und wurden zum großen Teil auch zurückgehalten. Das Wasser floss dann zeitlich verzögert und langsam unterhalb des Spreewald ab und es gab unterhalb des Spreewalds praktisch kein Hochwasser mehr, nur noch für die Jahreszeit hohe Abflüsse. Viele Flächen im Spreewald standen jedoch sehr lange, sehr tief unter Wasser, zum Teil bis ins nächste Frühjahr. Die Retentionswirkung des Feuchtgebietes hatte also sehr gut gewirkt. Aber der Spreewald ist eben auch kein typisches Mooregebiet. Der Spreewald ist eine Binnen-aue, die im Hochwasserfall wie eine Flussaue funktioniert, auch wenn es im Spreewald große, vermoorte Flächen gibt. In diesem Fall war es eindeutig die Auenfunktion und nicht die Wirkung des Moores, welche die Retentionseffekte hatte.

Es gibt aber auch noch einen anderen Aspekt, den man nicht vergessen darf, wenn man über die Bedeutung oder die Rolle der Moore in Tieflandeinzugsgebieten spricht. Aus rein wasserwirtschaftlicher Betrachtung heraus sind Moore natürlich auch Wassernutzer in unseren durchbilanzierten Einzugsgebieten, in denen die Wasserentnahmen aus Gewässern und Grundwasser alle behördlich genehmigt sind und das verfügbare Wasserdargebot praktisch aufgeteilt ist. Man darf daher nicht vergessen, dass Moore im Sommerhalbjahr auf Zuflüsse aus ihren Einzugsgebieten angewiesen sind, um einen intakten Wasserhaushalt aufrecht erhalten zu können.

Moore verdunsten also per se erst einmal sehr viel Wasser. So wie Gewässer zum Beispiel einen ökologisch notwendigen Mindestabfluss brauchen, benötigen Moore auch einen Wasserzufluss. Nur die Speicherung von Wasserüberschüssen im Winter reicht nicht aus, ihren Wasserbedarf im Sommer zu decken. Ein Moor gibt in Zeiten mit Wasserknappheit auch kein zusätzliches Wasser mehr ab, zumindest fließt unten immer weniger raus als oben rein fließt, mal ganz vereinfacht gesagt. Dass Moore Niedrigwasserabflüsse in Trockenperioden stabilisieren, ist daher auch ein nicht ausreichend bewiesener Mythos bzw. es gilt nicht für jedes Moor.

Mit ihrem Wasserbedarf stehen die Moore natürlich auch in Konkurrenz zu anderen Wassernutzern im Einzugsgebiet. Gerade in Zeiten mit knapp werdendem Wasserdargebot steckt dann natürlich auch eine Menge an Konfliktpotenzial darin. Ein gutes Beispiel hierzu ist auch wiederum der Spreewald. Dort fließen in den Sommermonaten viele Millionen Kubikmeter Wasser über die Spree aus dem Einzugsgebiet in den Spreewald, werden über die Fliese im Gebiet verteilt, aber aus dem Gebiet fließt oft nur noch sehr wenig Wasser wieder heraus. Wenn man zum Beispiel Abgaben aus der Talsperre Spremberg oberhalb des Feuchtgebietes anschaut, die speziell auch für die Stabilisierung des Spreezuflusses für Berlin dort abgegeben werden, dann werden die zum größten Teil im Spreewald verbraucht. Wenn man das verhindern wollte, müsste man das Wasser um den Spreewald herumleiten. Das gehört somit sicherlich auch zur Wirkung eines Feuchtgebietes im Einzugsgebiet.

Jetzt haben Sie sehr anschaulich die Rolle von Mooren im Wasserhaushalt beschrieben. Sehen Sie denn Chancen, aber auch auf der anderen Seite Probleme, dass die Moore wieder ihre ursprüngliche Rolle, also die Regulierung des Wasserhaushaltes einnehmen können? Stichwort hier vielleicht Moorschutzkonzepte, zum Beispiel in Mecklenburg-Vorpommern werden diese ja angegangen oder umgesetzt.

Also, ich würde es mal so sagen: Chancen, dass sich die Situation der Moore verbessert, sehe ich schon aufgrund ihrer Bedeutung als Ökosystem und für den Klimaschutz. Auch wenn die deutschen Moore jetzt kaum das Weltklima retten werden. Aber beides hat natürlich eine sehr große Bedeutung und auch zukünftig eine noch zunehmende Bedeutung. Beides funktioniert nur, wenn der Wasserhaushalt der Moore intakt ist. So wie man die Bedeutung von Biotopen und Artenschutz jetzt immer mehr erkannt hat und beachtet, hat man in diesem Kontext natürlich auch gleichzeitig die Bedeutung der Moore erkannt. Das hoffe ich zumindest. Daher ist der erste Schritt immer den Wasserhaushalt in Ordnung bringen. Skeptischer bin ich vielleicht, was die ursprüngliche Rolle der Moore im Wasserhaushalt betrifft, und ob sie die wieder einnehmen können, so wie sie es vielleicht vor einigen Jahrhunderten mal getan haben. Das sehe ich eigentlich nicht ganz so. Dazu gab es viel zu viele Veränderungen in Folge von Landnutzungsänderungen, Wasserentnahmen, Flussumleitungen, usw. Dies hat alles Auswirkungen, auch auf den Wasserhaushalt der Moore und ihre Funktionen. Dazu kommen dann noch die schon genannten Veränderungen im Klima, die vielleicht sogar noch größere Auswirkungen haben können, wie wir dies bereits jetzt häufig erkennen müssen.

Da kann es durchaus sein, dass in vielen Regionen – und Brandenburg sehe ich dabei besonders betroffen – einfach nicht mehr ausreichend Wasser verfügbar sein wird, um alle Moore, die es dort einmal gab, und gibt, dann noch zu erhalten. In meinen Augen ist es ein großer Irrglauben zu denken, man beendet die Entwässerung der Moore und dann funktioniert alles wieder, wie es vorher einmal war. Ich bin eher überzeugt, es wäre besser und ehrlicher zu sagen, dass wir möglichst viele Moore schützen und erhalten wollen, weil sie eben wichtige Ökosysteme sind, und dass deren Erhalt sehr wichtig ist.

Die Klimawirkung ist von außerordentlicher Bedeutung und die Voraussetzung dafür ist ein intakter Wasserhaushalt im Moor und dafür muss man im Kontext der Wasserbewirtschaftung im gesamten Einzugsgebiet auch etwas tun. Darauf muss man gut vorbereitet sein, dies planen und dann umsetzen. Ein einfaches Zurückdrehen der Zeit und eine Wiederherstellung der ursprünglichen Situation, das wird nicht funktionieren. Man darf eben auch nicht vergessen, dass das ein sehr, sehr langwieriger Prozess sein kann, bis aus einem entwässerten, degradierten Moor wieder ein wachsendes Moor geworden ist, welches auch eine Netto CO₂-Senke ist. Insbesondere sollte man das nicht vergessen, wenn es um die Erreichung kurzfristiger politischer Ziele geht.

Um all diese Ziele zu erreichen, ist der moortypische Wasserhaushalt erforderlich und das bedarf eben entsprechender Maßnahmen. Wie schon gesagt, wir dürfen nicht erwarten, dass bei Wiederherstellung des Wasserhaushaltes der Moore alles sogleich wieder in Ordnung gebracht ist, und dass wir dann keine Probleme mehr im Wasserhaushalt unserer Einzugsgebiete haben.

Hoch- und Niedrigwässer werden aufgrund der klimatischen Veränderung zukünftig nicht zu vermeiden sein. Die Wasserbewirtschaftung im Einzugsgebiet wird zudem auch nicht ein-

facher, auch wenn wir die Moore renaturieren. Trotzdem ist es notwendig, dass wir es machen. In meinen Augen ist das größte Problem in der großflächigen Umsetzung eigentlich nach wie vor der Widerstand von Flächennutzern und Eigentümern gegen geplante Wiedervernässungen oder die Anhebung der Wasserstände. Diese befürchten unter anderem den Wegfall ihrer Flächen für die zukünftige Nutzung oder eine Entwertung ihrer Flächen, auf die sie jedoch zum Teil wirtschaftlich auch angewiesen sind. Diese Sorgen kann man auch durchaus nachvollziehen. Hinzu kommen die hohen Kosten für Flächenerwerb oder auch notwendige wasserbauliche Arbeiten. Das ist zumindest meine Erfahrung aus den letzten 30 Jahren Forschung auf diesem Gebiet.

Wir haben jetzt über die Bedeutung von Mooren hinsichtlich ihrer Ökosystemleistung, aber auch zum Wasserhaushalt gesprochen. Erkennen Sie in Deutschland einen Trend hinsichtlich der Wiedervernässung von Mooren?

Auf jeden Fall. Es gibt schon sehr, sehr viele Projekte, die dort angegangen wurden. Oftmals sind sie natürlich auch noch im Anfangsstadium und man weiß noch nicht, ob sie sich auch wirklich erfolgreich entwickeln werden, denn es gab auch schon viele Fehlversuche. Dies ist auch sicherlich kein Vorhaben, das nur einmal angestoßen werden muss und dann von alleine läuft. Denn dies ist auch langfristig mit Aufwand sowie mit Kosten verbunden. Der Trend geht aber schon eindeutig in diese Richtung, dass man versucht, den Wasserhaushalt der Moore wieder standortgerechter zu betreiben, dabei auch möglichst die Treibhausgasemissionen zu reduzieren und den Erhalt dieser Gebiete langfristig zu sichern. Denn wenn die Moorflächen weiterhin so entwässert und genutzt werden wie in den letzten 50, 100 Jahren, dann sind diese Flächen irgendwann verschwunden.

Wenn wir jetzt abschließend einmal auf das ZALF schauen, welche Projekte zum Thema Feuchtgebiete bzw. Moore laufen denn derzeit dort? Oder sind auch andere Vorhaben noch in Planung, die sie am ZALF entwickeln möchten?

Wir haben hierzu zum Beispiel derzeit am ZALF ein Projekt am Laufen, wo wir mittels Lysimeteruntersuchungen noch besser die Zusammenhänge zwischen Wasserhaushalt, Grundwasserregime, Stoffumsetzungsprozessen und Treibhausgasemissionen auf einem stark degradierten Anmoor Standort untersuchen. Das ist kein typischer Moorstandort mehr, gehört aber zu den anfangs schon genannten organischen Böden und hat flächenmäßig eben auch durchaus seine große Bedeutung. Diese daraus gewonnenen Erkenntnisse sollen unter anderem dazu dienen, die unterschiedlichen Prozesse noch besser zu verstehen und dann vorhandene Agrarökosystem-Modelle hier im Hause zu verbessern, um diese dann für großflächige Aussagen auch noch besser anwenden zu können.

Wir beginnen auch zudem gerade ein neues Projekt, wo es um den Anbau von Paludikultur Pflanzen auf degradierten Moorböden geht. Paludikultur-Pflanzen, sind Pflanzen, die mit sehr hohen, moortypischen Wasserständen klarkommen und deren Biomasse aber verwertet werden kann, sei es als Baustoff, Rohstoff für verschiedene Produkte oder auch energetisch. Damit soll praktisch den Flächennutzern eine Nutzungsalternative zur reinen Wiedervernässung und Nutzungsaufgabe geboten werden, die dann auch moorverträglich ist. Das wiederum könnte helfen, die Akzeptanz von Moorrenaturierungen zu verbessern.

Das Projekt ist ein großes Verbundprojekt, bei dem sehr viele Projektpartner mitwirken und die unterschiedlichsten Aspekte auch über einen längeren Zeitraum untersuchen. Das Projekt hat eine Laufzeit von zehn Jahren, was auch nicht oft vorkommt. Wir am ZALF bearbeiten u. a. die hydrologischen Fragestellungen in diesem Projekt.

Dr. Thomas Lüllwitz, HyWa-Redaktion:

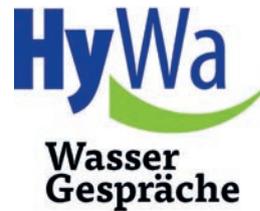
Lieber Herr Dr. Dietrich, vielen Dank für das sehr interessante Gespräch mit Ihnen sowie für Ihre Bereitschaft, sich zu dem Thema "Feuchtgebiete & Moore" mit mir in dem Podcast zu unterhalten.

Wir haben eindrucksvoll dargelegt bekommen, wie bedeutend Moorlandschaften sind. Desgleichen haben wir eindrucksvoll Möglichkeiten zur Wiederherstellung von Mooren kennengelernt sowie die Bedeutung des Moorschutzes nochmals sehr versiert dargelegt bekommen.

In der kommenden Folge spreche ich mit Prof. Axel Bronstert vom Institut für Klimatologie & Hydrologie der Universität Potsdam um mit ihm über das Thema "Starkregen & Sturzfluten" zu sprechen. Dabei wird es sowohl um deren Ausprägung sowie auch um ihre Schadenswirkung gehen. Des Weiteren wird es um die Einstellungen und Möglichkeiten zur Reduzierung aber auch der Begegnung auf intensivere Niederschläge in Deutschland gehen.

Weitere Informationen:

Arbeitsgruppe Tieflandhydrologie und Wassermanagement, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung/ZALF
<https://www.zalf.de/de/struktur/pb2/Seiten/Arbeitsgruppen.aspx#x22x>



Dieses Interview ist auch Teil des HyWa-Podcasts "WasserGespräche".

WasserGespräche – der Podcast der Fachzeitschrift "Hydrologie & Wasserbewirtschaftung"

Hier trifft sich die HyWa-Redaktion etwa einmal im Quartal mit Fachleuten und Experten aus dem gesamten Bereich der Gewässerkunde und Hydrologie, aber auch aus den Bereichen Limnologie & Grundwasser, Klimatologie & Meteorologie sowie Geologie & Bodenkunde und spricht dabei mit ihnen über aktuelle Themen und Fragestellungen sowie interessante Forschungsfelder rund um diese Themenbereiche.

Der Podcast ist erreichbar auf:

- HyWa-Internetseite:
<https://www.hywa-online.de/podcast-wassergespraech/>
- Apple Podcasts:



<https://podcasts.apple.com/de/podcast/hywa-wassergespraech/id1642502969>

- Spotify:



<https://open.spotify.com/show/0AgygEJKHu99IrmHwtb4GU>

Wir wünschen viel Interesse beim Zuhören.

Dr. Thomas Lüllwitz/Schriftleitung

Projektbericht

Hochwasserrisiken verstehen und beeinflussen – Das Schweizer Mobiliar Lab für Naturrisiken

1 Präambel

Hochwasser, deren Gefahren und Risiken, gehen alle an: Gesellschaft, Wirtschaft und Politik. Dies bestätigt allein schon die Tatsache, dass in der Schweiz in den vergangenen vierzig Jahren vier von fünf Gemeinden von einer Überschwemmung betroffen waren. Der Praxisbezug der Hochwasser ist also sehr groß. Umso wichtiger ist es, wissenschaftliche Erkenntnisse und Fortschritte für die Praxis aufzubereiten und verfügbar zu machen. An dieser Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Praxis arbeitet das Mobiliar Lab für Naturrisiken an der Universität Bern. Es wurde vor nunmehr zehn Jahren durch das Oeschger Zentrum für Klimaforschung der Universität Bern und die Mobiliar Versicherung initiiert und seither durch sie finanziert. Es gilt aber der strikte Grundsatz, dass die Forschungsprojekte und -methoden unabhängig vom Versicherungsgeschäft definiert werden. Die Forschungsfreiheit ist vollumfänglich garantiert. Im Rahmen dieses Brückenschlags zwischen Wissenschaft und Praxis hat das Mobiliar Lab einige praxisnahe und kostenlos zugängliche Werkzeuge vor allem im Bereich des Hochwasserrisikos erarbeitet. Sie bilden den Hintergrund des folgenden kurzen Berichts.

2 Einleitung

2.1 Hochwasserschutz zwischen Gefahr und Risiko

Die Verminderung des Hochwasserrisikos ist die Hauptaufgabe des zeitgemäßen Hochwasserschutzes. Das Hochwasserrisiko ist wie folgt definiert:

$$R = G \cdot E \cdot V$$

mit: R – Risiko; G – Gefahr; E – Exposition; V – Vulnerabilität

Die Gefahr stand lange Zeit im Mittelpunkt des Hochwasserschutzes. Sie beschreibt, wie häufig ein Hochwasser in welcher Intensität auftritt und welche Gebiete dabei überschwemmt werden. Die Exposition beziffert den Wert der von einer Überschwemmung betroffenen (exponierten) Gebäude, der Schaden genommen hat. Mit einem Simulationsexperiment an der Emme, einem voralpinen Fluss im Übergang zum Schweizer Mittelland mit starker Hochwasserreaktion, lässt sich die Interaktion dieser Faktoren aufzeigen, und zwar für einen 14 km langen Flussabschnitt im Bereich der Kleinstadt Burgdorf (Abb. 1 aus

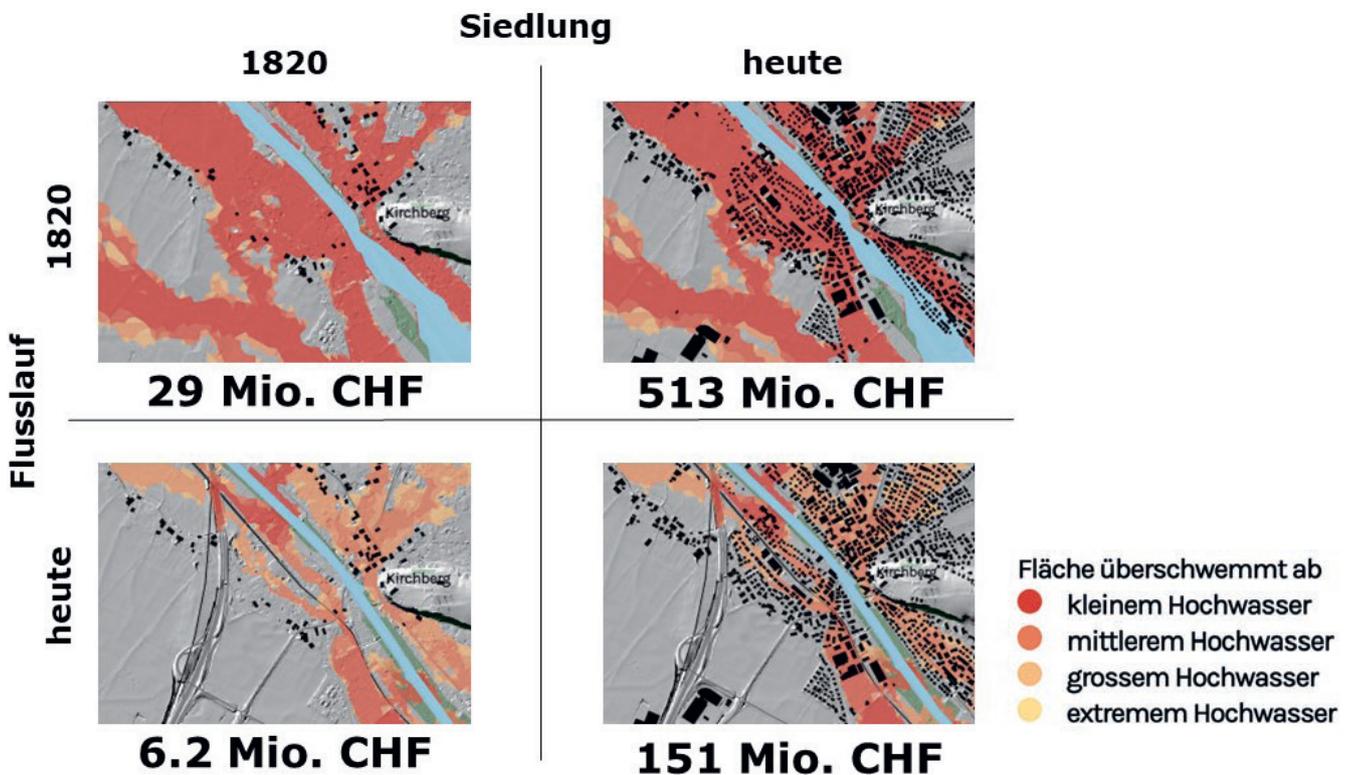
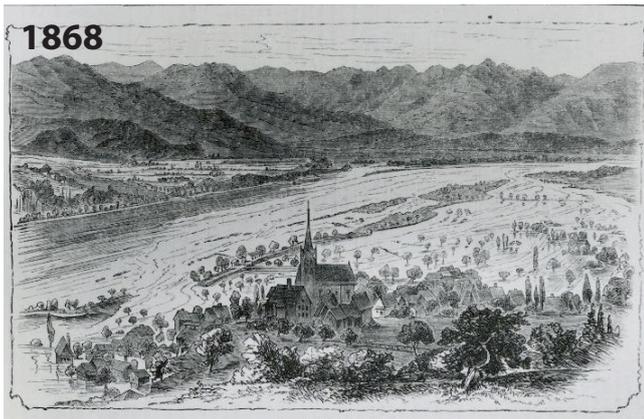


Abbildung 1

Simulation der Interaktion zwischen Siedlungsbestand im Überflutungsbereich und der Verbauung am Beispiel der Emme in Burgdorf. Der räumliche Simulationsperimeter ist größer als der dargestellte Kartenausschnitt. Die Zahlen beziffern das Schadensausmaß eines großen Ereignisses. Sie beziehen sich auf den ganzen Perimeter entlang der Emme mit einer Flusslänge von 14 km.

**Abbildung 2**

Ausgewählte Bilder und Fotos aus dem "Überschwemmungsgedächtnis". 1868: Montlingen, St. Galler Rheintal (Staatsarchiv St. Gallen). 1987: Attinghausen, Kanton Uri (ETH-Bibliothek Zürich, Bildarchiv). 2005: Thun, Kanton Bern (Markus Zimmermann).

risikodynamik.hochwasserrisiko.ch/). Ausgehend von der heutigen Situation (Karte unten rechts) wurde die Situation um das Jahr 1820 rekonstruiert. Die vier Situationen wurden anschließend mit einem hydrodynamischen Modell simuliert und darauf basierend die Sachwerte der exponierten Gebäude bestimmt (E, auch oft als Schadenpotenzial bezeichnet). Aus den sich daraus ergebenden vier Situationen lässt sich die Wirkung der Risikotreiber separat ausweisen und quantifizieren.

In der Ausgangssituation um das Jahr 1820, bei der die unverbauete Emme große Flächen überflutete, kann ein großes Ereignis Schaden von bis zu CHF 29 Mio. verursachen. Mit der Eindämmung der Emme verkleinerte sich das mögliche Schadenausmaß bei gleichem Baubestand massiv (CHF 6,2 Mio.). In der Realität expandierten Siedlungsgebiet und der Baubestand sehr stark (Abb. 1, unten rechts), sodass sich das mögliche Schadenausmaß trotz des baulichen Hochwasserschutzes stark erhöhte (CHF 151 Mio.). Das Schadenpotenzial E wurde zum Treiber des Risikos, eine Tatsache, die sich schweizweit beobachten lässt. Aber auch der bauliche Hochwasserschutz hatte einen beachtlichen Effekt, reduzierte er doch das mögliche Schadenausmaß eines großen Ereignisses um rd. CHF 400 Mio., von CHF 513 Mio. auf CHF 151 Mio. Gemäß den Risikoberechnungen besitzen diese Maßnahmen ein sehr gutes Kosten-Nutzen-Verhältnis.

3 Vom gefahrenorientierten zum risikobasierten Hochwasserschutz – Kurzer Abriss der Geschichte des Hochwasserschutzes in der Schweiz

Seit der Gründung der Schweiz im Jahr 1848 haben drei große Hochwasserereignisse den Hochwasserschutz geprägt und zu grundsätzlichen Wechseln der Strategie geführt (Abb. 2, ueberschwemmungsgedaechtnis.hochwasserrisiko.ch/). Wieso führten gerade diese Hochwasser zu einem Paradigmenwechsel? Untersuchungen an der Universität Bern belegen, dass neue Paradigmen nicht über Nacht entstehen, sondern sich von langer Hand jenseits jeglichen politischen Handlungsdrucks als neue Lösungsansätze entwickeln (BRÖNNIMANN et al., 2016). "Sind solche Ansätze vorhanden, kann ein Hochwasserereignis als Katalysator des politischen Wandels einen Raum der Aufmerksamkeit schaffen, der es den verschiedenen Akteuren ermöglicht, ihre Anliegen politisch durchzusetzen", so die These der Forschenden.

3.1 Das Hochwasser vom Jahr 1868

Nach einem ohnehin bereits regenreichen September 1868 traten innerhalb einer Woche zwei sehr starke Niederschlagsereignisse auf. Betroffen waren vor allem die Alpensüdseite (Tessin) und die nordalpinen Kantone in der Nähe des Alpenhauptkamms (Wallis, Uri und Graubünden). Ereignisse, charakterisiert durch eine südliche Anströmung der Alpen mit warmer und

sehr feuchter Mittelmeerluft, gehören zu den katastrophalsten der Schweiz. Nie war der von einem Hochwasser verursachte Schaden – knapp CHF 1 Mrd.¹ zwischen 1800 und 1978 größer (BRÖNNIMANN et al., 2018). Es übertraf die Bewältigungs- und Regenerationsfähigkeit der lokalen Gemeinwesen, die damals vor allem für den Hochwasserschutz zuständig waren. Unter dem Schock des Ereignisses erarbeitete der Bundesstaat das erste Wasserbaupolizeigesetz, welches am 22. Juni 1877 – nur zehn Jahre nach dem Ereignis – in Kraft trat und den baulichen Hochwasserschutz in den Vordergrund stellte. Entscheidend für seine Umsetzung war die Ausschüttung von namhaften Subventionen an den Bau von Hochwasserschutzmaßnahmen. In der Folge wurden die Fließgewässer gesamtschweizerisch verbaut, was das Hochwasserrisiko entscheidend verminderte (Abb. 3, blaue Kurve). Die getroffenen Hochwasserschutzmaßnahmen – verstärkt durch die großflächigen Verbesserungsmaßnahmen in der Landwirtschaft mit Güterzusammenlegungen, Einbau von Drainagen und Eindolungen – veränderten die Ökomorphologie der Fließgewässer tiefgreifend: Heute sind noch 54 % der Fließgewässer natürlich/naturnah, 24 % wenig beeinträchtigt, 10 % stark beeinträchtigt, 5 % künstlich und 7 % eingedolt. Zudem stören im Mittel 1.6 künstliche Querverbauungen pro Laufkilometer die Längsvernetzung und behindern oder verunmöglichen die Fischdurchgängigkeit (ZEH et al., 2009).

In der breiten Öffentlichkeit wurde der bauliche Hochwasserschutz als Erfolgsgeschichte wahrgenommen. Vor allem auch wegen der sogenannten Katastrophenlücke zwischen den Jahren 1882 und 1976 auf der Alpennordseite (PFISTER, 2009), in der schadenbringende Hochwasserereignisse relativ selten waren, ging die Hochwassergefahr weitgehend vergessen. Zudem wurde der Unterhalt der Schutzbauten vernachlässigt. Der Wasserbauer Martin Jäggi brachte es im Jahr 1988 auf den Punkt (NZZ, 1988): *"Es scheint nun aber eine Diskrepanz zu geben zwischen der Beurteilung der Sachlage durch die Fachwelt und der durch die Öffentlichkeit. Jedermann versteht, dass bei einem unkorrigierten Fluss oder Wildbach Überschwemmungsrisiken zu akzeptieren sind. Sobald aber ein Fluss eingedämmt ist und das umliegende Land während einer gewissen Zeit von Überschwemmungen verschont geblieben ist, so gilt das Gebiet, das früher einmal dem Fluss gehört hat, als "sicher"."* Man wolle nichts mehr von einem Restrisiko wissen.

3.2 Das Hochwasser vom Jahr 1987

Aufgrund dieser Ausführung erstaunt es wenig, dass die beiden großen Hochwasser im August 1987 als solche aus dem Nichts wahrgenommen wurden. Entsprechend unvorbereitet war man, entsprechend groß waren die Schäden. Ursache war wie 1868 eine Südanströmung der Alpen, sodass mehr oder weniger die gleichen Regionen betroffen waren. Die Unwetter forderten acht Todesopfer und verursachten Schäden von CHF 1,2 Mrd. (BUNDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, 1991). Dieses Hochwasser lenkte den Fokus vermehrt auf das Schadenpotenzial, das ab den 1950er Jahren entlang der als sicher eingestufteten Flüsse entstand. Wie in der Abbildung 1 am Beispiel der Emme dargestellt, wurde es zum eigentlichen Treiber des Hochwasserrisikos (Abb. 3, orange Kurve). Das Werkzeug "Schadenpotenzial Hochwasser" (schadenpotenzial.hochwasserrisiko.ch/) quantifiziert diesen Treiber aus aktueller Sicht. Es erlaubt Analysen für die gesamte Schweiz, Kantone sowie Gemeinden und Quar-

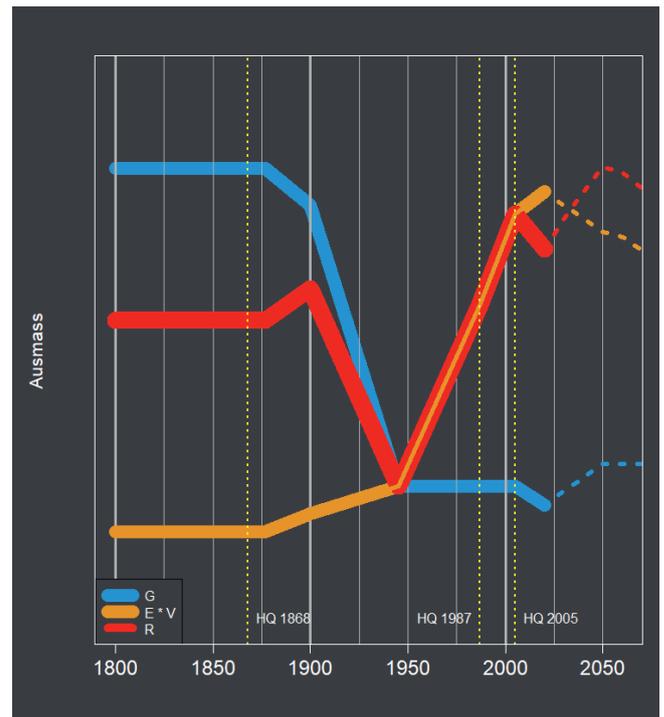


Abbildung 3
Gefahr und Risiko in ihrer zeitlichen Entwicklung

tiere. Schweizweit befinden sich rund 300.000 Gebäude mit einem Neuwert von CHF 500 Mrd. in hochwassergefährdeten Gebieten. Dort leben rd. 1/7 der Schweizer Bevölkerung. Betrachtet man die absoluten Werte, so sticht die Stadt Zürich hervor, wo 3.800 Gebäude, 86.000 Arbeitsplätze und 80.000 Einwohnerinnen und Einwohner durch Hochwasser gefährdet sind. Bei der Karte der Exposition in Abbildung 4 fällt z. B. Kandersteg in den Berner Alpen auf. Hier sind 60 % aller Wohngebäude hochwassergefährdet und drei Viertel aller Arbeitsplätze befinden sich in gefährdeten Gebäuden. Aber auch das einzige Alters- und Pflegeheim liegt in dieser Zone. Zürich und Kandersteg sind zwei charakteristische Stellvertreter für einen mittelländischen und einen alpinen Bezugsrahmen.

In der Rückschau trat das 1987er Hochwasser mit seinen gewaltigen Schäden zu einem geradezu "idealen" Zeitpunkt auf. Es verlieh dem Hochwasserschutz neuen Schub. Vor dem Hintergrund der Umweltschutzdebatte ab den 1960er Jahren entstand im Jahr 1975 der Wasserrechtsartikel, der erstmals das Wasser in seiner Gesamtheit als eigenes Politikfeld verstand (BRÖNNIMANN, 2018). Beim Hochwasserschutz wurde der Fokus auf die Umweltverträglichkeit der baulichen Maßnahmen und – besonders relevant – auf den Einbezug raumplanerischer Elemente gelegt, was einem eigentlichen Paradigmenwechsel gleichkam, indem man bei den Ursachen für das große Hochwasserrisiko, dem Schadenpotenzial, ansetzte. Unter dem Eindruck der Ereignisse des Jahres 1987 trat bereits im Jahr 1991 das Bundesgesetz über den Wasserbau in Kraft. Artikel 1 formuliert die neue Stoßrichtung: *"Die Kantone gewährleisten Hochwasserschutz in erster Linie durch den Unterhalt der Gewässer und durch raumplanerische Maßnahmen."* Neben der Raumplanung steht also auch der Unterhalt der Gewässer, der vor dem Hintergrund der Katastrophenlücke sträflich vernachlässigt wurde, im Vordergrund.

¹ umgerechnet auf das Jahr 2000

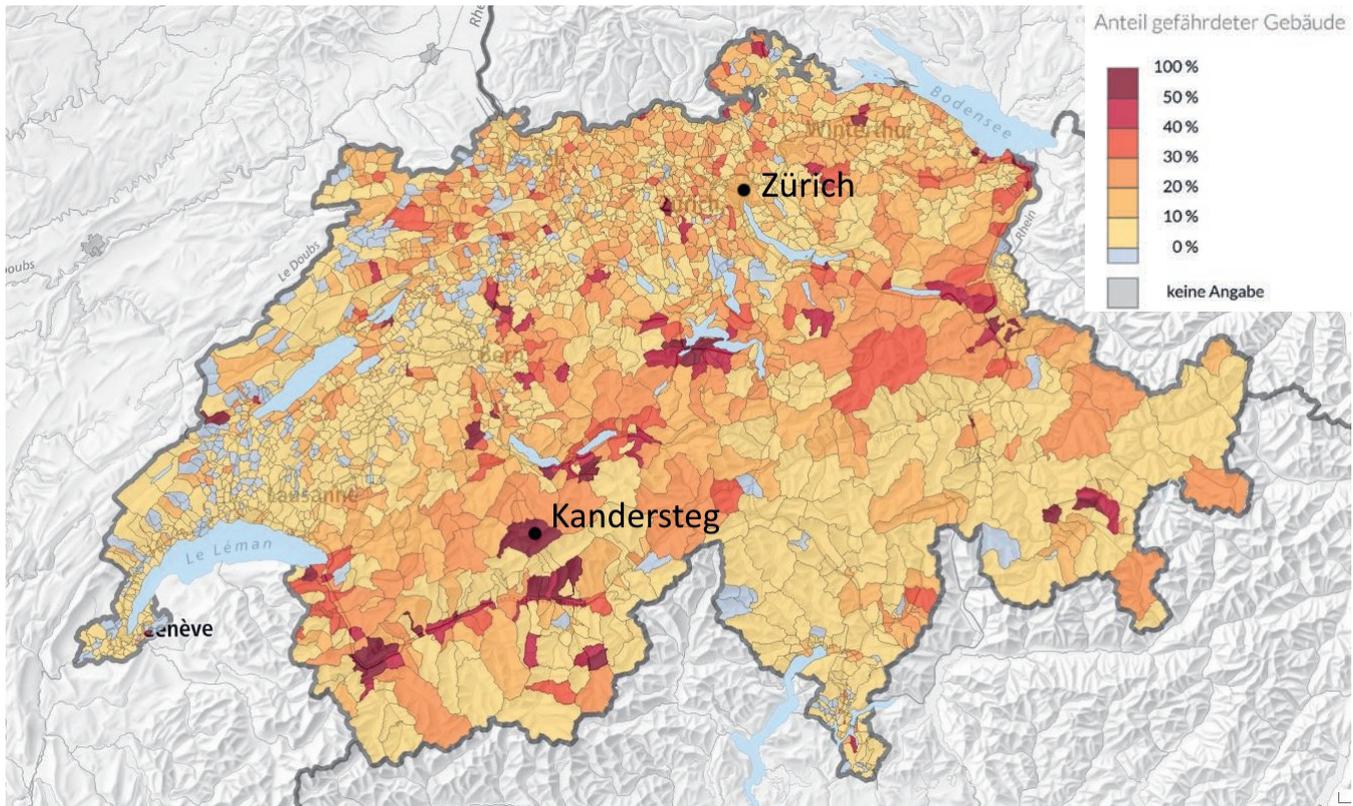


Abbildung 4
Schadenpotenzial Hochwasser

Das raumplanerische Instrument der sogenannten Gefahrenkarten, welche für die Siedlungsgebiete jeder Schweizer Gemeinde zu erstellen waren, bilden das zentrale Element der neuen Hochwasserschutzstrategie. Aufgrund von Intensität und Wiederkehrperiode eines Hochwassers (30, 100 und 300 Jahre) werden die von Überschwemmungen betroffenen Siedlungsgebiete in drei Zonen unterteilt. In der am stärksten gefährdeten roten Zone besteht ein Bauverbot. In der blauen Zone mit einer mittleren Gefährdung werden bei Neubauten Objektschutzmaßnahmen verlangt, während für die gelbe Zone mit der geringsten Gefährdung keine Objektschutzmaßnahmen gefordert sind. Etwa 13 % des Baubestands der Schweiz liegt in einer dieser Gefahrenzonen. Dank der in der roten und blauen Zone geforderten Maßnahmen sind gewisse Erfolge beim Hochwasserschutz zu verzeichnen. Von einem eigentlichen Durchbruch ist man vor allem aus drei Gründen aber noch weit entfernt.

1. Wäre das Bundesgesetz über den Wasserbau 30 bis 40 Jahre früher in Kraft getreten, also zu Beginn der stark expandierenden Siedlungs- und Industrieflächen, hätte das Instrument seine volle Wirksamkeit entfalten können. Dann hätte man von einer eigentlichen Ursachenbekämpfung des Hochwasserrisikos sprechen können.
2. Weil Bauland in der Schweiz ein rares Gut ist und gleichzeitig die flachen flussnahen Gebiete attraktives Bauland darstellen, wurden auch in der Zeit nach dem Erlass des Wasserbaugesetzes in der blauen und gelben Hochwasserzone gebaut, was die Hochwasserschäden weiter ansteigen ließ und die

beschränkte Wirksamkeit der raumplanerischen Ausrichtung des Gesetzes unterstreicht (Abb. 5).

3. In den blauen und gelben Zonen bestehen nach wie vor große Massnahmendefizite: In der blauen Zone werden Objektschutzmaßnahmen nur bei Neubauten verlangt. Im gesamtschweizerischen Mittel sind das 13 % aller Gebäude in dieser Gefahrenzone. Mit dem Werkzeug "Schadenssimula-

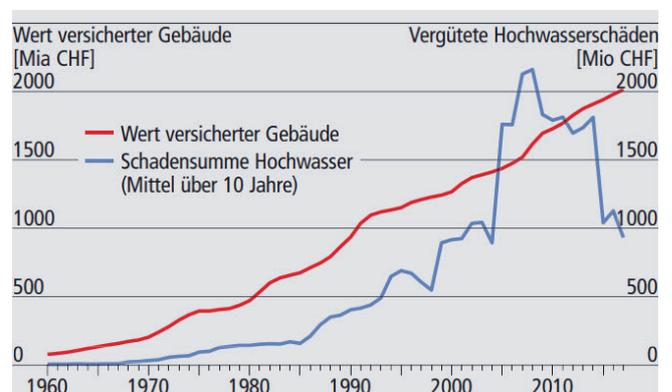


Abbildung 5
Wert versicherter Gebäude (in Mio. CHF, linke Achse) und vergütete Hochwasserschäden (Mittel über die jeweils letzten 10 Jahre in Mio. CHF, rechte Achse) der Jahre 1960 bis 2017 in 18 von 26 Kantonen (aus: BRÖNNIMANN, 2018).

tor" (schadensimulator.hochwasserrisiko.ch/) kann errechnet werden, wie weit sich das Risiko durch die Ausweitung der Objektschutzmaßnahmen auf die bestehenden Gebäude reduzieren ließe. Abbildung 6 beziffert den bestehenden Grad der Risikominderung, wenn ein Drittel aller Gebäude über Objektschutzmaßnahmen verfügten. Bereits diese bescheidene Verbesserung entfaltet ihre Wirkung und belegt, dass Hochwasserschutz nur erfolgreich sein kann, wenn er auch die individuelle Ebene mit Objektschutz einschließt.

Erstaunlich ist, dass der Gesetzgeber für die gelbe Gefahrenzone keine Maßnahmen vorsieht, weil er davon ausgeht, dass die geringen Fließtiefen, die im Hochwasserfall hier auftreten, nicht problematisch sind. Die Realität widerspricht dieser Annahme, werden doch beispielsweise Tiefgaragen oder ebenerdige Bauten schon bei kleinsten Fließtiefen beeinträchtigt. Hinzu kommt, dass die Dynamik des Bauens in dieser Zone am größten war und ist. Heute sind nur etwa 2 % der Gebäude in der gelben Zone mit Objektschutzmaßnahmen geschützt, wie Analysen bei der Entwicklung des "Schadensimulators" zeigen.

3.3 Das Hochwasser vom Jahr 2005

Das Wasserbaugesetz von 1991 muss in der Rückschau als entscheidender, aber letztlich ungenügender Strategiewechsel im schweizerischen Hochwasserschutz angesehen werden. Zwar war die Integration des Raumes ein Schritt in die richtige Richtung, aber es orientierte zu stark nur an der Gefahrenprävention,

die zudem zu wenig konsequent angewandt wurde. Es gelang nicht, das Schadenpotenzial, dem seit den 1950er Jahren in den meisten Regionen wichtigsten Treiber des Risikos, maßgeblich zu reduzieren.

Das "Jahrhunderthochwasser" im August 2005, das die Alpennordseite betraf und zu nie dagewesen Schäden von CHF 3 Mrd. führte, verhalf der im Hintergrund schlummernden Risikokultur und dem damit verbundenen Integralen Risikomanagement zum Durchbruch. Risikokultur erfordert interdisziplinäre Zusammenarbeit, Partizipation, Diskurs und Kommunikation und bedeutet, gemeinsam Verantwortung zu übernehmen und gemeinsam zu handeln. Das Restrisiko, dem bisher zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt wurde, rückte vermehrt in den Fokus. Dies führte in der Folge zu einem Ausbau der Warnung und Alarmierung und zur Erarbeitung von Notfallplänen der Einsatzkräfte. Das extreme und katastrophale Sommerhochwasser des Jahres 2021 in Deutschland ist geradezu ein Aufruf dazu, im Risikomanagement konsequent das Restrisiko mit einzubeziehen. Hierzu leisten neuere Arbeiten am Mobiliar Lab einen substantiellen Beitrag. Sie geben dem Restrisiko ein Bild und unterstützen den Bevölkerungsschutz, sich auf solche Extremereignisse vorzubereiten. Das Werkzeug "Hochwasserdynamik" (hochwasserdynamik.hochwasserrisiko.ch/) visualisiert extreme Hochwasser in ihrem räumlichen und zeitlichen Ablauf. Eine Zoom-Funktion ermöglicht es, diese Extremereignisse sowohl im nationalen Kontext wie auch auf lokaler Ebene z. B. aus der Sicht einzelner Häuser und Wohnquartiere zu betrachten (Abb. 7).

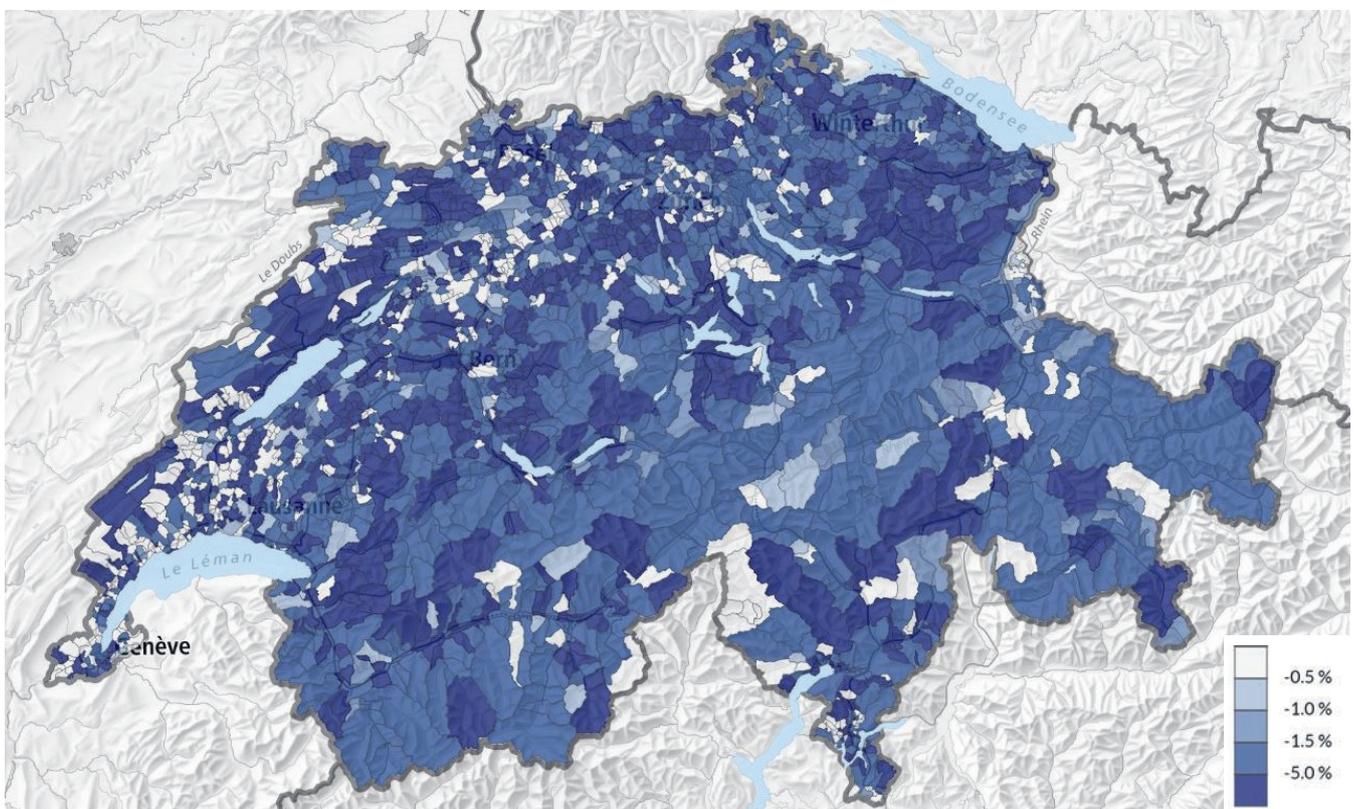
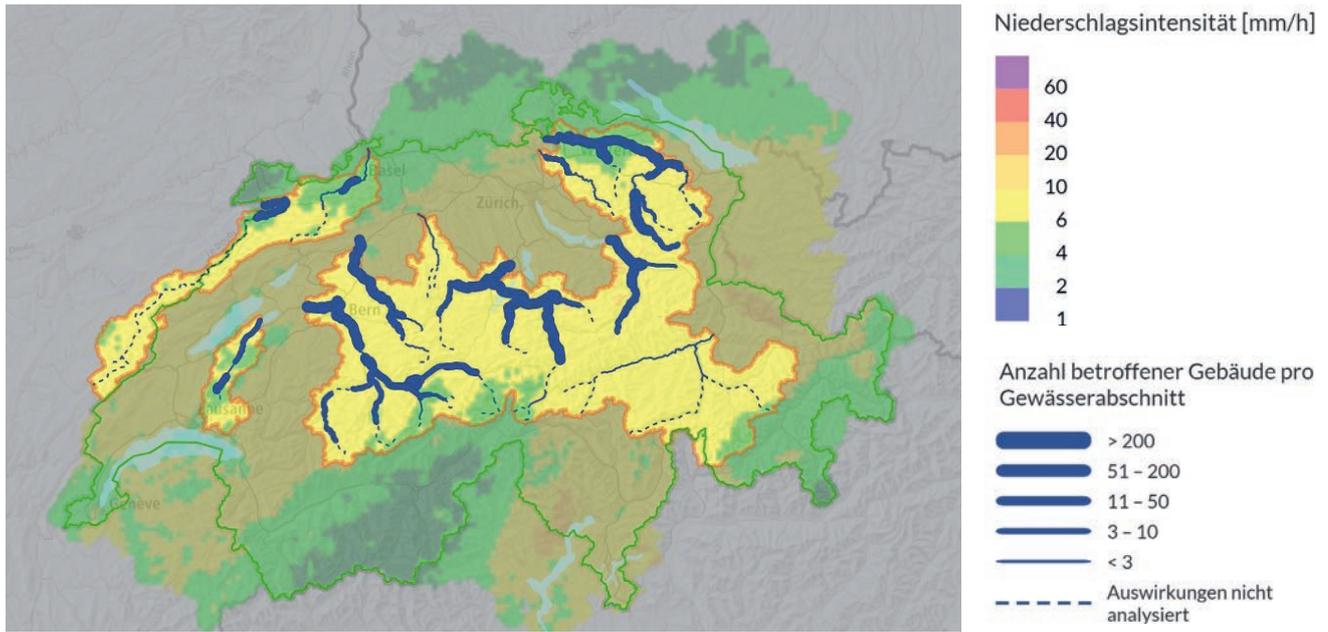
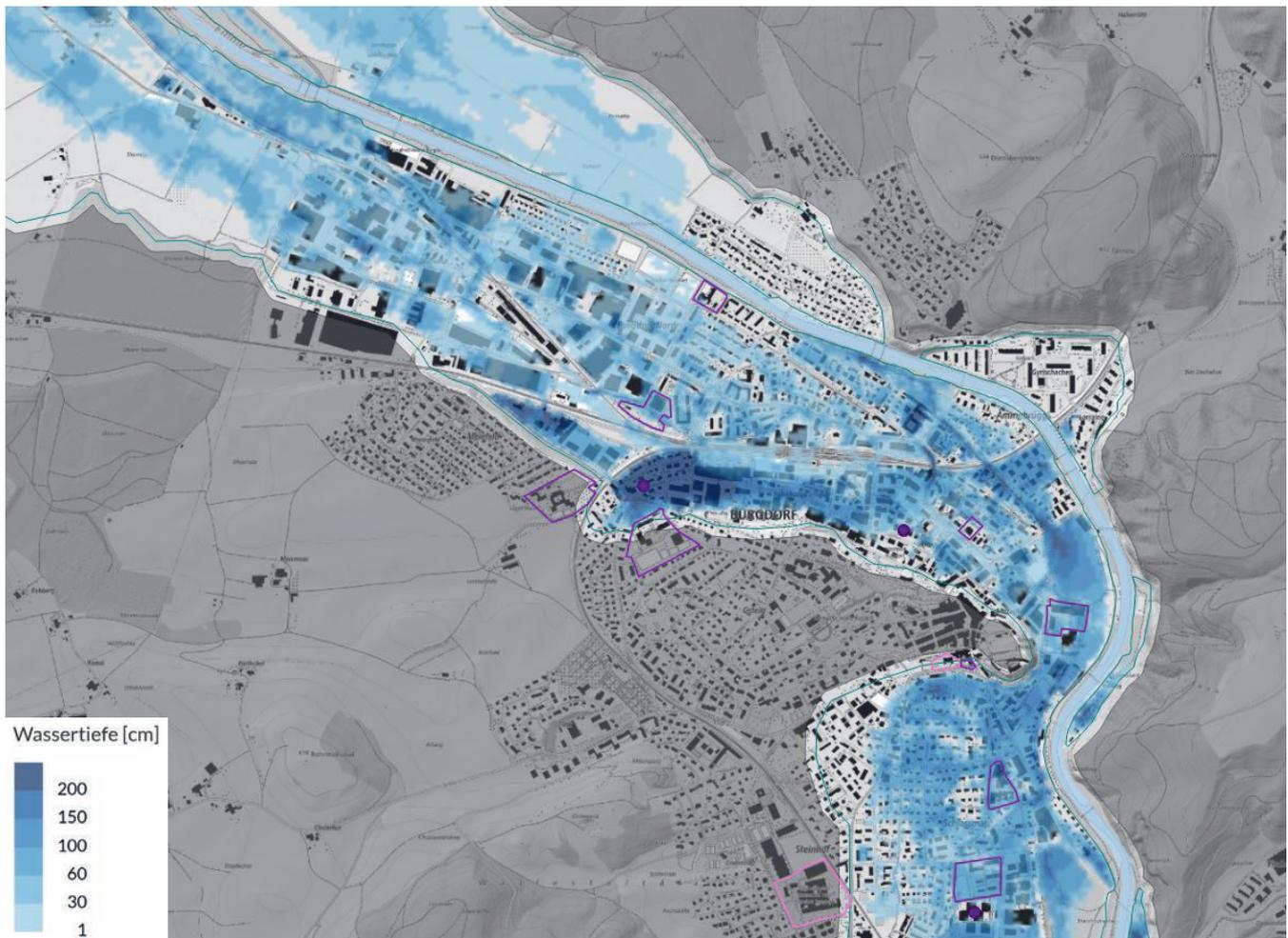


Abbildung 6

Verminderung des Schadenpotenzials in der blauen Zone in einer Situation, in der ein Drittel der Gebäude über einen Objektschutz verfügen und die Hochwassergefahr unverändert bleibt.



Karte: Schlimmstmögliches Szenario in der nationalen Dimension.



Karte: Schlimmstmögliches Ereignis auf lokaler Ebene.

Abbildung 7
Worstcase-Szenarien auf nationaler und lokaler Skala.

Als extreme Hochwasser werden jene betrachtet, die von Niederschlagsereignissen kleiner Wahrscheinlichkeit ausgelöst werden, welche die Schweiz mit ihren großen Niederschlagsmengen großflächig erfassen. Um solche physikalisch plausible Niederschlagsereignisse zu generieren, wurde die "reforecast pooling" – Methode UNSEEN (UNprecedented Simulated Extreme Ensemble; THOMPSON et al., 2017) angewandt, d. h. es wurden extreme Niederschlagszenarien aus einem großen Wetter-Hindcast-Archiv ausgewählt.

Wie die Simulationen aufzeigen, könnten beim schlimmstmöglichen Ereignis Gebäudeschäden zwischen CHF 5 und 6 Mrd. auftreten, was die gesamten ökonomischen Schäden des Jahrhunderthochwassers des Jahres 2005 bei weitem übertrifft (MUNZ et al., 2023).

4 Unterschätzter Oberflächenabfluss

Der klassische Hochwasserschutz konzentrierte sich primär auf die fluvialen Hochwasser. Hingegen stellt der Oberflächenabfluss eine bisher unterschätzte Gefahr dar. Er entsteht, wenn die Niederschlagsintensität die Infiltrationskapazität des Bodens übersteigt (Abb. 8).

Obwohl mehr als die Hälfte der Überschwemmungsschäden auf Oberflächenabfluss zurückzuführen ist, schreiben nur wenige Kantone Objektschutzmaßnahmen vor, um Schäden durch Ober-



Abbildung 8
Auszug aus der Gefährdungskarte "Gefährdungskarte Oberflächenabfluss", Orvin im Kanton Bern (Quelle: map.geo.admin.ch).

flächenabfluss zu reduzieren (BERNET et al., 2017). Aus Sicht der Fallzahlen ist der Oberflächenabfluss demnach bedeutender als fluviale Überschwemmungen. Zu den monetären Schäden tragen letztere hingegen zu rd. 75 % bei (BERNET et al., 2017).

Aus dem Werkzeug "Schadenpotenzial Oberflächenabfluss" lässt sich ableiten, dass 62 %, also rd. 1,3 Mio. Gebäude mit einem Neuwert von CHF 2,3 Bill. Franken in der Schweiz durch Oberflächenabfluss gefährdet sind. In diesen Gebäuden wohnt 76 % der Bevölkerung und arbeitet 89 % der Beschäftigten (oberflaechenabfluss.hochwasserrisiko.ch/).

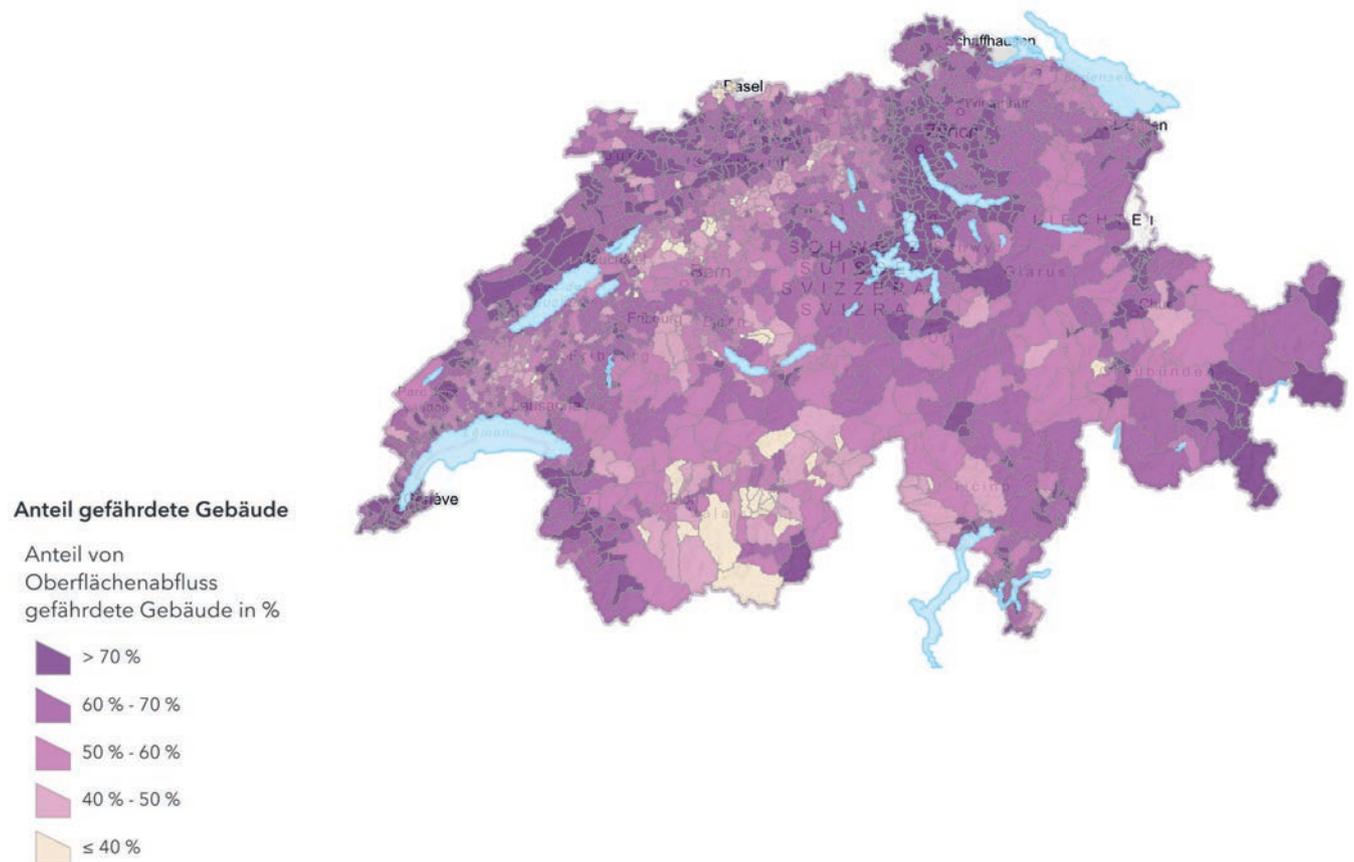


Abbildung 9
Betroffenheit der Schweizer Gemeinden durch Oberflächenabfluss.

Der Oberflächenabfluss wird uns auch in Zukunft fordern: Einerseits ist als Folge des Klimawandels mit heftigeren und häufigeren Niederschlägen zu rechnen und somit auch mit mehr Oberflächenabfluss. Verstärkt wird dieser Prozess durch eine zunehmende Versiegelung und hydrophobe Böden bei langen Trockenphasen. Andererseits sind ein Viertel aller potenziellen Baulandreserven der Schweiz durch Oberflächenabfluss gefährdet.

Häufig überlagern sich die Gefährdung durch Oberflächenabfluss und Hochwasser. So sind in der gelben Hochwassergefahrenzone auch rd. 73 % der Gebäude durch Oberflächenabfluss gefährdet. Die Analysen mit dem Werkzeug "Schadenpotenzial Oberflächenabfluss" dokumentieren den dringenden Handlungsbedarf beim Oberflächenabfluss und die Notwendigkeit, die beiden

Gefahrenprozesse Oberflächenabfluss und fluviale Überschwemmungen beim Risikomanagement integral zu betrachten.

5 Das Hochwasserrisiko beeinflussen

Im Rückblick auf den Hochwasserschutz in der Schweiz erkennt man die zentrale Bedeutung des Schadenpotenzials (Abb. 3), wodurch das Risiko und sein Management, das sich unter anderem am Risikokreis in Abbildung 10 orientiert, immer stärker in den Fokus rückten. Er basiert auf dem Grundsatz "nach dem Hochwasser ist vor dem Hochwasser", macht damit das Risikomanagement zur Daueraufgabe und rückt die aus den abgelaufenen Ereignissen lernende Prävention ins Zentrum.

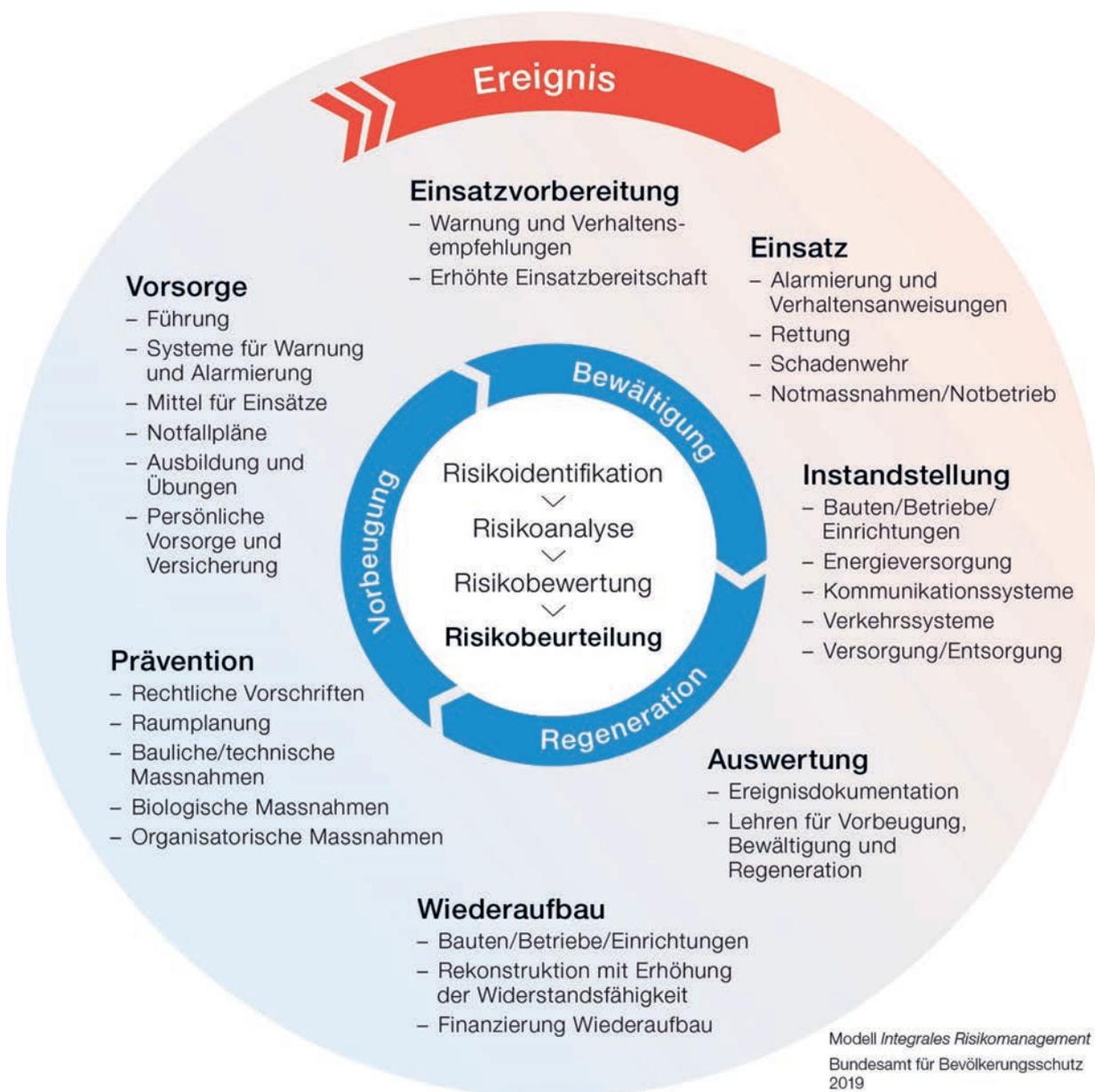


Abbildung 10
 Risikokreis: Die kreisförmige Darstellung illustriert die verschiedenen Elemente des integralen Risikomanagements und ihre Zusammenhänge (Quelle: Bundesamt für Bevölkerungsschutz, 2019).

Seit dem 2005er Hochwasser wurden auch die Hochwasserprognosen und -warnungen stark verbessert und Schwachstellen beim baulichen Hochwasserschutz eliminiert.

Mit welcher Entwicklung ist nun beim Hochwasserrisiko zu rechnen (Abb. 3)? Es ist davon auszugehen, dass die Hochwassergefahr weiter zunehmen wird. Analysen der MeteoSchweiz zeigen, dass die Starkniederschläge an beinahe allen Messstandorten seit dem Jahr 1900 zugenommen haben. Diese auf die Erwärmung der Atmosphäre zurückgehende Entwicklung wird sich im Zuge des Klimawandels verstärken. Zusätzlich führt im Alpenland Schweiz der Anstieg der Nullgradgrenze zu einer Erhöhung der Hochwasser, nimmt doch damit die Wahrscheinlichkeit zu, dass bei einem großen Niederschlagsereignis immer größere Teile der Einzugsgebiete überregnet statt beschneit werden, sodass der flächige Hochwasserbeitrag weiter zunehmen wird. Auf der Gefahrenseite wird es also entscheidend sein, inwieweit es gelingt, den Anstieg der globalen Temperaturen zu stoppen, einem Anstieg "nota bene", von dem die Schweiz überproportional stark betroffen ist.

Aus Sicht des Schadenpotenzials wird entscheidend sein, ob es gelingen wird, die Objektschutzmaßnahmen breit umzusetzen und so die Verletzlichkeit der Gebäude zu reduzieren (Kap. 3.2). Aus raumplanerischer Sicht ist in der Schweiz die Verdichtung des urbanen Wohnraums vor dem Hintergrund des starken Bevölkerungswachstums und der knappen Landreserven eine zentrale Herausforderung, die auch das Hochwasserrisiko beeinflusst. Im "Schadensimulator Hochwasser" können die Gemeinden

simulieren, welche Auswirkungen die Verdichtung auf das Hochwasserrisiko haben wird. Dazu wurde dem Schadensimulator ein Verdichtungsmodell unterlegt.

Gemäß Abbildung 11 führt die Verdichtung in einzelnen Gemeinden zu einer starken Zunahme des Hochwasserrisikos. Diesem engen Zusammenspiel zwischen Verdichtung und Hochwasserrisiko wird im aktuellen gesellschaftlich-politischen Diskurs zu wenig Beachtung geschenkt.

6 Abschließende Gedanken

Für die Lösung heutiger und zukünftiger Herausforderungen im Hochwasserschutz ist die Zusammenarbeit zwischen Forschung und Praxis sehr wichtig. Es besteht dabei sowohl eine Bring- wie auch eine Holschuld. Die Praxis sollte demnach die Forschungsergebnisse stärker einbeziehen und gleichzeitig aufzeigen, welche die drängenden Fragen sind, zu deren Lösung die Wissenschaft beitragen könnte. Im Gegenzug gelingt es der Wissenschaft oft nicht, ihre Ergebnisse und Erkenntnisse im Hochwasserbereich in praxistauglicher Form verfügbar zu machen, weil dies im heutigen Wissenschaftsbetrieb leider nicht als prioritäre Aufgabe angesehen wird. Mit ihren Werkzeugen, die alle im Internet abrufbar sind will das Mobil Lab für Naturrisiken zum Brückenschlag zwischen Forschung und Praxis beitragen (hochwasserrisiko.ch). Die entwickelten Produkte basieren auf umfassenden Forschungsarbeiten mit Datenanalysen und Simulationen, wobei in jeder Projektphase auf den Austausch mit der Praxis sehr großen Wert gelegt wird. In Seminaren, auf Ex-

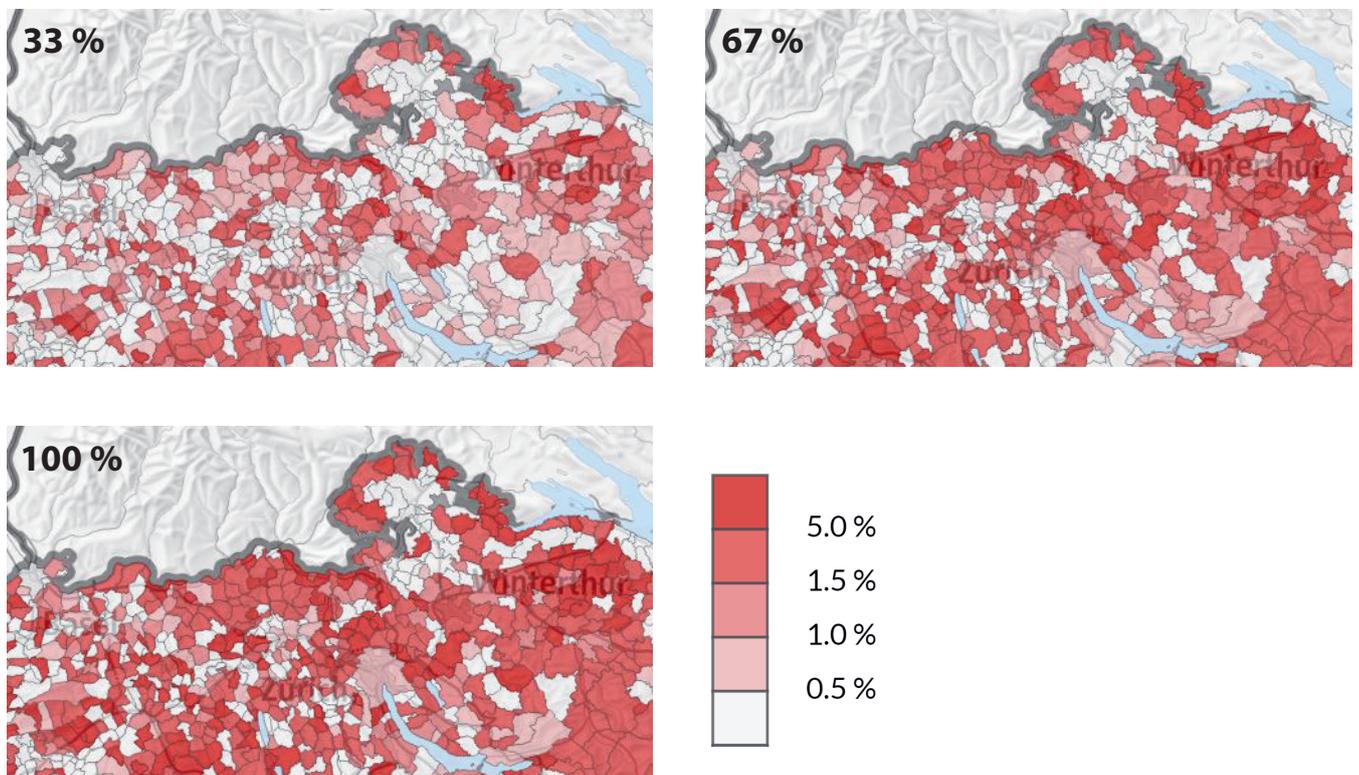


Abbildung 11
Zunahme des erwarteten Schadenausmaßes durch unterschiedlichen Grad der städtebaulichen Verdichtung, also durch Ausnutzung der vorhandenen Baureserven.

kursionen und in gemeinsamen Projekten wird dieser Austausch erweitert und vertieft. So wird gegenwärtig im Austausch mit der Feuerwehr von Burgdorf, die auch für die Hochwasserbekämpfung zuständig ist, ausgehend vom Werkzeug "Hochwasserdynamik" simuliert, an welchen Stellen der Emme mobile Hochwasserschutzmaßnahmen ihre beste Wirkung entfalten können. Oder das Bundesamt für Bevölkerungsschutz baut die vom Mobiliar Lab entwickelten Werkzeuge in ihre Aus- und Weiterbildungskurse für Blaulichtorganisationen ein.

Kurzum: Werkzeuge wie sie in diesem Aufsatz vorgestellt wurden, erleichtern den dringend erforderlichen Austausch und Dialog zwischen Wissenschaft und Praxis. Es hat sich gezeigt, dass die vorgestellten Werkzeuge ein wichtiges Hilfsmittel für die Risikokommunikation sind.

*Prof. Rolf Weingartner,
Rouven Sturny,
Markus Mosimann und
Prof. Andreas Zischg*

Mobiliar Lab für Naturrisiken, Universität Bern, Schweiz

Literaturverzeichnis

- BERNET, D.B., V. PRASUHN, R. WEINGARTNER (2017): Surface water floods in Switzerland: what insurance claim records tell us about the damage in space and time, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 17. DOI: 10.5194/nhess-17-1659-2017.
- BRÖNNIMANN et al. (2018): 1868 – das Hochwasser, das die Schweiz veränderte. Ursachen, Folgen und Lehren für die Zukunft. *Geographica Bernensia*, G94. DOI:10.4480/GB2018.G94.01.
- BUNDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1991): Ursachenanalyse der Hochwasser 1987. *Hydrologische Mitteilungen der Landeshydrologie*, Bern.
- MUNZ, L., M. KAUZLARIC, M. MOSIMANN, A. FEHLMANN, O. MARTIUS, A.P. ZISCHG (2023): Participatory development of storymaps to visualize the spatiotemporal dynamics and impacts of extreme flood events for disaster preparedness. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 98, 104039. DOI: 10.1016/j.ijdrr.2023.104039.
- NZZ, Neue Zürcher Zeitung (1988): Sicherheitsüberlegungen im Flussbau. Ausgabe vom 19. Juli 1988. Autor: Martin Jäggi.
- PFISTER, CH. (2009): Die "Katastrophenlücke" des 20. Jahrhunderts und der Verlust traditionellen Risikobewusstseins. *GAIA* 18/3.
- THOMPSON, V., N.J. DUNSTONE, A.A. SCAIFE (2017): High risk of unprecedented UK rainfall in the current climate. *Nat Commun* 8, 107 (2017). DOI: 10.1038/s41467-017-00275-3.
- ZEH, H., CH. KÖNITZER, A. BERTILLER (2009): Strukturen der Fließgewässer in der Schweiz. Zustand von Sohle, Ufer und Umland (Ökomorphologie); Ergebnisse der ökomorphologischen Kartierung. *Umwelt-Zustand Nr. 0926*. Bundesamt für Umwelt, Bern.

Deutsche Hydrologische Gesellschaft

Nachruf auf Prof. Dr. Christian Leibundgut

Die Deutsche Hydrologische Gesellschaft trauert um Prof. Dr. Christian Leibundgut, der am 20. November 2023 im Alter von 81 Jahren verstorben ist.

Seinen akademischen Werdegang begann Prof. Christian Leibundgut mit einem Studium der Geographie an der Universität Bern, gefolgt von der Promotion und der Leitung der Abteilung Hydrologie am Geographischen Institut der Universität Bern. Im Jahr 1989 übernahm er den Lehrstuhl für Hydrologie an der Universität Freiburg und prägte maßgeblich den Diplomstudiengang Hydrologie, einer der wenigen Studiengänge im deutschsprachigen Raum, die Hydrologie als eine Umwelt- und Geowissenschaft versteht und entsprechend in der Lehre umsetzt. Prof. Leibundgut hat die Gründung des Zentrums für Wasserforschung an der Universität Freiburg initiiert und war ab dem Jahr 2005 dessen geschäftsführender Direktor.

National hat sich Prof. Leibundgut schon in den 90er Jahren für eine hydrologische Gesellschaft stark gemacht, welche dann auch mit der DHG gegründet wurde und die ihm für sein Lebenswerk im Jahr 2013 die erste Ehrenmitgliedschaft in der Vereinsgeschichte verliehen hat. International engagierte sich Prof. Leibundgut als Präsident der International Commission on Tracers (ICT) und Vizepräsident der International Association of Hydrological Sciences (IAHS). Bis zu seiner Emeritierung im Jahre 2007 blieb er der Universität Freiburg treu.

Sein wissenschaftliches Interesse war stets breit angelegt und interdisziplinär ausgerichtet. In seinen zahlreichen Arbeiten zur Tracer- und Isotopenhydrologie, aber auch mit einer Vielzahl anderweitiger Projekte überbrückte er die Disziplinengrenzen und kooperierte überaus produktiv mit den Kolleginnen und Kollegen aus anderen Wissenschaftsbereichen. Seine Arbeiten in diesen Bereichen, aber auch der traditionellen Bewässerung und in der Karsthydrologie sind immer noch wegweisend für eine ganze Generation von Wissenschaftlern.

Bis vor wenigen Monaten war er noch sehr aktiv. In seinem Ruhestand hat er das zweibändige Standardwerk "Traditionelle Bewässerung – ein Kulturerbe Europas" verfasst. Letztes Jahr hat Prof. Leibundgut noch das Internationales Zentrum der Traditionellen Bewässerung in Europa (IZTB) gegründet, welches die Bewerbung für ein multinationales Projekt "Traditionelle Bewässerung" bei der UNESCO vorangetrieben hat. Gerade vor ein paar Tagen, am 5. Dezember 2023, wurde über dieses Projekt positiv entschieden, so dass die traditionelle Bewässerung nun ein immaterielles Kulturerbe der UNESCO ist. Sicherlich eine Entscheidung, die er gerne noch erlebt hätte.

Die Deutsche Hydrologische Gesellschaft wird ihm ein ehrendes Andenken bewahren.

Posterpreise am "Tag der Hydrologie 2024"

Auch im Jahr 2024 wird die Deutsche Hydrologische Gesellschaft (DHG) auf dem "Tag der Hydrologie", dieses Jahr gemeinsam von der Freien Universität Berlin, der Humboldt-Universität zu Berlin und der Technischen Universität Berlin veranstaltet wird, wieder drei Posterpreise vergeben. Alle Teilnehmer der Tagung sind eingeladen, die ausgestellten Poster zu bewerten. In den Kategorien (1) innovativste Studie, (2) bester Bezug zum Thema sowie (3) bestes Design werden nach erfolgreicher Bewertung zum Ende der Veranstaltung die jeweiligen Gewinner bekanntgegeben. Die Preisträger erhalten eine einjährige kostenfreie Mitgliedschaft bei der DHG.

Terminankündigung 5. Workshop zur Alpen Hydrologie

Bereits zum fünften Mal findet vom 20. bis 22. November 2024 der Workshop zur Alpen Hydrologie am Universitätszentrum Obergurgl in Österreich statt. Der Workshop wird wieder traditionell gemeinsam von der Deutschen Hydrologischen Gesellschaft, der Schweizerischen Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie sowie von der Österreichischen Gesellschaft für Hydrologie organisiert. Weitere Informationen zur Anmeldung und zum Programm werden auf der DHG-Website laufend aktualisiert: www.dhydrog.de

DHG Kalender 2024 – Grundwasser

Wir freuen uns, allen Mitgliedern für das Jahr 2024 wieder einen sehr illustrativen Kalender präsentieren zu können, der monatliche Eindrücke zum Thema "Wasser in Feldexperimenten" vermittelt und der allen DHG-Mitgliedern zugestellt wurde. Aus Feldexperimenten werden wichtige Ergebnisse für die hydrologische Forschung gewonnen und nicht immer ist es einfach, diese durchzuführen. Sie verlangen meist einen hohen Einsatz an Logistik und persönlicher Motivation, die Experimente auch in unwegsamen Gebieten durchzuführen. Der Kalender wurde unter Mithilfe der DHG-Mitglieder gestaltet, die zahlreiche Fotovorschläge eingesendet haben und somit wesentlich zum Gelingen des Kalenders beigetragen haben. Hierfür gebührt allen Einsendern ein großer Dank. Aus der Vielzahl der Zusendungen hat das erweiterte Präsidium 12 Fotos ausgewählt, die durch die tatkräftige Unterstützung von Herrn Andreas Bauer von der Universität Potsdam in der vorliegenden Reihung zusammengestellt wurden. Die Bilder zu den einzelnen Monaten zeigen Experimente und herausfordernde Feldarbeiten im Schnee, Beregnungsversuche in unwegsamen Karstgebieten, Infiltrationsversuche in ariden Regionen aber auch hydrometeorologische Messstationen in den verschiedensten Standorten weltweit. Mit einem lebendigen Bild zu Messungen im Winter schließt das Jahr 2024 eindrucksvoll ab und zeigt die Vielfalt von hydrologischen Feldexperimenten.

*Prof. Peter Chiffard, Schriftführer
Deutsche Hydrologische Gesellschaft*

Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften

in der DWA (FgHW)

Einladung zur FgHW-Mitgliederversammlung am 20. März 2024 in Berlin

Traditionell findet die Mitgliederversammlung der Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften (FgHW) der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) im Rahmen der Veranstaltung "Tag der Hydrologie" statt. In diesem Jahr ist der Termin der 20. März 2024. Die Versammlung wird nach den Fachvorträgen in den Räumen der Freien Universität Berlin stattfinden. Genauere Informationen folgen, wenn das Tagungsprogramm steht. Hiermit laden wir bereits jetzt die FgHW-Mitglieder recht herzlich zur Teilnahme ein.

Wie bei jeder Mitgliederversammlung stehen die Tätigkeitsberichte des Leiters der Fachgemeinschaft und des Vorsitzenden des DWA-Hauptausschusses "Hydrologie und Wasserbewirtschaftung" auf der Tagesordnung. Im Rahmen der Veranstaltung "Tag der Hydrologie" wird der Gewinner des Siegfried-Dyck-Preises geehrt, den die FgHW ausgeschrieben hat. Wir freuen uns auf viele interessante Begegnungen mit Ihnen! Das Tagungsprogramm kann unter folgendem Link aufgerufen werden: <https://www.geo.fu-berlin.de/geog/fachrichtungen/angeog/TdH2024/Programm/index.html>.

Starkregen und Hochwasser – Der Quick-Check

Durch den Klimawandel steigt die Gefährdung von Menschenleben und Häusern durch Überflutungen. Das HochwasserKompetenzCentrum e. V. (HKC) unterstützt die Gesellschaft bei der Umsetzung des bestmöglichen privaten Schutzes vor Starkregen und Hochwasser, um so die Klimaanpassung gezielt voranzutreiben. Der erste Schritt besteht in der Information über Überflutungsgefahren, Schutzmaßnahmen und Verhaltensvorsorge. Dabei geht es vor allem darum, ein generelles Bewusstsein für potenzielle Gefährdungen zu schaffen und hochzuhalten.

Der Starkregen- und Hochwasser Quick-Check wurde als neues Tool vom HKC im Rahmen des BMBF-Projekts "KAHR für Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen: Klima-Anpassung, Hochwasser" (hochwasser-kahr.de) für Überschwemmungsgebiete entwickelt. Mit seiner Hilfe erhalten Hauseigentümern innerhalb von 10 Minuten eine erste schnelle Einschätzung zu möglichen Gefährdungen und zielgerichtete Informationen zur Eigenvorsorge. Der Quick-Check richtet sich explizit an Personen ohne Fachkenntnisse, so dass ein niedrighschwelliges und kostenfreies Angebot zur Gefährdungseinschätzung für das gesamte Bundesgebiet gemacht werden kann. Das Tool ergänzt damit bereits bestehende regionsspezifische Tools, wie den Wasser-Risiko-Check der Stadtentwässerungsbetriebe Köln und den sächsischen FLOOD.Bi. Der Quick-Check ersetzt jedoch keine umfassende Untersuchung durch eine sachkundige Person. Aus diesem Grund wird Nutzern bei einer hohen Gefährdung empfohlen, für ihr Haus einen Hochwasser-Pass ausstellen zu lassen. Bei der Erstellung eines Hochwasser-Passes durch Sachkundige, die von der DWA ausgebildet wurden, dienen die Ergebnisse des Quick-Checks einem ersten Überblick. Weitere Informationen zum HKC, dem Hochwasser-Pass und dem Quick-Check erhalten Sie hier: hkc-online.de, hochwasser-pass.info und hochwasser-pass.info/quick-check.

*Prof. Dr. Robert Jüpner,
Prof. Dr. Konrad Miegel,
Dipl.-Geogr. Dirk Barion,
Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften*

Termine

Die folgenden Ankündigungen entsprechen dem Wissensstand zum Redaktionsschluss am 30. Dezember 2023.

57. Essener Tagung für Wasserwirtschaft

6. bis 8. März 2024 in Essen

Webseite: www.essenertagung.de

47. Dresdner Wasserbaukolloquium

7./8. März 2024 in Dresden

Webseite: <https://tu-dresden.de/bu/bauingenieurwesen/iwd/wasserbaukolloquium>

27th Alpine Glaciology Meeting

14./15. März 2024 in Grenoble (Schweiz)

Webseite: <https://agm2024.sciencesconf.org/>

Tag der Hydrologie 2024

19. bis 21. März 2024 in Berlin

Webseite: www.geo.fu-berlin.de/tdh2024

EGU24 European Geosciences Union General Assembly

14. bis 19. April 2024 in Wien (Österreich)

Webseite: <https://egu24.eu>

3rd Colloquium on Vortex Dominated Flows – DisCoVor 2024

16. bis 19. April 2024 in Delft (Niederlande)

Webseite: www.aanmelder.nl/discovor

2nd International Conference on Urban Water Interfaces

22. bis 24. April 2024 in Berlin

Webseite: www.tu.berlin.de/uwi/conference-2024

5th River Restoration Centre Annual Network Conference

24./25. April 2024 in Llandudno (North Wales)

Webseite: <https://www.therrc.co.uk/rrc-annual-conference-2024>

SETAC Europe 34th Annual Meeting

5. bis 9. Mai 2024 in Sevilla (Spanien)

Webseite: www.setac.org/discover-events/global-meetings/setac-europe-34th-annual-meeting/programme/abstract-submission.html

Riverbasins 2024: Emissions in River Basins – Sources and Sinks

4./5. Juni 2024 in Budapest (Ungarn)

Webseite: www.riverbasins.kit.edu

Gemeinsame Tagung von SETAC GLB und der Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie der GDCh

9. bis 11. September 2024 in Gießen und Homberg/Ohm

Webseite: www.setac-glb.de/tagung-2024

Jahrestagung Deutsche Gesellschaft für Limnologie (DGL)

16. bis 20. September 2024 in Dresden

Webseite: <https://www.dgl-ev.de/>

19th World Lake Conference

7. bis 9. November 2023 in Balatonfüred, Plattensee (Ungarn)

Webseite: www.worldlakeconference-balaton.hu/en/wlc-19

5. Workshop zur Alpen Hydrologie

20. bis 22. November 2024

am Universitätszentrum Obergurgl (Österreich)

Webseite: www.dhydrog.de



Hydrologie und Wasserbewirtschaftung

Hydrology and Water Resources Management

Inhaltsverzeichnis Heft 1 bis 6, 67. Jahrgang 2023

Aufsätze

Entwicklung einer Methode zur Anwendung des Signifikanzkriteriums Schadenspotenzial bei der Überprüfung der Bewertung des Hochwasserrisikos gemäß EG-HWRM-RL DOI: 10.5675/HyWa_2023.1_1	1/6	Interdependenz von extremen Hochwasserabflüssen DOI: 10.5675/HyWa_2023.5_5	5/287
Verfahren zur Regionalisierung der Nitratkonzentration im Grundwasser DOI: 10.5675/HyWa_2023.1_2	1/20	Langfristige Änderungen der Hochwasserwahrscheinlichkeiten in Europa DOI: 10.5675/HyWa_2023.5_6	5/296
Veränderungen der Wasserspeicherung in Deutschland seit 2002 aus Beobachtungen der Satellitengravimetrie DOI: 10.5675/HyWa_2023.2_1	2/74	Ein Framework für die abgeleitete Hochwasserstatistik DOI: 10.5675/HyWa_2023.5_7	5/308
Saisonale Vorhersagen für Deutschland: Steigerung der Vorhersagefähigkeit globaler SEAS5-Ensemble-Vorhersagen mittels Bias-Korrektur DOI: 10.5675/HyWa_2023.2_2	2/90	Gewässerverrohrung in Mecklenburg-Vorpommern: Entscheidungsunterstützung für wasserwirtschaftlich und ökologisch begründete Handlungsoptionen DOI: 10.5675/HyWa_2023.6_1	6/357
Methodische Untersuchungen für eine Neufassung der regionalisierten Starkregenstatistik KOSTRA-DWD DOI: 10.5675/HyWa_2023.3_1	3/138		
Betrachtungen zur Instationarität extremer Niederschläge in Deutschland DOI: 10.5675/HyWa_2023.3_2	3/151		
Regenernten: Ansätze, Potenzial und Verlässlichkeit von Rainwater Harvesting in Deutschland DOI: 10.5675/HyWa_2023.4_1	4/193		
Berücksichtigung von Hochwassertypen in der Hochwasserstatistik DOI: 10.5675/HyWa_2023.5_1	5/238		
Zu atmosphärischen Ursachen für extreme Hochwasserereignisse in Mitteleuropa DOI: 10.5675/HyWa_2023.5_2	5/253		
Wie entstehen überraschende Hochwasserereignisse? Einflussfaktoren der tail heaviness bei Hochwasserverteilungen DOI: 10.5675/HyWa_2023.5_3	5/264		
Großräumige Analyse von Abflussereignissen: Entstehungsprozesse und deren Effekt auf die räumliche und zeitliche Variabilität der Abflussdynamik DOI: 10.5675/HyWa_2023.5_4	5/275		

Verfasser

Ahrens, B.	5/253
Alencar, P.	4/193
Anwar, F.	5/287
Bach, M.	1/20
Bárdossy, A.	5/287
Bartens, A.	5/308
Bartsch, D.	6/357
Barz, R.	6/357
Bertola, M.	5/296
Boergens, E.	2/74
Blöschl, G.	5/296
Breuer, L.	1/20
Czakay, C.	5/253
Deuschländer, T.	3/138, 3/151
Dobslaw, H.	2/74
Fischer, S.	5/238
Flechtner, F.	2/74
Gerdener, H.	2/74
Gieler, H.	6/357
Grüneburg, J.	1/6

Relaunch des Meereisportals: Intuitives Layout und neue Funktionen	2/114	Mecklenburg-Vorpommern – "MoorWildnis": Saisonbeginn im Nationalpark Vorpommersche Boddenlandschaft	3/171
Rechenmodell zur Bestimmung von Sturmfluten	2/115	Mecklenburg-Vorpommern – Bund und Länder unterzeichnen Kooperationsvereinbarung zur Flussgebietsbewirtschaftung Obere Havel	3/171
Das Hydro-Klima in Europa und die Sommertrockenheit 2015 bis 2018	2/116	Rheinland-Pfalz – Überwachung von PFAS-Vorkommen in Gewässern	3/172
Rund ein Viertel weniger Feuchtgebiete in 300 Jahren	2/118	Schleswig-Holstein – Allianz für den Gewässerschutz feiert 10-jähriges Jubiläum	3/173
Gefährliche Wasser – Ausbrüche von eisgedämmten Gletscherseen haben sich stark verändert	2/118	Projekt MUSE zu den Folgen von Klimawandel, Artenverlust und Umweltverschmutzung	4/212
75 Jahre Max-Planck-Gesellschaft	2/119	Satellitentechnologie – nachhaltiger Wasser-Einsatz in der Landwirtschaft	4/212
Bayern – Hochwasserschutz in der Innregion	2/119	Schwefelkonzentrationen in den Bundeswasserstraßen gehen stark zurück	4/213
Mecklenburg-Vorpommern - Neue Düngelandsverordnung verabschiedet	2/120	Untersuchung zum Verhalten von Wanderfischen	4/214
Mecklenburg-Vorpommern – Moorschutzförderprojekte	2/120	Messkampagne im Schwarzwald zur Untersuchung von Wetterextremen	4/215
Rheinland-Pfalz – Grundwassermessnetz zur Ausweisung von mit Nitrat belasteten Gebieten	2/121	Erste schwimmende Messstation vor Rügen zum Meeresnaturschutz	4/215
Rheinland-Pfalz – Klimaschutzministerium stellt wasserwirtschaftliche Maßnahmen vor	2/122	Bergisches Hochwasserschutzsystem 4.0: NRW fördert KI-Hochwasserwarnsystem	4/216
Bundeskabinett verabschiedet Nationale Wasserstrategie	3/160	Aueninstitut der KU stellt Expertise für EU-Umweltprogramm zur Verfügung	4/217
Nationale Wasserstrategie: Umsetzung durch wissenschaftliche Forschung unterstützen	3/161	Studie der BfG zum Fischsterben in der Oder vom August 2022	4/217
Die "Wasserwende" beschleunigen	3/161	Flussauen und Küsten sind unverzichtbar für Biodiversität und Klima	4/218
Paradigma der Limnologie infrage gestellt	3/162	Warum der Aletschgletscher abbiegt	4/219
Neues Projekt von Global Nature Fund und Living Lakes schützt biologische Vielfalt weltweit	3/163	Wie belastet ist die Elbe?	4/220
Studie zur Kombination natürlicher und menschgemachter Stressfaktoren in Böden	3/164	Neue Übersicht zu Moorböden verfügbar	4/221
Ein Blick in die Zukunft eines Flusses	3/164	Bayern – Zum Vegetationsstart volle Bodenwasserspeicher im Wald	4/222
Forschende untersuchen die Flutkatastrophe vom Sommer 2021 aus Sicht der Betroffenen	3/165	Brandenburg – Gemeinsame Maßnahmen im Wassermanagement in der Lausitz von Sachsen, Brandenburg und Berlin	4/222
Eintagsfliegen, Libellen & Co. beginnen ihr Leben im Wasser – neue Datenbank zu semiaquatischen Insekten	3/165	Hessen – Umweltministerium stellt Maßnahmenplan Trockenheit und Dürre vor	4/223
Vorhersagemodell für die Folgen von Sauerstoffmangel in Seen	3/166	Mecklenburg-Vorpommern – Neues Monitoringprogramm soll Feuchtlebensräume in Mecklenburg-Vorpommern besser schützen	4/225
Grundwasser und Artenvielfalt: Neue Studie offenbart weltweit Lücken im Schutz von Naturschutzgebieten	3/167	Niedersachsen – Trockenheit: Gewässer und Umwelt unter Druck	4/225
Natürliche Hochwasservorsorge – mehr Zustimmung durch bessere Kommunikation	3/167	Unter- und Überwasserkartierung von Flüssen und Seen	5/323
Baden-Württemberg – Überwachung des Grundwassers in Baden-Württemberg: Schwellenwerte werden noch nicht flächendeckend eingehalten	3/168	Veränderungen beim Salzgehalt des Wassers gefährden Weltmeere und Biodiversität	5/323
Brandenburg – Landesregierung beschließt Moorschutzprogramm Brandenburg	3/168	Mikroplastik: Einige Seen stärker belastet als die Ozeane	5/324
Hessen – Forschungsprojekt zur nachhaltigen Grundwasserbewirtschaftung	3/170		

Kompetenzzentrum Wasser Berlin unterstützt das WaterMan-Projekt zur Förderung der Wasserwiederverwendung im Ostseeraum	5/325	Sachsen – Management von Wasser, Boden und Natur im Mitteldeutschen und Lausitzer Braunkohlerevier – Auftaktveranstaltungen für das Projekt "RegioNet WasserBoden"	5/336
Nachhaltige Moornutzung – wirtschaftlich und ökologisch	5/326	IKSR – Beschluss des Rheinmessprogramms Biologie	5/337
Nutzung der künstlichen Grundwasseranreicherung	5/326	Klimawandel und Wassermangel gefährden Teiche und Tümpel	6/381
Fassadenbegrünung "Living Wall" verbindet Nachverdichtung mit Hochwasserschutz	5/327	Neue Analyse zur aktuellen und zukünftigen globalen Wasserqualität	6/381
Forschungsvorhaben heavyRAIN verbessert Regenmessung für Starkregenvorhersage	5/327	Oberflächentemperaturen von Nordsee und Ostsee im Sommer 2023	6/382
Künstliche Gesteine aus Makroplastik bedrohen Gesundheit der Meere	5/328	Einfluss des Klimawandel auf die Temperaturverhältnisse im Boden	6/383
Niedrige Wasserstände lösen Sondermessprogramm an der Elbe aus	5/329	Wasserressourcen müssen besser geschützt werden	6/384
Ausmaß weltweiter Dürren in ungekannter Detailtreue	5/329	Bundesprogramm "Blaues Band Deutschland"	6/384
Nach anfänglicher Erholung: Artenvielfalt in europäischen Flüssen stagniert	5/330	Studie zu Schneesverwehungen in der Arktis	6/384
Untersuchungen der Schwermetallbelastung im Mündungsbereich der Elbe	5/331	Intensität früherer Meeresströmung entschlüsseln	6/385
Über den aktuellen Bodenstatus in Deutschland und der EU	5/332	UN-Hochseeschutzabkommen – Bedeutender Erfolg für den Schutz der Meere	6/386
Niedersachsen – Neues Portal des NLWKN zu Grundwassermessstellen	5/333	Umweltbundesamt startet Nationales Zentrum für Umwelt- und Naturschutzinformationen	6/387
Niedersachsen – Größtes Moorprojekt wird weiter vorangebracht	5/333	Studie zur Toxizität von Mikro- und Nanoplastik auf Gewässerökosysteme	6/387
Nordrhein-Westfalen – Investitionen in Hochwasserschutz werden fortgeführt	5/334	Hessen – Hochwasserschutz – Landesaktionsplan neu aufgelegt	6/387
Nordrhein-Westfalen – Evaluierung der Fischbestände – Landesregierung will Gewässerqualität verbessern	5/335	Mecklenburg-Vorpommern – Wasserrückhalt in der Fläche als besondere Aufgabe	6/388



Herausgeber

BfG für die gewässerkundlichen Fachverwaltungen des Bundes und der Länder

Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz

Redaktion:

Dr. Thomas Lüllwitz
E-Mail: redaktion@hywa-online.de
Telefon: 0261/1306-5879

www.hywa-online.de

Erläuterung zur Titelseite

Das Titelbild zeigt einen Blick vom Naturschutzgebiet Weinberg bei Rühle in die Rühler Schweiz im Weserbergland. Dieses Landschaftsbild enthält mit Wald, Siedlungen, sowie intensiv und extensiv genutzten landwirtschaftlichen Flächen wichtige Elemente für den Wasser- und Nährstoffhaushalt von Flusseinzugsgebieten. Stoffeinträge in Gewässer hängen von der Art und Intensität der Landnutzung sowie standörtlichen und klimatischen Faktoren ab. Gänzlich vermeiden lassen sich Stoffausträge nicht, aber sie können durch eine standortangepasste und bedarfsgerechte Düngung sowie eine moderne Siedlungswasserwirtschaft auf ein Minimum verringert werden. Die verbleibenden Einträge können im Gewässer durch unterschiedliche physikalische und biogeochemische Prozesse zurückgehalten oder verringert werden.

In Deutschland wird etwa die Hälfte der Landesfläche landwirtschaftlich als Acker- oder Grünland oder als Sonderkultur genutzt. Hierzu zählen auch extensiv genutzte, ungedüngte Flächen wie die Kalkmagerrasen im Vordergrund. Wälder und Forste befinden sich auf knapp einem Drittel der Landesfläche, Siedlungs- und Verkehrsflächen haben einen Anteil von etwa 15 % und Wasserflächen von weniger als 3 %. Um die Stoffausträge von Landschaften zu erfassen, müssen alle Nutzungen sowie deren Positionen in der Landschaft berücksichtigt werden. Hierfür werden unterschiedliche Modelle benötigt, die die Elemente des Landschaftswasser- und -stoffhaushalts systemadäquat zusammenführen. Um die Modellergebnisse zu überprüfen, werden Monitoringdaten aus dem Grundwasser und den Oberflächengewässern verwendet.

In dieser Ausgabe der Zeitschrift "Hydrologie & Wasserbewirtschaftung, HyWa" werden die Ergebnisse des AGRUM-DE Vorhabens zusammenfassend vorgestellt. In dem Vorhaben wurde erstmals für Deutschland ein bundesweit einheitliches und mit den Wasser- und Landwirtschaftsverwaltungen abgestimmtes Instrument für die Modellierung der Stickstoff- und Phosphoreinträge Deutschlands entwickelt und angewendet. Das gemeinsame Systemverständnis der vielfältigen Wechselwirkungen zwischen Nutzungen und Standort – wie auf dem Titelbild ersichtlich – ist Voraussetzung für ein wirksames Nährstoff-

management. Die Modellergebnisse werden genutzt, um die räumlichen Schwerpunkte sowie die Verursacher von Nährstoffeinträgen zu identifizieren und darauf aufbauend zielgerichtete Maßnahmen zu entwickeln.

*Dr. Michael Trepel,
Ministerium für Energiewende, Klimaschutz, Umwelt und Natur
des Landes Schleswig-Holstein*



Foto: Dr. Michael Trepel