



Hydrologie und Wasserbewirtschaftung

Hydrology and Water Resources Management



Niedrigwasser in Thüringen – Zeitreihenanalyse von Abflüssen an Fließgewässerpegeln

Projektberichte:

- Grundwasser-See-Interaktion in einem tieflandgeprägten nordostdeutschen Flachsee in Brandenburg
- Verbesserung der Abschätzung von Gebietsniederschlägen mittels opportunistischer Niederschlagsmessungen am Beispiel des Ahr-Hochwassers im Juli 2021

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: Dezember 2021)

Prof. Dr. Axel Bronstert,
Universität Potsdam
Prof. Dr.-Ing. Markus Disse,
Technische Universität München
Stephanie Gudat,
Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft,
Küsten- und Naturschutz
Prof. Dr. Bruno Merz,
Deutsches GeoForschungsZentrum, Potsdam
Dr. Volker Mohaupt,
Umweltbundesamt
Dr. Heike Puhlmann,
Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt, Freiburg
Prof. Dr. Britta Schmalz,
Technische Universität Darmstadt
Dr. Natalie Stahl-van Rooijen,
Bayerisches Landesamt für Umwelt
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: Dezember 2021)

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. Günter Meon,
Technische Universität Braunschweig
Prof. Dr. Elisabeth I. Meyer,
Universität Münster
Prof. Dr. Heribert Nacken,
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
Dr. Enno Nilson,
Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz
Angela Pfister,
Emschergenossenschaft
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. Benedikt Toussaint,
Taunusstein
Prof. Dr. Markus Weiler,
Universität Freiburg
Prof. Dr. Rolf Weingartner,
Universität Bern

Inhalt | Contents

Vorwort | Foreword

Niedrigwasser und Trockenheit in Thüringen – Auswertungen nach den Extremjahren 2018 und 2019	176
---	-----

Fachartikel | Scientific reports

DOI: 10.5675/HyWa_2022.4_1	
Nico Trauth & Ralf Haupt	
Niedrigwasser in Thüringen – Zeitreihenanalyse von Abflüssen an Fließgewässerpegeln	
Lowflow situations in Thuringia – Time series analysis of discharges at natural water courses	178

Hydrologische Notizen | Hydrological notes

Aktuelles Latest news	189
Personen Persons	202
Projektberichte – Workshops – Konferenzen Projekt reports – Workshops – Conferences	
Projektberichte:	
Grundwasser-See-Interaktion in einem tieflandgeprägten nordostdeutschen Flachsee in Brandenburg	203
Verbesserung der Abschätzung von Gebietsniederschlägen mittels opportunistischer Niederschlagsmessungen am Beispiel des Ahr-Hochwassers im Juli 2021	208

Nachrichten | News

Deutsche Hydrologische Gesellschaft German Hydrological Society	215
Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften Association for Hydrological Sciences	216
Neue Publikationen New publications	218
Termine Events	219

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

Niedrigwasser und Trockenheit in Thüringen – Auswertungen nach den Extremjahren 2018 und 2019

Trockenheit und Niedrigwasser sind im gemäßigten Klima Thüringens natürlich und regelmäßig auftretende Phänomene im Wetter- und Wasserkreislauf. Die Umwelt ist somit in bestimmtem Maß darauf eingestellt, solche (Extrem-)Situationen ohne bleibende Beeinträchtigungen zu überstehen.

Ein über längere Zeit aufwachsendes Wasserdefizit ohne Regenerationsphasen kann diese Toleranzgrenzen allerdings überschreiten. Nachhaltige Auswirkungen auf die Ökosysteme sind dann unvermeidlich. Im Trockenjahr 2018 deutete sich derartiges bereits an. Im Folgejahr 2019, welches hinsichtlich Hitze und Niederschlagsmangel kaum weniger extrem ausfiel, manifestierten sich die Dürreprobleme innerhalb Thüringens flächendeckend und es wurde offensichtlich, dass der überjährige Zeitraum 2018/2019 hinsichtlich des Wassermangels eine Ausnahme-situation einnimmt und damit einer genaueren Analyse und Einordnung bedurfte.

Dies war Anlass, in Thüringen vorhandene Grundlagen zum Niedrigwasser zusammenzufassen, Kenntnislücken durch neue Untersuchungen zu schließen und all dies auf die Einschätzung der Trockenperioden 2018/2019 anzuwenden. Insgesamt 13 Fachleute haben meteorologisch-hydrologische Grundlagenauswertungen dazu in der Schriftenreihe Nr. 120 des Thüringer Landesamtes für Umwelt, Bergbau und Naturschutz (Niedrigwasser und Trockenheit in Thüringen, TLUBN Jena, 2020) veröffentlicht. Wissen über Trockenzeiten in Thüringen in länger zurückliegender Vergangenheit (außerhalb der existierenden Messreihen) ist darin einbezogen, und eine mögliche zukünftige Entwicklung wird aufgezeigt.

Die Wasserwirtschaft ist in Situationen unterdurchschnittlicher Wasserverfügbarkeit in zahlreichen Sektoren betroffen. Hinsichtlich der Wassermenge stehen (neben Grundwasser/Quellen, Boden-/Sickerwasser, Talsperren u. a.) die Abflüsse in den Oberflächengewässern im Fokus. Diesem Aspekt widmet sich der Artikel "Niedrigwasser in Thüringen – Zeitreihenanalyse von Abflüssen an Fließgewässerpegeln" in vorliegender Ausgabe der Zeitschrift "Hydrologie & Wasserbewirtschaftung, HyWa".

Während die Abflüsse in den Thüringer Fließgewässern zunächst noch durch Überschüsse des Jahres 2017 gestützt wurden, verhartete das Abflussniveau im Sommer/Herbst 2018 verbreitet und auf Dauer im Bereich bisheriger extremer Niedrigwasser. Danach führten vereinzelte Niederschlagsereignisse oder einzelne "feuchte" Monate nicht zu einer durchgreifenden Erhöhung des Abflussniveaus, sodass auch das Jahr 2019 aus gewässerkundlicher Sicht von Niedrigwassersituationen geprägt war. Der Artikel dokumentiert die Analyse von Abflussmessreihen an Thüringer Pegeln und gibt vor dem Hintergrund der Niedrigwasserjahre 2018 und 2019 Auskunft über das möglicherweise geänderte und aktuelle Niedrigwasserabflussverhalten der Thüringer Flüsse.

Thüringen verfügt über ein relativ dichtes Pegelmessnetz, dessen Abflussaufzeichnungen teilweise mehr als 100 Jahre zurückreichen. Zusammen mit den zahlreichen Einflüssen auf Gewässer, die in einem derart vielgestaltigen und dicht besiedelten Land wie Thüringen existieren, stellte die landesweite

Untersuchung des Niedrigwasserregimes eine anspruchsvolle Aufgabe dar. Eine zusätzliche Herausforderung war, dass in Thüringen viele Talsperren das Abflussregime unterschiedlich stark beeinflussen und dies in adäquater Weise bei den Auswertungen zu berücksichtigen.

Letztlich stützte sich die Analyse der Niedrigwasser-Abflüsse in Thüringen auf ca. 120 Pegel. Innerhalb der Beobachtungsreihen lassen sich extreme Niedrigwasserjahre in fast jedem Jahrzehnt zuordnen. Nennenswert sind 1947/48, 1959, 1976, 1991, 2003 und 2018. Das Wasserhaushaltsjahr 2018 (bis 31. März 2019) hat also nicht grundsätzlich eine Alleinstellung. Allerdings ist hervorzuheben, dass es ein sehr lang anhaltendes (das längste in einer Reihe ab 1925) und sehr gleichmäßiges, sämtliche Pegel (bzw. Regionen) betreffendes Niedrigwasserjahr war.

Hinsichtlich bereits eingetretener Veränderungen im Niedrigwasserregime in Thüringen ist definitiv zu belegen, dass es seit etwa 30 Jahren Verschiebungen im Monat April hin zu trockeneren Verhältnissen gibt, was auf immer früher einsetzende Wasserdefizite im Jahresverlauf hindeutet. Dieser Sachverhalt ist insbesondere für das Pflanzenwachstum, also für Land- und Forstwirtschaft sehr problematisch: Behinderungen beim Start der Vegetationsperiode können derart nachteilig sein, dass ein Ausgleich bis zur Ernte nicht mehr möglich ist. Hinzu kommt nach einer räumlichen Analyse für Thüringen der Umstand, dass Gebiete in niedrigeren Lagen (z. B. das landwirtschaftlich geprägte Thüringer Becken) mit geringem Gefälle und weniger Niederschlag deutlicher von Niedrigwasserereignissen betroffen sind. Umgekehrt reagieren höher gelegene Gebiete mit generell höheren Niederschlägen, wie z. B. der Thüringer Wald, weniger deutlich auf Niedrigwasserereignisse.

Die ausbleibenden Niederschläge der Jahre 2018 und 2019 haben in Thüringen auch zu äußerst niedrigen Grundwasserständen geführt. Da in Thüringen der Bedarf der öffentlichen Trinkwasserversorgung zu etwa 55 % aus dem Grundwasservorrat gesichert wird, ist eine systematische Überwachung der Grundwasserstände hier von besonderer Bedeutung. Während zwischen November 2017 bis April 2018 noch überwiegend mittlere bis hohe Grundwasserstände registriert wurden, zeigten die Grundwassermessstellen überwiegend ab Juli 2018 extrem niedrige Grundwasserstände. Im darauffolgenden Winterhalbjahr 2018/2019 hat eine Grundwasserneubildung quasi nicht stattgefunden. Daher hielt die im Jahr 2018 entstandene Situation im Grundsatz das gesamte Jahr 2019 weiter an. Insgesamt hatte sich die Anzahl der Messstellen, die extrem niedrige Grundwasserstände aufweisen, gegenüber dem Vorjahr sogar noch einmal erhöht. Im Herbst 2019 traten insbesondere im Bereich des Thüringer Beckens, im Südthüringer Keuper Bergland sowie im Eichsfeld sehr niedrige bis extrem niedrige Grundwasserstände auf. Die niederschlagsreichen Wochen im Februar 2020 hatten in einigen Grundwassermessstellen zwar zu einem kurzzeitigen Anstieg geführt, allerdings zeigte sich, dass auch das Jahr 2020 wiederholt durch Niederschlagsdefizite gekennzeichnet war und die teilweise extrem niedrigen Grundwasserstände anhielten.

Eine Vorausschau in die wahrscheinliche klimatologische Zukunft der nächsten Jahre deutet nach Auswertung neuester

Modellrechnungen darauf hin, dass ca. ab Mitte der 2020er Jahre eine Periode eintreten wird, in welcher Hitzesommer wie 2018 und 2019 die Durchschnitts-Sommer darstellen. Gleichzeitig bedeutet dies, dass in Thüringen in Kürze Sommer möglich werden, die so bisher nicht aufgetreten sind: Sommer, die durch noch wesentlich länger anhaltende Hitzeperioden und durch neue Hitzerekorde geprägt sein werden. Mit dem Temperaturanstieg geht eine weitere Verschiebung des Niederschlagsregimes einher. Zukünftig ist in den Frühjahrs- und Sommermonaten mit häufigeren und länger anhaltenden Dürreperioden zu rechnen.

Den Feststellungen Rechnung tragend ist zu erwarten, dass zukünftig die Entwicklung der Wasserressourcen noch mehr Gewicht in der Arbeit der Wasserwirtschaftsverwaltungen und Institute erhalten wird. Es wird darum gehen, bei zunehmend angespannteren Wasserhaushaltssituationen praktikable Lösun-

gen für eine zukunftssichere wasserwirtschaftliche Planung und den Vollzug zu finden. Ob alle bisherigen Wassernutzungen und -ansprüche aufrechterhalten werden können, ist offen. Durch Wasserspeicher- und -sparmaßnahmen ist eine Abmilderung in Extremsituationen sicherlich möglich, ein voller Ausgleich voraussichtlich jedoch nicht. In nächster Zeit sind verstärkt geeignete Indikatoren zu finden, mit denen besonders gefährdete Gebiete/Gewässer identifiziert werden können. Niedrigwasservorsorgemaßnahmen könnten so erarbeitet und priorisiert werden.

*Dr. Ralf Haupt,
Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz, Jena*

*Dr. Nico Trauth,
Björnsen Beratende Ingenieure Erfurt GmbH, Niederlassung Leipzig*

Nico Trauth & Ralf Haupt

Niedrigwasser in Thüringen – Zeitreihenanalyse von Abflüssen an Fließgewässerpegeln

Lowflow situations in Thuringia – Time series analysis of discharges at river gauges

Im Sommer des Jahres 2018 trat in Mitteleuropa eine intensive Hitzewelle auf. Die Folgen waren äußerst niedrige Wasserstände in Fließgewässern, Seen und dem Grundwasser. Aus diesem Anlass ist für das Gebiet Thüringens das Auftreten und die Stärke von Niedrigwasserereignissen detailliert untersucht worden. Hierzu standen Tagesmittelwerte des Abflusses von 122 Pegeln für den Zeitraum 1925 bis März 2019 zur Verfügung. Es zeigt sich, dass in Thüringen in nahezu jedem Jahrzehnt extreme Niedrigwasserjahre auftraten. Das Wasserhaushaltjahr (WHJ) 2018 war hierbei ein sehr lang anhaltendes, sehr gleichmäßiges, sämtliche Regionen betreffendes Niedrigwasserjahr (prozentuale mittlere Abweichung vom mittleren Abfluss MQ: 36,5 %; Dauer der Unterschreitung des langjährig mittleren NM30Q: 169 Tage). Das bisher stärkste Niedrigwasserjahr von 1976 wird allerdings vom WHJ 2018 bezüglich der meisten Niedrigwasserkenngrößen nicht überschritten. Jedoch hatte das WHJ 2018 im Mittel aller betrachteten Pegel für NM30Q das seltenste Wiederkehrintervall (15 Jahre) seit 1959. Einzugsgebiete in niedrigen Höhenlagen mit wenig Waldanteil, geringem mittleren Gefälle und wenig Niederschlag sind stärker von Niedrigwasserereignissen betroffen (z. B. das Thüringer Becken). Mann-Kendall-Tendenztests für mittlere jährliche Abflüsse zwischen 1978 und 2018 ergeben, dass für 74,3 % der Pegel die Abflüsse signifikant sinken. Für die mittleren Abflüsse in den Sommermonaten (April bis September) ist für 85,1 % der Pegel eine signifikante Abnahme der Abflüsse zu verzeichnen.

Schlagwörter: Niedrigwasserabflüsse, Thüringen, Zeitreihenanalyse, Trendanalyse, Dürre, Fließgewässerpegel, Pardé-Koeffizient

In the summer of 2018, an intense heat wave occurred in Central Europe followed by extreme low water level in rivers, lakes and ground-water bodies. In this study, the occurrence and the magnitude of low flow periods are evaluated by means of time series analysis of discharge measurements at river flow gauges of the federal state of Thuringia, Germany. The analysis includes 122 gauges evaluating the daily mean discharge measurements within monitoring periods from 1925 to 2018.

The results show that low flow periods occurred in Thuringia during almost every decade. Specifically, during the year 2018 the low flow period was extremely long lasting and regionally equally distributed over all gauges (percentage mean deviation from MQ: 36.5 %, duration below the threshold value of long-term mean NM30Q: 169 days). However, with respect to low flow statistics the period during the year 1976 was not surpassed in the year 2018. Despite that fact, the low flow period during 2018 showed the most extreme reoccurrence period since 1959 (15.4 years), in consideration of the mean value of all gauges. Catchments at lower altitudes with little forest areas, small mean slopes and low precipitation are more affected by low flow periods. Mann-Kendall trend tests applied to annual mean discharges between 1978 and 2018 reveal that for 74.3 % of the gauges the discharges decrease significantly. For the mean discharge values during the summer months (April to September), a significant discharge decrease was observed for 85.1 % of the gauges.

Keywords: low water level, Thuringia, time series analysis, trend analysis, drought, river gauges, Pardé-coefficient

1 Einleitung

In den Jahren 2018 und 2019 kam es in Mitteleuropa über längere Perioden zu intensiven Hitzewellen mit stark unterdurchschnittlichen Regenfällen (KORNHUBER et al., 2019) – eine Kombination mit zum Teil verheerenden Auswirkungen für Natur und Mensch. Folgen, wie niedrige Wasserstände in Fließgewässern, Seen und Grundwasser, stellen ein ernsthaftes Problem für aquatische Ökosysteme und die Wasserwirtschaft dar. Ökologische und wirtschaftliche Schäden sind die Folgen (KOOP et al., 2007). Während die Abflüsse in den Thüringer Fließgewässern zunächst noch durch gespeicherte Wassermengen aus dem feuchteren Jahr 2017 gestützt wurden, verharrte das Abflussniveau im Sommer/Herbst 2018 verbreitet und auf Dauer im Bereich bisheriger Niedrigstwerte. Danach führten selbst vereinzelte Niederschlagsereignisse oder einzelne niederschlagsreiche Monate nicht zu einer Erhöhung des Abflussniveaus. Dies hatte zur Folge, dass auch das Jahr 2019 aus gewässerkundlicher Sicht von Niedrigwassersituationen geprägt war.

Es wurde offensichtlich, dass der überjährige Zeitraum 2018/2019 hinsichtlich des Wassermangels eine Ausnahmestellung einnimmt und damit einer genaueren Analyse und Einordnung

bedarf. Dies war Anlass, in Thüringen vorhandene Grundlagen zum Niedrigwasser zusammenzufassen (HAUPT, 2004, 2008), Kenntnislücken durch neue Untersuchungen zu schließen (IAWG, 2017; DHI-WASY, 2018) und all dies auf die Einschätzung der Trockenperiode(n) 2018/2019 anzuwenden (BCE, 2020).

Während die komplette Auswertung von BCE (2020) in der Schriftenreihe des Thüringer Landesamtes für Umwelt, Bergbau und Naturschutz (TLUBN) veröffentlicht worden ist (TRAUTH & HAUPT, 2021), dokumentiert vorliegender Artikel die wichtigsten Aspekte aus der Analyse von Abflussmessreihen an Thüringer Pegeln. Vor dem Hintergrund der Niedrigwasserjahre 2018 und 2019 wird Auskunft über das möglicherweise geänderte und aktuelle Niedrigwasserabflussverhalten der Thüringer Flüsse gegeben. Ein Beitrag für die gewässerkundliche Bewertung zukünftiger Niedrigwasser in Thüringen und die Beantwortung operativer Fragestellungen wird damit bereitgestellt.

2 Datengrundlage

Verwendet wurden die über einen Tag gemittelten Abflusswerte (TMQ) von insgesamt 122 Pegeln aus dem Bundesland Thüringen. Diese liegen in den drei europäischen Hauptstromgebieten

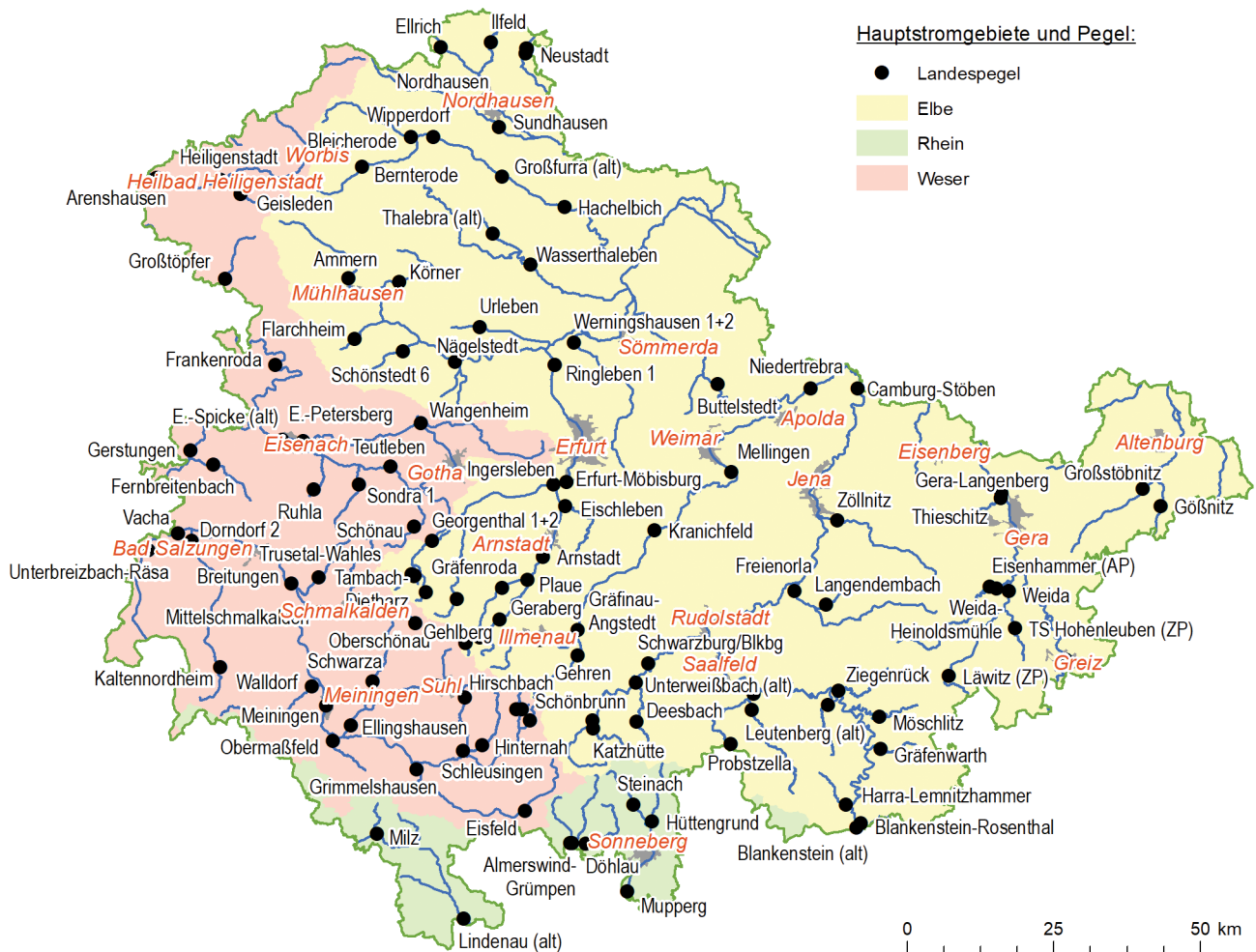


Abbildung 1
Übersichtskarte der verwendeten Pegel und der drei Hauptstromgebiete in Thüringen.
Map with gauges and the three major river catchments in Thuringia.

(HSG) der Elbe, Weser und des Rheins. Die längsten Aufzeichnungen in den jeweiligen HSG begannen im Jahr 1918 am Pegel Meiningen/Werra (Weser), im Jahr 1921 am Pegel Schwarzburg/Schwarza (Elbe) und 1960 am Pegel Steinach/Steinach (Rhein). In Abbildung 1 sind die verwendeten Pegel in den HSG in Thüringen dargestellt. Neben den Abflusswerten wurden die Ergebnisse aus den Analysen von DHI-WASY (2018) und IAWG (2017) verwendet. Diese stellen u. a. die niedrigsten mittleren Abflusswerte über eine bestimmte Anzahl Tage x ($NMxQ$) pro Jahr sowie deren Größe für bestimmte Jährlichkeiten T [$NMxQ(T)$] zur Verfügung.

Zusätzlich zu den Koordinaten der Pegel liegen spezifische Eigenschaften zu geografischen und klimatischen Parametern der jeweiligen Einzugsgebiete (EZG) vor (DHI-WASY, 2018). Diese Parameter wurden in der Analyse auf eventuelle Korrelationen zu den Abflusskennwerten untersucht.

3 Methodik

3.1 Datenaufbereitung

Die verwendeten Pegelzeitreihen haben zuvor die routinemäßigen Aufbereitungsschritte des gewässerkundlichen Lan-

desdienstes durchlaufen (Längsschnittbilanzen, Beseitigung von Messfehlern, ggf. Lückenschluss). Maßgeblich talsperrenbeeinflusste Pegel sind in der Analyse nicht enthalten.

Für die Zeitreihenbewertung kam die Programmiersprache Python Version 3.0 mit der grafischen Benutzeroberfläche Spyder Version 3.0 zum Einsatz (Python-Bibliothek Pandas, zur Erstellung der Abbildungen die Python-Bibliotheken Matplotlib und Seaborn).

Im ersten Schritt wurde für alle Pegel die Vollständigkeit der Wasserhaushaltsjahre (WHJ) (1. April bis 31. März des Folgejahres) bis einschließlich WHJ 2018 (bis 31. März 2019) geprüft. Nur WHJ mit vollständiger Datenbelegung sind berücksichtigt. Sieben Zeitreihen sind wegen Stationsveränderungen gekürzt oder zusammengeführt worden. Insgesamt lagen danach 7.064 Stationsjahre vor, was einer mittleren Pegelaufzeichnungsdauer von ca. 58 Jahren entspricht.

3.2 Deskriptive Statistik

Zahlreiche, für die Niedrigwasseranalyse von Fließgewässern geeignete Kenngrößen nennt die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA, 2020). Für jeden

Pegel bis einschließlich des WHJ 2018 wurden unter anderem nachfolgende Größen ausgewählt und berechnet (weitere Kennwerte in BCE (2020) und TRAUTH & HAUPT (2021)):

- NNQ: niedrigster Wert aus allen TMQ einer gesamten Zeitreihe
- NQ_Jahr: niedrigster Wert aus allen TMQ für ein WHJ
- NQ_Monat: niedrigster Wert aus den TMQ für einen spezifischen Monate über alle Jahre
- MNQ: Mittelwert aus allen NQ_Jahr
- MNQ_Monat: Mittelwert aus NQ_Monat für einen spezifischen Monat über alle Jahre
- MNQ_Winter: Mittelwert aus NQ_Monat für die Zeitspanne 1. Oktober bis 31. März
- MNQ_Sommer: Mittelwert aus NQ_Monat für die Zeitspanne 1. April bis 30. September
- MQ: Mittelwert aus allen TMQ einer gesamten Zeitreihe
- MQ_Jahr: Mittelwert aus allen TMQ für ein WHJ
- MQ_Monat: Mittelwert aus TMQ für einen spezifischen Monat über alle Jahre
- MQ_Winter: Mittelwert aus allen TMQ für die Zeitspanne 1. Oktober bis 31. März
- MQ_Sommer: Mittelwert aus allen TMQ für die Zeitspanne 1. April bis 30. September

Damit lassen sich die mittleren (MNQ), die extremen (NNQ) und die saisonalen (Monate/Halbjahre) Niedrigwasserverhältnisse im Verhältnis zum mittleren Abfluss (MQ) umfassend beschreiben.

3.3 Abweichungen von langjährigen Mittelwerten

Die Abweichungen von langjährigen Mittelwerten können sowohl als absolute Abweichung (in m^3/s oder mm) als auch als prozentuale Abweichung dargestellt werden. Durch diese Normierung auf die langjährigen Mittelwerte lassen sich die Abweichungen für die verschiedenen Pegel sehr gut miteinander vergleichen, obwohl sie unterschiedliche absolute Abflüsse aufweisen. Die absoluten Abweichungen, insbesondere in mm, eignen sich für einen Vergleich für Wasserdefizite mit Bezug auf die gesamte Wasserbilanz.

3.4 NMxQ-Werte

In der Niedrigwasseranalyse liefern NMxQ-Werte sehr gute Aussagen hinsichtlich der Dauer und Intensität einer Niedrigwasserperiode (DWA, 2020). NMxQ bezieht sich auf das niedrigste arithmetischen Mittel von x aufeinanderfolgenden Tagesmittelwerten innerhalb eines Jahres. Das gleitende Mittel umfasst üblicherweise einen Tag (entspricht dann NQ_Jahr, bzw. als langjähriger Mittelwert MNQ), sieben Tage, 14 Tage, 30 Tage oder 31 Tage. Die NMxQ-Werte wurden jahresweise ermittelt und anschließend der Mittelwert berechnet ($\overline{\text{NMxQ}}$). Weiterhin ist die Unterschreitungsdauer $\text{sumD}(\overline{\text{NMxQ}})$ von Bedeutung, welche die Anzahl der Tage definiert, an denen die jeweiligen NMxQ-Werte unterschritten wurden. In dieser Studie wurden die gesamten $\text{sumD}(\overline{\text{NMxQ}})$ -Werte innerhalb eines WHJ unabhängig von eventuellen Unterbrechungen betrachtet.

3.5 Trendanalysen

Für MQ_Jahr, MQ_Monat, NQ_Monat, NQ_Jahr erfolgten die Trendanalysen mit dem Mann-Kendall-Test, da die Verteilung und die ggf. vorliegende Nicht-Linearität der Daten hier keine Rolle spielt. Bei diesem Trendtest wird der Rangkorrelations-

koeffizient "Kendall'sches τ " sowie der p-Wert berechnet, welcher Auskunft über die Signifikanz des Trends gibt (YUE et al., 2002). Je nach Vorzeichen von τ existiert ein negativer oder ein positiver Trend. Bei einem p-Wert $< 0,05$ ist von einem signifikanten Trend auszugehen. Um mögliche Effekte auf den Trend durch Autokorrelation in den Daten auszuschließen, wurde der laut DWA (2020) empfohlene, von HAMED & RAO (1998) modifizierte Mann-Kendall-Trendtest verwendet. Da die Pegelzeitreihen unterschiedliche Laufzeiten aufweisen, wurden für eine zusammenfassende Aussage gleich lange Zeitabschnitte herangezogen.

Des Weiteren wurde die Veränderung des Pardé-Koeffizienten untersucht, was Hinweise auf Trends bezüglich einer (sich ändernden) Abflussaufteilung innerhalb des Jahres auf die einzelnen Monate geben kann. Der Pardé-Koeffizient berechnet sich aus dem Verhältnis zwischen dem mittleren Abfluss eines bestimmten Monats und dem Mittelwert des gesamten WHJ bzw. eines längeren Zeitabschnitts (PARDÉ, 1933). Ein Pardé-Koeffizient > 1 weist auf einen überdurchschnittlich hohen Durchfluss hin (z. B. in den Wintermonaten), während ein Wert < 1 einen Durchfluss niedriger als das Mittel kennzeichnet (z. B. in den Sommermonaten). Die Pardé-Koeffizienten wurden für alle Pegel über 10-jährige, sich nicht überlappende Zeitabschnitte für jeden Kalendermonat berechnet. Somit erhält man für jeden Kalendermonat einen Wert pro Pegel für jeden Zeitabschnitt. Hieraus lassen sich Änderungen im saisonalen Abflussgeschehen über die Jahrzehnte beschreiben.

3.6 Zuweisung von Jährlichkeiten

Mit den Niedrigwasser-Jährlichkeiten $\text{NMxQ}(T)$ für die Wiederkehrintervalle T mit 2 Jahren, 5 Jahren, 10 Jahren, 20 Jahren, 50 Jahren und 100 Jahren aus IAWG (2017) konnte jahresweise für alle Pegel ein Wiederkehrintervall zu den jährlichen Abflusswerten $\text{NM7Q}(a)$ und $\text{NM30Q}(a)$ abgeschätzt werden. Die entsprechende Jährlichkeit ergab sich durch Interpolation der $\text{NMxQ}(T)$ -Werte aus IAWG (2017). Die alternativ denkbare Zuordnung der Messwerte direkt in die bei IAWG (2017) pegelweise gewählten extremwertstatistischen Verfahren oder eine Aktualisierung der Extremwertstatistik wurde für die hier angestrebte Ableitung genereller Aussagen und Relationen nicht vorgenommen. Aus den einzelnen Jährlichkeiten aller Pegel wurden jahresweise Mittelwert und Median bestimmt. Die so ermittelten Werte werden als ganzzahlige Jährlichkeiten angegeben, womit eine Einordnung der untersuchten Niedrigwasserkennwerte für jedes WHJ möglich ist.

4 Ergebnisse

4.1 Niedrigwasserereignisse in Thüringen

In der Vergangenheit traten zahlreiche Niedrigwasserereignisse (NQE) in Thüringen auf. Diese NQE unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Dauer und Intensität. Um diese Variabilität in den NQE zu berücksichtigen, wurden drei statistische Parameter für eine Rangfolgeanalyse der WHJ herangezogen:

- Abweichung in Prozent vom langjährigen Mittelwert, gemittelt über alle Pegel innerhalb eines WHJ.
- Anzahl der Pegel, die das langjährige Mittel von MQ und MNQ innerhalb eines WHJ unterschreiten.
- Summe an Tagen einer Unterschreitung von $\overline{\text{NMxQ}}$ ($\text{sumD}(\overline{\text{NMxQ}})$), gemittelt über alle Pegel innerhalb eines WHJ.

Für die sehr frühen Aufzeichnungen aus den Jahren 1911 bis 1924 liegen Daten für weniger als zwölf Pegel vor (< 0 % der Gesamtanzahl von Pegeln), wodurch die statistische Aussagekraft klein ist. In der Rangfolgeanalyse werden daher erst die WHJ ab dem Jahre 1925 berücksichtigt.

In Abbildung 2a sind die prozentualen Abweichungen von MQ über alle Pegel als Boxplot für jedes WHJ aufgetragen und nach ihrem Mittelwert aufsteigend sortiert. Nach dieser Betrachtung sind die jüngeren NQE (innerhalb der letzten 30 Jahre) erst relativ nachgeordnet zu finden, an der Spitze liegen hier NQE aus den

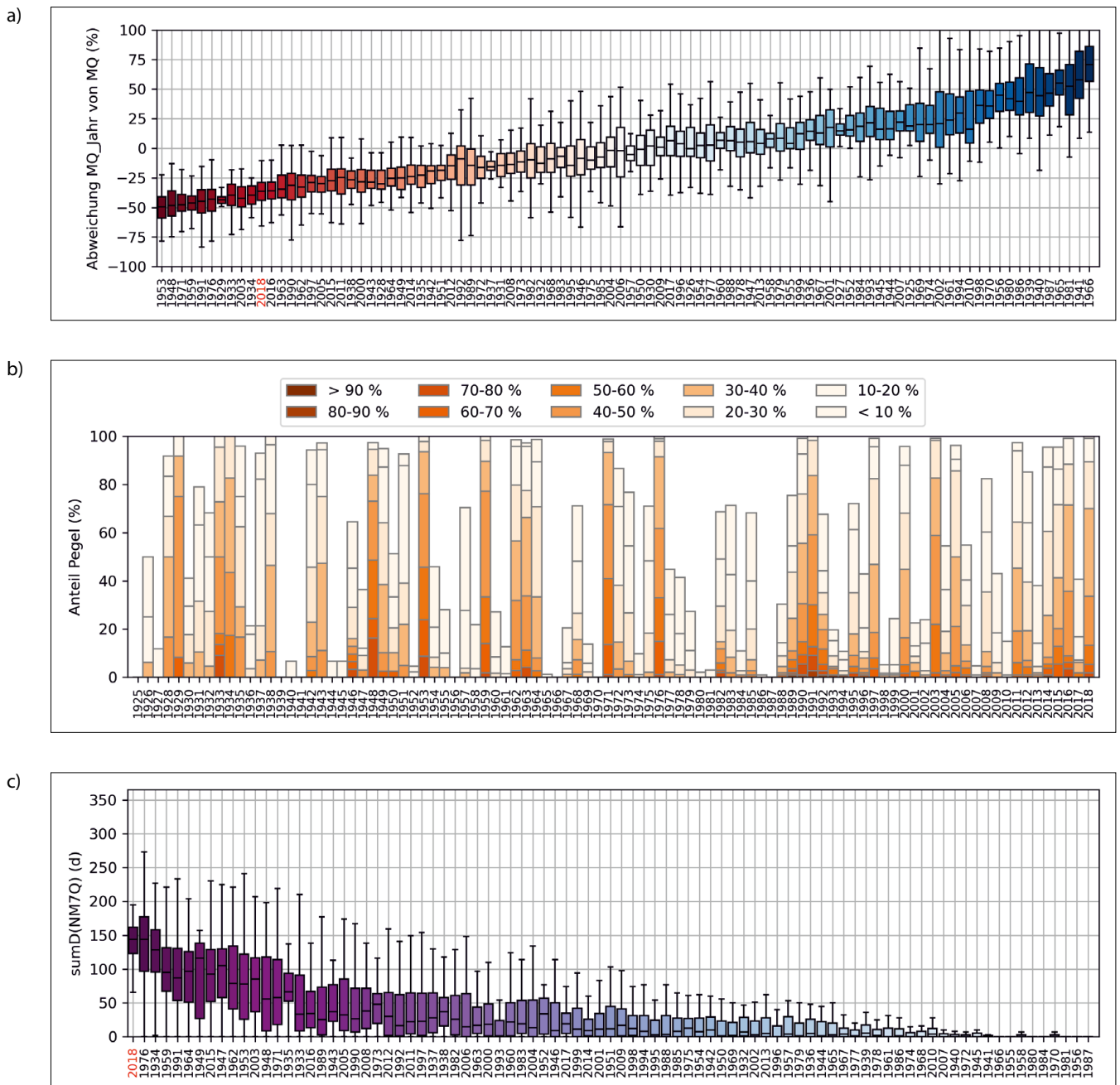


Abbildung 2

- a) Prozentuale Abweichung vom langjährigen Mittelwert MQ durch MQ_Jahr innerhalb eines WHJ für alle Pegel, aufsteigend sortiert nach dem Mittelwert (Box-Whiskers-Plots mit Median, oberem und unterem Quartil und Balken (Whiskers) mit maximaler Länge des 1,5-fachen Interquartilsabstandes bzw. dem letzten Datenwert innerhalb dieser Grenze),
- b) Anteil der Pegel, an denen der langjährige mittlere Abfluss MQ durch den mittleren Jahresabfluss MQ_Jahr unterschritten wird (farbliche Differenzierung zeigt die Stärke der Abweichung in % an),
- c) Summe der Unterschreitungstage von NM7Q innerhalb eines WHJ für alle Pegel, absteigend sortiert nach dem Mittelwert.
- a) Percentage deviations of the annual mean discharges (MQ_Jahr) from long-time mean discharge (MQ) for all gauges, sorted by the mean values, (Box-Whiskers-Plots with median, upper and lower quartiles and whiskers as maximum 1,5-times of the interquartile range, or last data value within this range),
- b) Fraction of gauges, where the annual mean discharge MQ_Jahr is lower than the long-time mean discharge (colours indicate the percentage deviation),
- c) Sum of days when daily discharge was lower than threshold NM7Q, sorted by the mean of all gauges.

1940er bis 1970er Jahren. Hierbei muss allerdings beachtet werden, dass die Datenlage zu diesen Zeitpunkten noch vergleichsweise gering war. Das WHJ 2018 ist hierbei auf Rang 11 (MQ) und 8 (MNQ, nicht dargestellt). Die Karte in Abbildung 3 zeigt die räumliche Verteilung der prozentualen Abweichungen von MQ für das WHJ 2018 in Thüringen.

Die Anzahl der Pegel, die für das jeweilige WHJ eine Unterschreitung von MQ aufweisen, werden als Anteil zur existierenden gesamten Pegelanzahl in Abbildung 2b dargestellt. 100 % bedeutet hierbei, dass alle existierenden Pegel zu diesem Zeitpunkt MQ unterschreiten. Es gab insgesamt neun WHJ, während denen 100 % der Pegel eine Unterschreitung von MQ aufwiesen. Unter diesen WHJ ist auch das Jahr 2018. Bei der Unterschreitung von MNQ (nicht dargestellt) liegt das WHJ 2018 auf dem zweiten Rang (Auswertungen zu MNQ in TRAUTH & HAUPT (2021)).

Die Dauer von Niedrigwasserperioden $\text{sumD}(\overline{\text{NMxQ}})$ zeigt Abbildung 2c (für alle Pegel als Boxplots und nach dem Mittelwert absteigend sortiert). Hierbei liegt das WHJ 2018 auf dem

ersten Rang für $\overline{\text{NM7Q}}$ und dem zweiten Rang für die Unterschreitung von NM30Q (nicht dargestellt).

In Abbildung 3 sind die Abweichungen von MQ für das WHJ 2018 in Thüringen dargestellt. Hier wird deutlich, dass die Pegel innerhalb des Thüringer Beckens stärker von MQ abweichen als Pegel in den Höhenlagen (Thüringer Wald). Die EZG der höher gelegenen Pegel haben generell einen hohen Waldanteil, steiles mittleres Gefälle, einen hohen mittleren Niederschlag und eine niedrige mittlere Temperatur (und somit eine niedrige Evapotranspiration). Demgegenüber weisen EZG im Unterlauf der Gewässer entgegengesetzte Wertebereiche auf.

Für sechs Niedrigwasserkennwerte wurden die jeweiligen Ränge der WHJ bestimmt. Hieraus kann wiederum ein Mittelwert gebildet werden, um nur noch einen Rangwert pro WHJ zu erhalten. Tabelle 1 zeigt die nach dieser Methodik ersten zehn Jahre. Insgesamt wird ersichtlich, dass die extremsten Niedrigwasserperioden ihren Schwerpunkt bei den WHJ 1959 (57 Pegel), 1976 (94 Pegel), 1991 (110 Pegel), 2003 (109 Pegel) und 2018

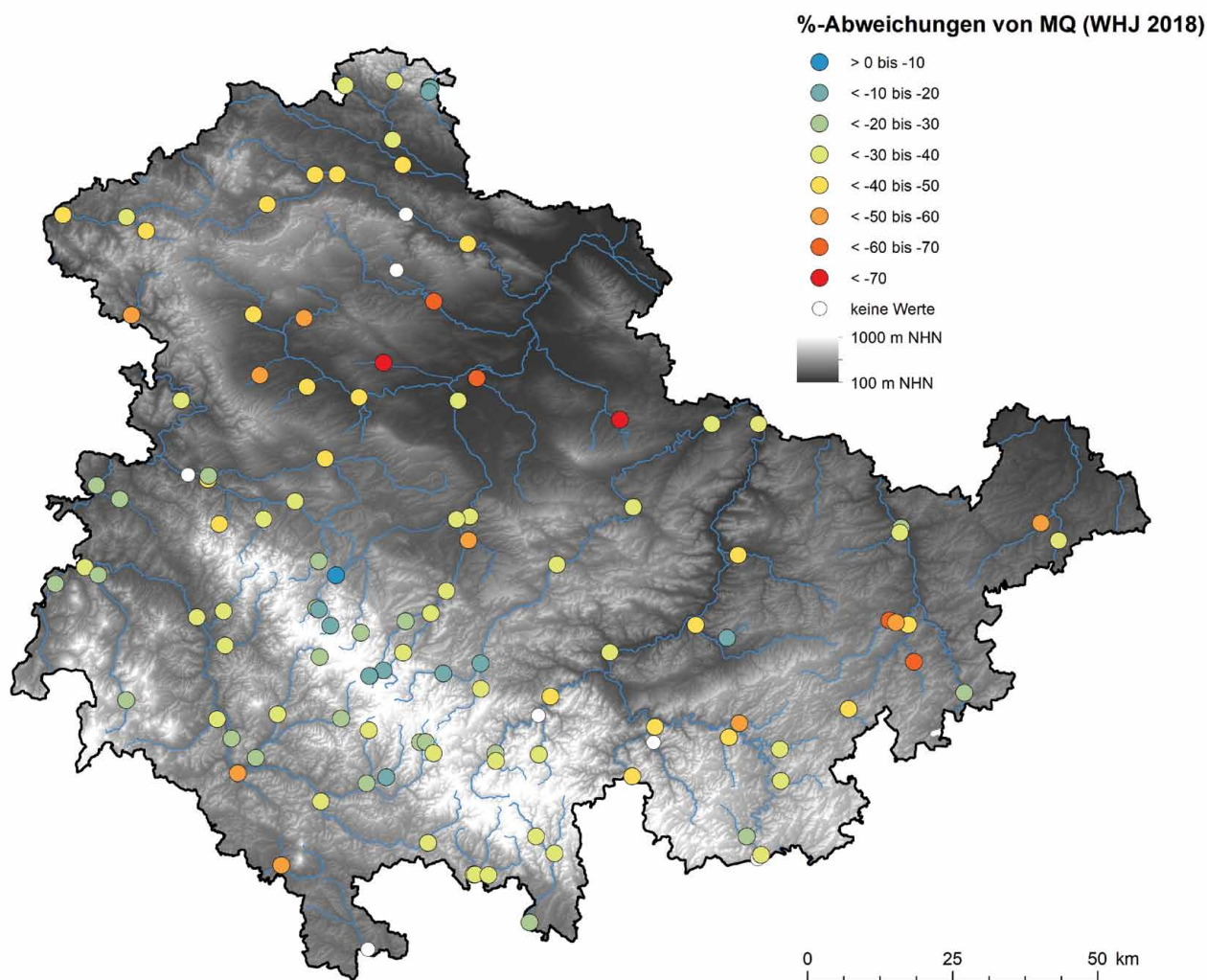


Abbildung 3

Karte mit prozentualen Abweichungen des Jahresmittelwerts MQ_{Jahr} für das WHJ 2018 vom langjährigen Mittel MQ und Höhenmodell im Hintergrund.

Map showing the percentage deviations of the annual mean discharges of 2018 from long-time mean discharge (MQ), and elevation in background.

Tabelle 1
Rangfolgeanalyse für die Auswertung von Niedrigwasserereignissen in Thüringen.
Rank analysis for evaluating the low flow periods in Thuringia.

Lfd. Nr.	Jahr	Pegel Anzahl	Ø Rang	Abweichungen vom langjährigen Mittel				Anzahl Pegel Unterschreitung langjähriges Mittel				Summe Unterschreitungstage NMxQ pro Jahr			
				MQ		MNQ		MQ		MNQ		sumD (NM30Q)		sumD (NM7Q)	
				% Ø	Rg.	% Ø	Rg.	%	Rg.	%	Rg.	Ø	Rg.	Ø	Rg.
1	1976	94	2,9	-45,0	6	-53,6	5	100,0	1	95,7	4	170	1	135	2
2	1934	23	3,7	-39,8	10	-63,1	2	100,0	1	95,7	5	156	3	133	3
3	2018	113	4,1	-36,5	11	-51,1	8	100,0	1	97,3	2	169	2	142	1
4	1959	57	4,1	-46,2	4	-52,4	6	100,0	1	94,7	6	138	5	106	5
5	1991	110	5,5	-45,0	5	-47,0	9	100,0	1	94,5	7	137	7	105	7
6	1929	12	6,3	-42,1	7	-70,9	1	100,0	1	100,0	1	113	16	91	12
7	1953	46	8,0	-49,4	1	-37,2	14	100,0	1	84,8	17	130	10	87	13
8	2003	109	12,1	-41,0	9	-37,9	13	99,1	12	88,1	12	125	13	87	13
9	1962	69	12,5	-31,6	15	-34,7	15	98,6	16	88,4	13	143	4	93	11
10	1971	88	13,2	-46,2	3	-32,4	16	98,9	14	87,5	8	119	15	77	17

(113 Pegel) haben. Das Jahr 1947 (33 Pegel) nimmt eine gewisse Sonderstellung ein (in Tab. 1 nicht dargestellt, belegt Rang 24), da die Abweichung von MQ positiv ist, was auf die hohen Abflüsse in den Wintermonaten des WHJ 1947 zurückzuführen ist.

Alle anderen Parameter zur Charakterisierung von NQE weisen aber auf ein sehr starkes NQE im Sommer 1947 hin. Weil im Jahr 1929 und 1934 nur Daten zu wenigen Pegeln existieren, wurden diese Jahre wegen mangelnder statistischer Aussagekraft nicht in die weiterführende Analyse miteinbezogen. Auch das Jahr 1953 wurde nicht in die nachfolgende Analyse miteinbezogen, da bis auf die Abweichung von MQ keine weiteren Parameter zur Bewertung von Niedrigwasser auffällig sind.

Festzuhalten ist, dass nahezu in jedem Jahrzehnt seit Beginn der Pegelaufzeichnungen eine mehrjährige Niedrigwasserperiode aufgetreten ist, innerhalb derer ein extremes Niedrigwasserjahr (s. o.) liegt (vgl. auch Abb. 2b).

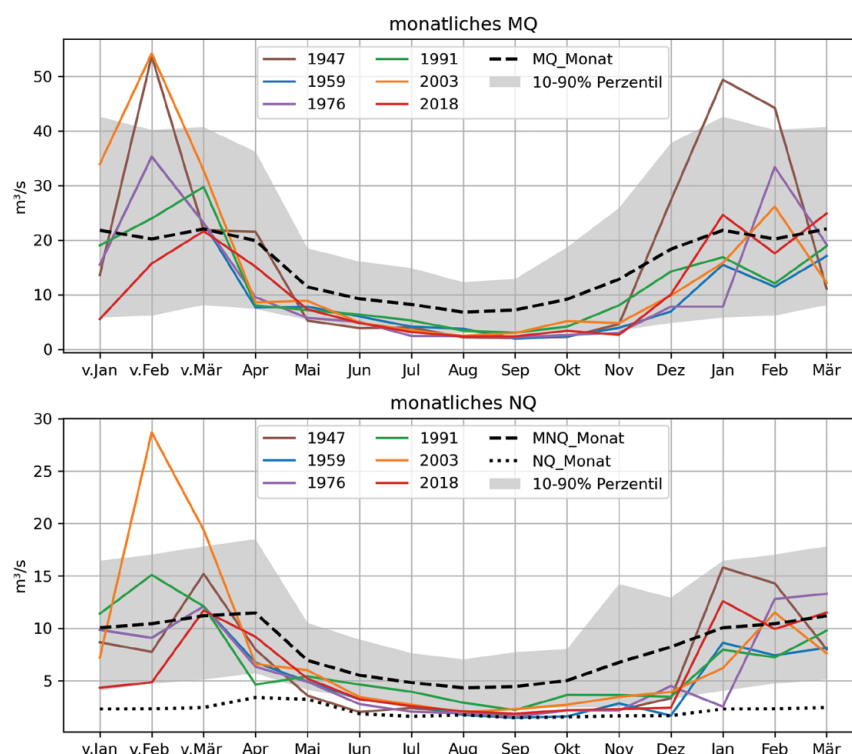


Abbildung 4

Saisonale Variation der monatlich gemittelten Abflüsse (oben) und der niedrigsten Monatsabflüsse (unten) für ausgewählte Niedrigwasserjahre am Pegel Meiningen/Werra im Vergleich zum Jahresgang der langjährigen mittleren Monatswerte MQ-Monat und MNQ-Monat sowie das NQ_Monat. Die Monate des vorherigen WHJ sind mit "v." gekennzeichnet.

Seasonal variation of mean monthly discharges (upper) and of lowest monthly discharges (lower) compared to long term mean discharges for selected low flow periods at gauge Meiningen/Werra. The month of the previous water balance year are marked by "v.".

4.2 Zeitlicher Verlauf der Niedrigwasserereignisse

In Abbildung 4 sind exemplarisch für den Pegel Meiningen/Werra (längste Datenreihe in dieser Untersuchung) diejenigen NQE dargestellt, welche im vorhergehenden Kapitel 4.1 für Thüringen als besonders überregional und anhaltend identifiziert worden waren. Es kann deshalb davon ausgegangen werden, dass die Abläufe bei den meisten anderen Pegeln in Thüringen prinzipiell ähnlich ausgeprägt waren.

Die NQE finden vor allem im Zeitraum Juli bis Oktober statt. Ab März/April sinkt der Abfluss bereits auf ein sehr niedriges Niveau, wobei das WHJ 2018 erst ab April/Mai deutlich absinkt, dies allerdings lange anhält. Erst im Januar des Folgejahres gibt es beim monatlichen NQ eine nennenswerte Zunahme, was bei allen anderen NQE

in vorherigen Monaten wenigstens zwischenzeitlich einmal der Fall gewesen war. Das Jahr 1947 weicht von den anderen Niedrigwasserjahren mit überdurchschnittlichen Abflüssen im Januar/Februar sowie Dezember und zumindest durchschnittlichen Abflüssen im April ab. In den anderen Monaten war der Abflussmangel 1947 dagegen zum Teil äußerst massiv.

Im Grundsatz zeigen die dargestellten Niedrigwasserjahre mindestens anhaltende Unterschreitungen der langjährigen Vergleichswerte (MQ_Monat und MNQ_Monat). Das 10%-Quantil aller Monats-NQ der Gesamtreihe wird ebenfalls zeitweise unterschritten.

4.3 Trendanalysen

4.3.1 Mann-Kendall-Trendtests

Die Pegelzeitreihen weisen unterschiedliche Laufzeiten auf. Für eine zusammenfassende Aussage bzgl. der Trends werden gleich lange Abschnitte herangezogen. Je kürzer der Zeitabschnitt gewählt wird, desto mehr Pegelzeitreihen stehen zur Verfügung, da im Laufe der Zeit mehr Pegel installiert wurden. Jedoch ist die Aussagekraft zu Trends umso größer, je länger der betrachtete Zeitabschnitt ist. Es wurden daher für jeden Zeitabschnitt beginnend vom WHJ 1912 bis zum WHJ 2018 die jeweiligen Trends ausgewertet. Die Zeitabschnitte zwischen WHJ 2009 und 2018 wurden aufgrund der Kürze des Abschnittes von weniger als zehn Jahren nicht ausgewertet. Es wird deutlich, wie die Wahl des Zeitabschnittes der Pegelaufzeichnung die Trend-Bewertung beeinflusst.

Der Anteil der Pegel, der einen signifikanten negativen Trend für NQ_Jahr beschreibt, variiert über die Zeit mit einem Maximum um das Jahr 1980 (Abb. 5). Hier zeigen z. B. die Daten für den Zeitabschnitt von ≈ 1980 bis 2018, dass fast 50 % der Pegel einen signifikant negativen Trend aufweisen. Der Anteil der Pegel mit signifikantem Trend verringert sich mit kürzer werdenden Abschnitten. Bemerkenswert ist auch, dass der Anteil der Pegel, die einen positiven Trend aufweisen, mit kürzerem Abschnitt geringer wird. Insgesamt ist zu erkennen, dass seit den fünfziger Jahren der Anteil an Pegeln mit signifikant negativem Trend stets den Anteil an Pegeln mit positiven Trends überwiegt. Diese

Aussage ist unabhängig davon, welcher Abschnitt für die Trendberechnung gewählt wird und deutet auf eine Verringerung der Niedrigwasserabflüsse NQ_Jahr in den letzten Jahrzehnten hin. Des Weiteren wird ersichtlich, dass der Trend umso stärker wird, je kürzer die Zeitabschnitte gewählt werden (Farbgebung in Abb. 5). Dieser Zusammenhang deutet darauf hin, dass insbesondere in den letzten 20 Jahren die Abnahme der NQ_Jahr-Abflüsse stärker geworden ist.

Für eine abschließende Aussage in Bezug auf vorliegende Trends in den ausgewerteten Pegelzeitreihen wurden daher sowohl ein Zeitabschnitt von 70 Jahren als auch von 40 Jahren gewählt (Tab. 2). Der lange Zeitabschnitt umfasst den Zeitraum ab WHJ 1948 bis 2018 und berücksichtigt rd. ein Drittel der Gesamtanzahl der Pegel. Der kürzere Zeitabschnitt von 40 Jahren seit dem WHJ 1978 bezieht 82 % der Pegel in die Analyse mit ein.

Generell zeigt sich für alle hydrologischen Größen, dass für den 40-jährigen Zeitabschnitt die Anteile der Pegel mit einem signifikanten Trend größer sind, insbesondere auch die Anteile mit einem signifikant negativem Trend. Für die Abflussentwicklung in den letzten 40 Jahren ist demnach ein negativer Trend der Niedrigwasserabflüsse stärker verbreitet. Ausnahmen bilden hier die Ergebnisse für NQ_Januar, NQ_Februar sowie NQ_August, wo die Pegelanteile mit signifikant negativen Trends für den 70-jährigen Zeitabschnitt geringfügig höher sind.

Die stärkste Diskrepanz zwischen 70- und 40-jährigem Zeitabschnitt tritt für die Trends zu den jahresweisen MQ- und NQ-Werten auf. Für den 40-jährigen Zeitabschnitt liegen die Pegelanteile mit signifikant negativen Trends bei 74,3 % (MQ_Jahr) und 48,5 % (NQ_Jahr). Bei Betrachtung des 70-jährigen Zeitabschnitts sind die Anteile mit negativem Trend mit 4,9 % (MQ_Jahr) und 12,2 % (NQ_Jahr) um ein Vielfaches geringer. Für den 70- und 40-jährigen Zeitabschnitt gilt, dass für mehr als 25 %, bzw. 50 % der jeweiligen Pegel die Abflüsse in den Sommermonaten (MQ_Sommer, NQ_Sommer, NQ_April bis NQ_Juli) signifikant negative Trends aufweisen (fett markiert in Tab. 2).

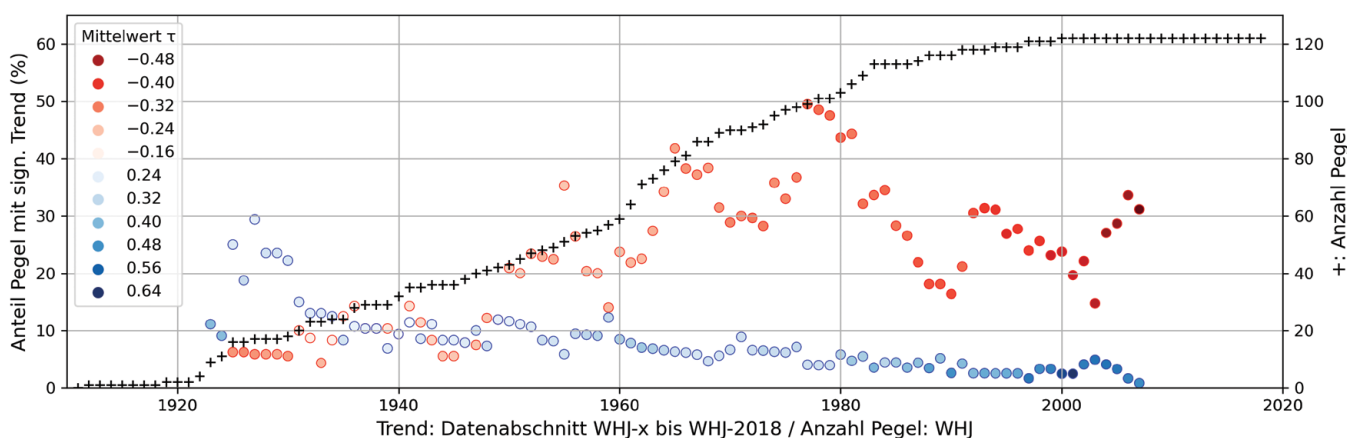


Abbildung 5

Anteil der Pegel mit signifikantem Trend nach Mann-Kendall (modifiziert nach HAMED & RAO, 1998) für NQ_Jahr über Zeitabschnitte zwischen dem jeweiligen Jahr und dem WHJ 2018. Die Anzahl der ausgewerteten Pegel zu einem jeweiligen WHJ ist mit "+" gekennzeichnet (rechte y-Achse).
Fraction of gauges with a significant trend from Mann-Kendall-tendency tests (modified by HAMED & RAO, 1998) for lowest yearly discharges (NQ_Jahr) between the respective year and 2018. The number of gauges used for the analysis is marked by "+" on the right y-axis.

Tabelle 2

Ergebnisse des Mann-Kendal-Trendtests für hydrologische Kenngrößen für gleich lange Pegelzeitreihen beginnend ab WHJ 1948 und WHJ 1978 bis WHJ 2018.

Results for the Mann-Kendal-tests for hydrologic parameters for time series of equal length starting at 1948 and 1978 until 2018.

Parameter	Anzahl Pegel: 1948 / 1978				Anteil Signifikant	Anteil sign. negativer Trend
	Gesamt	Sign. Trend (p < 0,05)	Sign. negativer Trend	Sign. positiver Trend	%	%
MQ_Jahr	41 / 101	3 / 75	2 / 75	1 / 0	7,3 / 74,3	4,9 / 74,3
NQ_Jahr	41 / 101	8 / 53	5 / 49	3 / 4	19,5 / 52,5	12,2 / 48,5
MQ_Winter	41 / 101	6 / 19	1 / 19	5 / 0	14,6 / 18,8	2,4 / 18,8
MQ_Sommer	41 / 101	19 / 86	18 / 86	1 / 0	46,3 / 85,1	43,9 / 85,1
NQ_Winter	41 / 101	7 / 20	3 / 16	4 / 4	17,1 / 19,8	7,3 / 15,8
NQ_Sommer	41 / 101	17 / 57	14 / 54	3 / 3	41,5 / 56,4	34,1 / 53,5
NQ_April	41 / 101	18 / 76	16 / 76	2 / 0	43,9 / 75,2	39,0 / 75,2
NQ_Mai	41 / 101	12 / 80	12 / 79	0 / 1	29,3 / 79,2	29,3 / 78,2
NQ_Juni	41 / 101	17 / 72	16 / 71	1 / 1	41,5 / 71,3	30,9 / 70,3
NQ_Juli	41 / 101	19 / 65	18 / 65	1 / 0	46,3 / 64,4	43,9 / 64,4
NQ_August	41 / 101	16 / 32	14 / 31	2 / 1	39 / 31,7	34,1 / 30,7
NQ_September	41 / 101	13 / 41	10 / 40	3 / 1	31,7 / 40,6	24,4 / 39,6
NQ_Dezember	41 / 101	10 / 26	8 / 25	2 / 1	24,4 / 25,7	19,5 / 24,8
NQ_Januar	41 / 101	6 / 9	2 / 4	4 / 5	14,6 / 8,9	4,9 / 4,0
NQ_Februar	41 / 101	5 / 5	3 / 3	2 / 2	12,2 / 5	7,3 / 3,0
NQ_März	41 / 101	7 / 14	1 / 12	6 / 2	17,1 / 13,9	2,4 / 11,9

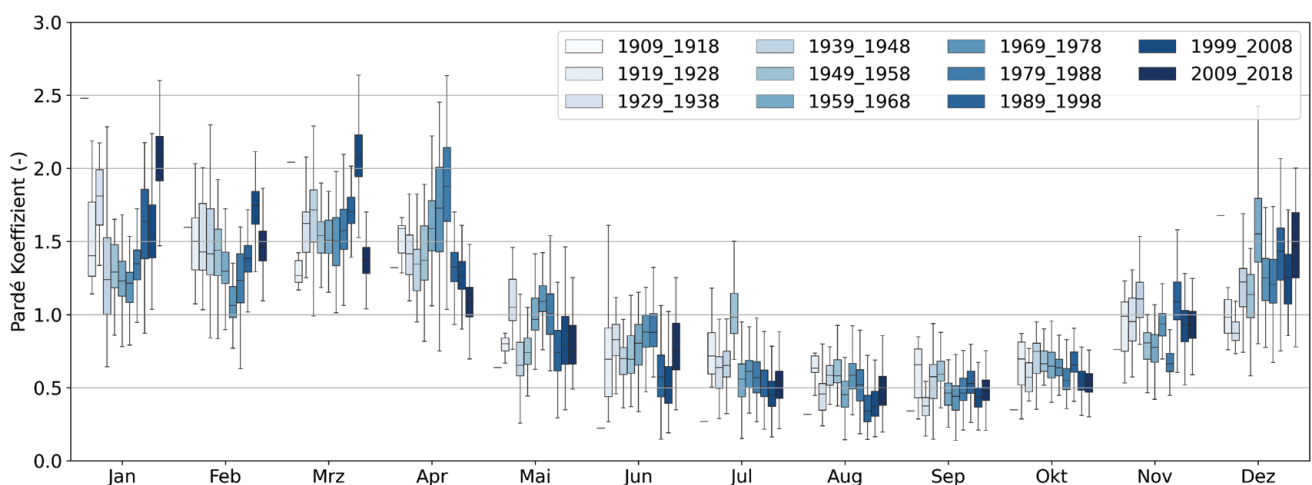
Für die Wintermonate (MQ_Winter, NQ_Winter) überwiegen die Pegelanteile mit signifikant positivem Trend für den 70-jährigen Zeitabschnitt, während für den 40-jährigen Zeitabschnitt die Pegelanteile mit signifikant negativem Trend überwiegen.

Es wird deutlich, dass bei Betrachtung längerer Zeitabschnitte die Niedrigwasser-Entwicklung der letzten Jahrzehnte weniger stark ins Gewicht fällt. Dennoch sind für die Monate im Sommer

auch bei Betrachtung der langen Zeitreihen hohe Pegelanteile deutlich negativen Trends zu verzeichnen.

4.3.2 Änderungen des Pardé-Koeffizienten

In Abbildung 6 ist der saisonale Verlauf des Pardé-Koeffizienten für 10-jährige Abschnitte dargestellt. Auffallend sind hier v. a. die Monate Januar/Februar und April/Mai, in denen seit ca. 30 bis 40 Jahren eine Umkehr der Änderung des Pardé-Koeffizienten erkennbar ist. In den frühen Aufzeichnungen bis zum Jahr 1970

**Abbildung 6**

Monatliche Pardé-Koeffizienten für 10-jährige Zeitabschnitte über alle Pegel (Box-Whiskers-Plots mit Median, oberem und unterem Quartil und Balken (Whiskers) mit maximaler Länge des 1,5-fachen Interquartilsabstandes bzw. dem letzten Datenwert innerhalb dieser Grenze).

Monthly Pardé-coefficients for decadal time periods (Box-Whiskers-Plots with median, upper and lower quartiles and whiskers as maximum 1,5-times of the interquartile range, or last data value within this range).

Tabelle 3

Mittlere Jährlichkeiten T (Angabe in Jahren) für NM7Q(a) und NM30Q(a) in ausgewählten Niedrigwasserjahren.

Mean return periods T for selected low flow periods for NM7Q(a) and NM30Q(a).

WHJ		1947	1959	1976	1991	2003	2018
Jährlichkeit T (NM30Q)	Mittelwert	16	16	12	12	12	15
	Median	10	8	8	7	7	10
Jährlichkeit T (NM7Q)	Mittelwert	9	10	9	6	8	10
	Median	8	6	6	5	5	7

ist ein abfallender Trend in den Monaten Januar/Februar erkennbar, während in diesem Zeitraum im April/Mai der Pardé-Koeffizient steigt. Insgesamt wird es also in diesem Zeitraum im Januar/Februar trockener, während es im April/Mai feuchter wird. Diese Trends kehren sich gegen Ende der 1980er Jahre um, sodass es im Januar/Februar feuchter wird und im April/Mai ein starker Trend hin zu trockeneren Verhältnissen auftritt. Dies kann auf seit dieser Zeit zurückgehende oder gänzlich fehlende Schneedecken zurückzuführen sein, was zum einen zu höheren, direkt abflusswirksamen Niederschlägen im Januar/Februar führt und zum anderen darauf, dass eine ausgeprägte Schneeschmelze im März/April ausbleibt.

Wasserwirtschaftlich gesehen bedeutet dies eine potenzielle Verlängerung von Trockenwetterphasen mit gleichzeitiger Verkürzung der wasserhaushälterischen Regenerationszeit. Der Wassermangel speziell im April/Mai ist besonders problematisch, weil er dann mit dem Start der allgemeinen Vegetationsperiode zusammenfällt. Ausreichend Wasser in dieser Zeit ist für das Wachstum besonders wichtig. Defizite dabei können lange negativ nachwirken, selbst bei möglicherweise guter Wasserversorgung in den Sommermonaten.

4.4 Jährlichkeiten/Wiederkehrintervalle der Niedrigwasserereignisse

Exemplarisch zeigt Tabelle 3 Ergebnisse der Auswertungen für die besonders extremen Niedrigwasserjahre zu den Wiederkehrintervallen für die Kennwerte NM7Q(a) und NM30Q(a) (zur Vorgehensweise vergleiche Kap. 3.6). Für NM30Q(a) liegt die mittlere Jährlichkeit im WHJ 2018 über alle Pegel bei 15 Jahren (Median: 10 Jahre) und ist mit den Niedrigwasserjahren 1947 und 1959 vergleichbar. Die mittlere Jährlichkeit für NM7Q(a) liegt 2018 bei 10 Jahren und weist damit im Vergleich zu älteren Niedrigwasserjahren zusammen mit dem WHJ 1959 die größte Jährlichkeit auf. Der Median der Jährlichkeiten mit 7 Jahren liegt dabei zwischen jenen der Jahre 1947 und 1959. Insgesamt gesehen ist damit das WHJ 2018 hinsichtlich der Wiederkehrintervalle das stärkste Niedrigwasserjahr seit den 1950er/1960er Jahren. Dies trifft für das gesamte Land Thüringen zu, da sich die Jährlichkeiten innerhalb der drei HSG in ihrem generellen Verlauf über die Jahre nicht unterscheiden.

5 Diskussion

Das Auftreten starker Niedrigwasserereignisse (NQE) in jüngerer Zeit in Mitteleuropa hängt u. a. mit der klimatischen Entwicklung in der Arktis zusammen. Die schnellere Erwärmung dort reduziert den Temperaturunterschied in Richtung Süden, sodass die Verlagerung der Hoch- und Tiefdruckgebiete nach Osten verlang-

samt wird. Teilweise kommt es sogar zur Verharrung und damit Blockierung der üblichen Westströmung über Wochen. Dies hat in den Jahren 2018 und 2019 zu einem enormen Niederschlagsdefizit während der langen Andauer von Hochdruckgebieten bei hohen Temperaturen geführt (NASA, 2020). Diese Zusammenhänge führten zuvor schon in den Jahren 2003, 2006, 2010 und 2015 zu den extremsten, jemals aufgezeichneten europäischen Hitzewellen (MANN et al., 2018; KORNHUBER et al., 2019; PSU, 2018; PIK, 2018 und 2019). Die Studien zeigen, dass die Häufigkeit und Dauer der Stagnation in den letzten zwei Jahrzehnten deutlich zugenommen hat. Während es vor 1999 keine Sommer gab, in denen die Wellen des Jetstreams die Stagnation länger als zwei Wochen an einer Stelle verharrten, gab es seitdem bereits sieben solcher Sommer.

Das beschriebene meteorologische Bild findet sich in Thüringen wieder und schlug sich in den vergangenen Jahrzehnten in signifikant fallenden Trends bei Abflüssen im Sommerhalbjahr nieder, allerdings in regional unterschiedlicher Ausprägung. So haben z. B. EZG im Thüringer Wald eine hohe geodätische Höhe, einen hohen Waldanteil, steiles mittleres Gefälle, einen hohen mittleren Niederschlag und eine niedrige mittlere Temperatur (und somit eine niedrige Evapotranspiration). Diese meist im Oberlauf befindlichen EZG und deren Gewässer sind von Niedrigwasserperioden bisher eher schwach betroffen. Demgegenüber gibt es EZG, die im Unterlauf der Gewässer liegen und genau entgegengesetzte Wertebereiche haben. Diese Gewässer weisen insgesamt eine sehr starke mittlere langjährige prozentuale Abweichung während der NQE auf. Meist herrscht hier eine geringere positive Wasserbilanz, sodass diese Gebiete besonders sensitiv auf Systemänderungen reagieren. Zwischen diesen beiden unterschiedlich reagierenden EZG-Typen befinden sich EZG mit gemäßigten klimatischen Bedingungen sowie EZG-Charakteristiken und somit auch moderaten Abflussabweichungen vom MQ.

Das Phänomen fehlender feuchter Jahre seit den 1980er Jahren hat bereits HAUPT (2008) bei einer Trendanalyse von NMxQ(a) bei einzelnen Thüringer Pegeln festgestellt. Die Signale insgesamt waren aber noch zu uneinheitlich, sodass dieses Trendindiz seinerzeit nicht weiterverfolgt wurde. Aus heutiger Sicht ist dagegen festzustellen, dass die vor der 1980er Dekade regelmäßig beobachteten Jahre ohne Niedrigwasserphasen zuletzt immer weniger auftraten. Zudem lässt sich in Folge von gestiegenen Temperaturen eine Verschiebung zu stärker pluvialen Winter-niederschlägen und daher geringerer Feuchte im Frühjahr erklären. Insbesondere der jetzt belegte, stärkere Trend im April/Mai hin zu geringeren Wassermengen (Pardé-Koeffizient) kann dazu führen, dass Hitzewellen, wie in den Jahren 1991, 2003

und 2018 zu extremen NQE führen, da die natürlichen Wasserspeicher bis April nicht ausreichend für das Sommerhalbjahr gefüllt wurden.

6 Zusammenfassung

Die Zeitreihenanalyse von 122 Pegeln an Thüringer Gewässern ergab, dass in nahezu jedem Jahrzehnt extreme Niedrigwasserjahre auftraten. Nennenswert sind hier die Wasserhaushaltsjahre (WHJ) 1947, 1959, 1976, 1991, 2003 und 2018. Insgesamt gesehen lässt sich das WHJ 2018 als ein sehr lang anhaltendes, sehr gleichmäßiges und sämtliche Pegel (bzw. Regionen) betreffendes Niedrigwasserjahr beschreiben. Das bisher stärkste Niedrigwasserjahr von 1976 wird allerdings vom WHJ 2018 bezüglich der Niedrigwasserkenngößen nicht überschritten. Das WHJ 2018 hatte im Mittel aller Pegel für NM30Q das seltenste Wiederkehrintervall (15 Jahre) seit 1959 und für NM7Q ein identisch seltenes Wiederkehrintervall (10 Jahre) wie 1959.

Eine räumliche Analyse der Stärke der Niedrigwasserereignisse ergibt, dass EZG in niedrigeren Lagen (z. B. Thüringer Becken) mit weniger Waldanteil, geringem mittleren Gefälle und weniger Niederschlag stärker von Niedrigwasserereignissen betroffen sind. Umgekehrt reagieren höher gelegene EZG, wie z. B. der Thüringer Wald, weniger stark auf Trockenheit.

Zur Trendbewertung wurden Mann-Kendall-Trendtests nach HAMED & RAO (1998) mit gleich langen Pegelreihen durchgeführt. Für jährliche mittlere Abflüsse (MQ_Jahr) zwischen 1978 und 2018 zeigt sich, dass an 74,3 % der Pegel die Abflüsse signifikant sinken. Für einen 70-jährigen Zeitabschnitt seit 1948 weisen nur 4,9 % der Pegel einen signifikant negativen Trend auf. Die Trends zu den niedrigsten jährlichen Abflüssen (NQ_Jahr) zeigen, dass 48,5 % der Pegel einen signifikant negativen Trend für den 40-jährigen Zeitabschnitt aufweisen (12,2 % für den 70-jährigen Zeitabschnitt). Für die Sommermonate ist für den 40-jährigen Zeitabschnitt zu erkennen, dass für mehr als 50 % der Pegel die Abflüsse in den Sommermonaten (MQ_Sommer, NQ_Sommer, NQ_April bis NQ_Juli) signifikant sinken (für mehr als 25 % für den 70-jährigen Abschnitt). Es wird deutlich, dass bei Betrachtung längerer Zeitabschnitte die Niedrigwasser-Entwicklung der letzten Jahrzehnte weniger stark ins Gewicht fällt. Dennoch sind für die Sommermonate auch bei Betrachtung der langen Zeitreihen zum Teil deutliche negative Trends zu verzeichnen.

Die Pardé-Koeffizienten zeigen seit 30 Jahren Verschiebungen, v. a. im Monat April hin zu trockeneren Perioden an, was auf immer früher einsetzende Wasserdefizite im Jahresverlauf hindeutet. Dies könnte auf die fehlenden Schneemengen zurückzuführen sein.

Durch den Klimawandel bedingt, kommt es zu einer Häufung von starken Niedrigwasserereignissen in Mitteleuropa (ROERS & WECHSUNG, 2015; LARINA & KRAHE, 2013). Diese Effekte können für die Region Thüringen in Bezug auf die Entwicklung seit den 1980er Jahren bestätigt werden. Hieraus wird ersichtlich, dass der Klimawandel nicht nur in großräumigen Einzugsgebieten eine Auswirkung auf den Wasserhaushalt hat, sondern auch auf der regionalen Skala eines Bundeslandes sichtbar ist. Dies ist bei Strategien und Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel zu berücksichtigen.

Die vorgestellten Untersuchungen sind in den Aufbau des neuen Thüringer Niedrigwasserportals eingeflossen. Die aktuelle Niedrigwasserlage des Landes kann dort unter folgender Webseite abgerufen werden: <https://www.tlubn.thueringen.de/nw>.

Summary

Time series analysis were used to evaluate 122 gauges in Thuringian rivers for occurrence and magnitude of low flow periods. The results show, that extreme low flow periods occurred in almost every decade. Here, the years 1947/48, 1959, 1976, 1991, 2003 and 2018 are worth mentioning. Specifically, during the year 2018 the low flow period was extremely long lasting and regionally equally distributed over all gauges. However, with respect to low flow statistics the period of the year 1976 was not surpassed by that of the year 2018. The low flow period during 2018 showed the most extreme reoccurrence period since 1959 (15 years) based on NM30Q a rare return period similar to 1959 based on NM30Q (10 years).

A spatial analysis of the magnitude of the low flow periods shows that catchment with low altitude (e.g. Thuringian Basin) with little forest areas, small mean slopes and low precipitation are more affected by low flow periods. Conversely, catchments with high altitude, such as the Thuringian Forest, react less strong during low flow periods.

Mann-Kendall tendency tests were applied to discharge time series of equal length. For mean annual discharges between 1978 and 2018 for 74.3 % of the gauges the discharges decrease significantly. For the 70-year period since 1948, only for 4.9 % of the gauges show a significant negative trend. Significant negative trends based on the lowest yearly discharges were found for 53.5 % of the gauges for the 50-year period (12.2 % for the 70-year period). For the lowest discharge values during the summer months, a significant discharge decrease was observed for 50 % of the gauges during the 40-year period (> 30 % for the 70-year period). Obviously, using long time periods for evaluating low flow periods the last decades are less important. Nevertheless, even for long time series, distinct negative trends can be observed for the summer month.

The Pardé coefficient shows shifts since the last 30 years, especially in April, towards drier conditions, which indicates a shift towards earlier water deficits in the course of the year. This effect could be attributed to the lack of snow during winter.

Due to climate change, there is an increase of low discharge periods in Central Europe (ROERS & WECHSUNG, 2015; LARINA & KRAHE, 2013). These effects can be confirmed for the region of Thuringia. This shows that the effects of climate change are not limited to the water balance in large catchment areas, but are also visible on the regional scale of a federal state. This must be taken into account for strategies to adapting climate change.

The results of this study were used to establish a web-based low flow portal for Thuringia, where the current low flow situation can be retrieved: <https://www.tlubn.thueringen.de/nw>.

Anschriften der Verfasser

Dr.-Ing. Nico Trauth
Björnsen Beratende Ingenieure Erfurt GmbH –
Niederlassung Leipzig
Dohnanyistraße 28, 04103 Leipzig
Tel.: 0341 962759-23
n.trauth@bjoernsen.de

Dr. Ralf Haupt
Thüringer Landesamt für Umwelt,
Bergbau und Naturschutz (TLUBN)
Referat 41, Hydrologischer Landesdienst,
Hochwassernachrichtenzentrale
Göschwitzer Straße 41, 07745 Jena
Tel.: 0361 573942-520
ralf.haupt@tlubn.thueringen.de

Literaturverzeichnis

- BCE (2020): Niedrigwasseranalyse 2018/2019 Thüringen – Entwicklung und Anwendung fortschreibbarer Bewertungsgrundlagen, Ergebnisbericht, Björnsen Beratende Ingenieure GmbH im Auftrag des Thüringer Landesamtes für Umwelt, Bergbau und Naturschutz, unveröffentlicht, Erfurt und Leipzig.
- DHI-WASY (2018): NQ-Regional Thüringen – Niedrigwasserregionalisierung, DHI-WASY GmbH im Auftrag der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie, unveröffentlicht, Berlin.
- DWA (2020): Statistische Analyse von Niedrigwasserkenngrößen. Merkblatt DWA-M 541, Entwurf, Stand Oktober 2020, Hennef.
- HAMED, K.H. & A. RAO (1998). A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology*. DOI 10.1016/S0022-1694(97)00125-X.
- HAUPT, R. (2004): Niedrigwasserabfluss im Sommer 2003 an Fließgewässern Thüringens – eine statistische Erstbewertung. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 48, 4, 170-175.
- HAUPT, R. (2008): Niedrigwasserabflüsse in Thüringen – Trends, Statistik, Regionalisierung. *Schriftenreihe der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie*, 82, Jena.
- IAWG (2017): Regionalisierung Thüringen, Stufe 1, Ingenieurhydrologie, Angewandte Wasserwirtschaft und Geoinformatik IAWG im Auftrag der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie, unveröffentlicht, Ottobrunn.
- KOOP, J.H.E., BERGFELD, T. & M. KELLER (2007): Einfluss von extremen Niedrigwasser-Ereignissen und gleichzeitigen "Hitzeperioden" auf die Ökologie von Bundeswasserstraßen. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 51, 5, 202-209.
- KORNHUBER, K., OSPREY, S., COUMOU, D., PETRI, S., PETOUKHOV, V., RAHMSTORF, S. & L. GRAY (2019): Extreme weather events in early summer 2018 connected by a recurrent hemispheric wave-7 pattern. *Environmental Research Letters*. Bd. 14, Nr. 5, S. 054002. DOI: 10.1088/1748-9326/ab13bf.
- LARINA, M. & P. KRAHE (2013): Beobachtete Entwicklung extremer Niedrigwasserereignisse in Mitteleuropa. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Veranstaltungen 1/2013, Koblenz.
- MANN, M., RAHMSDORF, S., KORNHUBER, K., STEINMAN, B., MILLER, S., PETRI, St. & D. COUMOU (2018): Projected changes in persistent extreme summer weather events: The role of quasi-resonant amplification., *Science Advances*, 4, 10. DOI: 10.1126/sciadv.aat3272.
- NASA (2020): National Aeronautics and Space Administration (NASA), GISS Surface Temperature Analysis. https://data.giss.nasa.gov/gistemp/zonal_means/ (Stand: 20.05.2020).
- PARDÉ, M. (1933): *Fleuves et rivières*. Paris.
- PIK (2018): Mehr Extremwetter durch die Störung gigantischer Luftströme in der Atmosphäre. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, <https://www.pik-potsdam.de/de/aktuelles/nachrichten/mehr-extremwetter-durch-die-stoerung-gigantischer-luftstroeme-in-der-atmosphaere> (Stand: 02.07.2020).
- PIK (2019): Wetterextreme im Sommer 2018 waren verbunden durch stockende Riesenwellen im Jetstream. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, <https://www.pik-potsdam.de/aktuelles/pressemitteilungen/wetterextreme-im-sommer-2018-waren-verbunden-durch-stockende-riesenwellen-im-jetstream> (Stand: 02.07.2020).
- PSU (2018): Pennsylvania State University: Controlling future summer weather extremes still within our grasp. <https://news.psu.edu/story/545128/2018/10/31/research/controlling-future-summer-weather-extremes-still-within-our-grasp> (Stand: 17.06.2020).
- ROERS, M. & F. WECHSUNG (2015): Neubewertung der Auswirkung des Klimawandels auf den Wasserhaushalt im Elbegebiet. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 59, 3, 109-119.
- TRAUTH, N. & R. HAUPT (2021): Niedrigwasserabflüsse an Pegeln. In: *Niedrigwasser und Trockenheit in Thüringen*. Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz, Schriftenreihe, 120, S. 130-177, Jena.
- YUE, S., PILON, P. & G. CAVADIAS (2002): Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of Hydrology*. Bd. 259, Nr. 1, S. 254-271. DOI: 10.1016/S0022-1694(01)00594-7.

Aktuelles

Nach der Flut ist vor der Flut – BMBF-Projekt zu Wasser-Extremereignissen

Extremereignisse wie Dürre, Starkregen und Sturzfluten haben in Deutschland in den vergangenen Jahren stark zugenommen. Um das Risikomanagement bei extremen Niederschlägen, großflächigen Überschwemmungen oder langanhaltenden Dürreperioden zu verbessern, fördert das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit der Maßnahme "WaX – Wasser-Extremereignisse" zwölf neue Forschungsverbünde. Das Institut für Umweltwissenschaften und Geographie der Universität Potsdam ist mit dem Verbundvorhaben "Inno_MAUUS" sowie mit dem Vernetzungsvorhaben "Aqua-X-Net" dabei.

Ziel der neuen Fördermaßnahme ist es, die gravierenden Folgen von Dürreperioden, Starkregen- und Hochwasserereignissen durch verbesserte Managementstrategien und Anpassungsmaßnahmen abzuwenden. Insgesamt zwölf Forschungsvorhaben mit Partnern aus Wissenschaft, Wirtschaft und Praxis sowie ein Vernetzungs- und Transfervorhaben werden praxisnahe und fachübergreifende Ansätze erarbeiten, die die Auswirkungen von Wasserextremen auf die Gesellschaft und den natürlichen Lebensraum begrenzen und gleichzeitig neue Perspektiven für die Wasserwirtschaft eröffnen. Die Forschungsschwerpunkte liegen dabei auf digitalen Instrumenten für Monitoring, Analyse, Vorhersage und Kommunikation, dem Risikomanagement hydrologischer Extreme und auf urbanen extremen Wasserereignissen.

Im Forschungsverbund "Innovative Instrumente zum Management des Urbanen Starkregenrisikos (Inno_MAUUS)", das in der Arbeitsgruppe "Hydrologie und Klimatologie" an der Uni Potsdam angesiedelt ist, sollen digitale Instrumente zum Umgang mit Starkregenrisiken in Städten weiterentwickelt und den Kommunen bereitgestellt werden. Um Starkregenereignisse mit geringer Ausdehnung besser vorhersagen zu können, wird dabei das Potenzial von tiefen neuronalen Netzen und hochauflösenden Radarbildern erforscht.

Die Menge des Oberflächenabflusses ist davon abhängig, wie schnell wie viel Regenwasser versickern kann. Deshalb spielt die Möglichkeit, Wasser in der Stadt auf entsiegelten Flächen zurückzuhalten, eine wichtige Rolle. Das bei Starkregenereignissen oberflächlich abfließende Wasser wird zum einen mit hydrologischen Modellen simuliert. Zum anderen kommt "Innovatives Machine Learning" zum Einsatz, um die Simulationen um ein Vielfaches zu beschleunigen und damit Gefährdungssituationen schneller einschätzen zu können. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Abschätzung der Schäden an Gebäuden und Infrastruktur durch urbane Flutereignisse. Um solche Schäden zu vermeiden, ist eine enge Zusammenarbeit vieler Akteure wichtig, wie beispielsweise der Wasserwirtschaft, der Rettungsdienste und der Stadt- und Raumplaner.

Die aus hydrologischer Sicht sehr verschiedenen Städte Berlin und Würzburg sind die Forschungspartner des Projekts, in dem die Universität Potsdam mit der Technischen Universität München und zwei Geoingenieurfirmen zusammenarbeitet.

Begleitet werden die Verbundprojekte vom Vernetzungs- und Transfervorhaben "Aqua-X-Net", das vom Deutschen Komitee Katastrophenvorsorge e. V. (DKKV) in Bonn zusammen mit der Arbeitsgruppe Geographie und Natur-Risikenforschung an der Universität Potsdam durchgeführt wird. Das Vorhaben ermöglicht durch Veranstaltungs- und Kommunikationsformate eine intensive Vernetzung und den Austausch der zwölf Forschungsvorhaben, stellt Synergien her und übernimmt eine öffentlichkeitswirksame Kommunikation der Ergebnisse. Damit die Forschungsergebnisse in Wirtschaft, Fachverwaltung und Politik, aber auch in der breiten Öffentlichkeit ankommen, werden im Vernetzungs- und Transferprojekt Handlungsempfehlungen für Anwenderinnen, Anwender und kommunale Verbände sowie leicht verständliche Informationsmaterialien entwickelt. Damit soll ein nachhaltiger und zielgruppengerechter Praxistransfer erreicht werden.

Das BMBF fördert die Maßnahme "Wasser-Extremereignisse (WaX)" im Rahmen des Bundesprogramms "Wasser: N – Forschung und Innovation für Nachhaltigkeit". Wasser: N ist Teil der BMBF-Strategie "Forschung für Nachhaltigkeit (FONA)". Die Forschungsvorhaben laufen bis Anfang des Jahres 2025.

Weitere Informationen:

BMBF-Fördermaßnahme WaX
www.bmbf-wax.de

Institut für Umweltwissenschaften und Geographie, Uni Potsdam
www.uni-potsdam.de/de/umwelt

(aus: Medieninformation Nr. 46 Universität Potsdam
 vom 2. Mai 2022)

Neue Dürre-Benchmark für Europa – das Dürreereignis zwischen 2018 und 2020

Es waren Tage, Monate und Jahre, die vielen im Gedächtnis blieben: die Dürreperiode zwischen den Jahren 2018 und 2020. Einem von UFZ-Wissenschaftlern angeführten internationalen Forscherteam ist es nun gelungen, die Dimension dieses Ereignisses historisch einzuordnen. Demnach hat sich seit Mitte des 18. Jahrhunderts keine Dürre so großflächig über Europa ausgebreitet und fiel kein Temperaturanstieg während einer Dürreperiode so groß aus. Das macht die Jahre 2018 bis 2020 zum neuen Vergleichsmaßstab für Dürren. Weil diese in Zukunft häufiger auftreten könnten, empfehlen die Wissenschaftler dringend, geeignete, regional angepasste Maßnahmen gegen die Wasserknappheit zu entwickeln und umzusetzen.

Verdorrte Wiesen und Äcker, ausgetrocknete Bäche, abgestorbene Wälder, zurückgefahrte Kraftwerke – die Dürrejahre 2018, 2019 und 2020 waren außergewöhnlich und hatten substantielle Auswirkungen auf Natur und Wirtschaft. Doch wie sie in ihrer historischen Dimension einzuordnen sind, war bislang unklar. Nun steht fest: Die Dürreperiode 2018 bis 2020 ist die neue Benchmark für Dürren in Europa. Belegen können das die Wissenschaftler anhand einer Vielzahl von Fakten, die sie durch die Rekonstruktion historischer Dürren bis ins Jahr 1766 erhielt.

ten und deren Ausmaße sie mit der Dürre 2018 bis 2020 verglichen.

So betraf die Dürre zwischen 2018 und 2020 rund 36 % der Landfläche Europas, insbesondere in Zentraleuropa wie zum Beispiel Deutschland, Frankreich und Tschechien. Kein anderes Dürreereignis in den vergangenen mehr als 250 Jahren hatte eine so große räumliche Ausdehnung wie dieses. Außergewöhnlich lang war auch die Gesamtdauer des Dürreereignisses in Europa, das im April 2018 begann und vorerst im Dezember 2020 endete: 33 Monate. Nur die Dürre zwischen 1857 und 1860 dauerte mit insgesamt 35 Monaten etwas länger. Hinzu kommt: Die Dürre 2018 bis 2020 hat sich auch in den Jahren 2021 und 2022 in dem betrachteten Bodenvolumen bis in 2 m Tiefe fortgesetzt. Das Jahr 2021 war zwar etwas feuchter und hat den für die Landwirtschaft wichtigen Oberboden gut mit Wasser versorgt, die Feuchtigkeit ist aber nicht überall bis in größere Tiefen vorgedrungen.

Außergewöhnlich lang war auch die durchschnittliche Dürredauer in den 50 x 50 km großen Gitterzellen, in die die Wissenschaftler Europa für ihr Modell eingeteilt haben. Weil sich ein Dürreereignis dynamisch über Raum und Zeit entwickelt, also an einer Stelle beginnt, sich dann weiterentwickelt und schließlich eventuell an anderer Stelle endet, unterscheidet sich dieser Wert von der Gesamtdauer des Dürreereignisses. Für das Ereignis von 2018 bis 2020 wurde eine durchschnittliche Dürredauer von 12 Monaten ermittelt.

Lediglich die Dürre von 1857 bis 1860 dauerte mit einem Mittel von 13 Monaten länger. Als Dürre definierten die Wissenschaftler dabei jenen Zeitpunkt, an dem die aktuelle Bodenfeuchte bis in eine Tiefe von 2 m unter den Wert fällt, der nur in 20 % der Jahre während des gesamten Zeitraums von 250 Jahren erreicht wird. Um diese historischen Dürren zu rekonstruieren, nutzten die Wissenschaftler das hydrologische Modellsystem mHM, das am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) entwickelt wurde. Mit diesem Umweltsystemmodell kann unter anderem aus den Daten der Vergangenheit zu Temperatur und Niederschlag die Bodenfeuchte modelliert werden. Durch den Vergleich der Bodenfeuchte mit dem langjährigen Erwartungswert lässt sich der Bodenfeuchteindex berechnen und der Dürrezustand auch in der Rückschau ermitteln.

Einen historischen Rekordwert erreichte während der Dürreperiode 2018 bis 2020 auch der Anstieg der Lufttemperatur mit einem Plus von 2,8 °C im Vergleich zur jährlichen Durchschnittstemperatur in den vergangenen 250 Jahren in Europa. Die Dürren in der Vergangenheit waren eher kalte Dürren, bei denen sich die durchschnittliche Temperatur kaum veränderte. Kommen während einer Dürreperiode die für große Dürreperioden der vergangenen Jahrhunderte typischen Anomalien des Niederschlagsrückgangs von rund 20 % und der Temperaturzunahme zusammen, fallen die Auswirkungen deutlich gravierender aus. Denn dadurch verdunstet deutlich mehr Wasser. Welche Folgen das fehlende Wasser während dieses Dürreereignisses hatte, zeigten die Wissenschaftler anhand der Landwirtschaft. Für Weizen, Mais und Gerste verglichen sie die durchschnittlichen jährlichen Ernteerträge zwischen den Jahren 2018 und 2020 mit denen zwischen 1961 und 2021. Der Befund: In den hauptsächlich von der Dürre betroffenen Staaten gingen die Ernten deutlich zurück – beim Mais zum Beispiel in den Benelux-Ländern, Deutschland und Frankreich zwischen 20 und 40 %, beim Weizen

in Deutschland bis zu 17,5 % und bei der Gerste bis zu 10 % fast in ganz Europa.

Wie sich die Dürren in Europa künftig entwickeln werden, hängt auch davon ab, wie stark die Erderwärmung ausfällt. Für zwei Szenarien künftiger Treibhausgasemissionen modellierten die Wissenschaftler die mögliche Ausdehnung von Dürren und deren Dauer. Diese sogenannten Repräsentativen Konzentrationspfade (RCP) beschreiben, ob der Ausstoß von Treibhausgasen bis zum Jahr 2100 moderat ausfällt (RCP 4.5) oder sich ungebremsst fortsetzt (RCP 8.5). Die Wissenschaftler stellten fest, dass bei dem Szenario RCP 4.5 die durchschnittliche Dürredauer auf bis zu 100 Monate deutlich steigt, während die Ausdehnung der Dürren mit bis zu 50 % der Fläche Europas vergleichsweise moderat ausfällt. Anders dagegen beim Szenario RCP 8.5 könnte die mittlere Dauer einer Dürre mehr als 200 Monate betragen – bis zu 70 % von Europa könnten betroffen sein.

Die politischen Entscheidungsträger sollten daher darauf vorbereitet sein, dass die Dürreperioden in Zukunft noch viel stärker ausfallen könnten. Vor allem für die Agrarpolitik sollte das ein Weckruf sein, sich mit geeigneten Maßnahmen gegen den drohenden Wassermangel auseinanderzusetzen. Regional spezifisch könnten das zum Beispiel die Anlage großer Wasserreservoirs, wie etwa unterirdischer Speichereinrichtungen, intelligente Formen der Bewässerungstechnologie oder die Züchtung hitzeresistentere Pflanzensorten sein.

Die Forschungsarbeit der beteiligten UFZ-Wissenschaftler wurde im Rahmen des bilateralen Projekts XEROS (eXtreme EuROpean drOughtS: multimodel synthesis of past, present and future events) durchgeführt und durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) sowie die Czech Science Foundation gefördert.

Fachartikel.

Rakovec, O., Samaniego, L., Hari, V., Markonis, Y., Moravec, V., Thober, S., Hanel, M., Kumar, R. (2022): The 2018–2020 Multi-Year Drought Sets a New Benchmark in Europe. Earth's Future. AGU Advancing Earth and Space Science, Vol. 10, Issue 3. DOI: 10.1029/2021EF002394

Weitere Informationen:

UFZ-Department Hydrosystemmodellierung
www.ufz.de/index.php?de=34211

(aus: Pressemitteilung Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung vom 16. Mai 2022)

Extremes Wetter und der Klimawandel

Extremwetterereignisse treten immer heftiger auf. Das wird oft dem Klimawandel zugeschrieben. Doch wie sieht diese Verbindung zwischen extremem Wetter und Klimawandel tatsächlich aus? Eine Forschergruppe vom Helmholtz-Zentrum Hereon hat jetzt eine Forschungsmethode weiterentwickelt, mit der es erstmals möglich ist, den Einfluss des Klimawandels auf ein bestimmtes Extremwetterereignis zu bestimmen. So zeigen sie, dass der Klimawandel eine ohnehin schwere Dürre in Südamerika noch verstärkte und außerdem zu einem Temperaturanstieg von bis zu 4 °C während einer der stärksten Hitzewellen in Europa führte.

Forschende haben den Klimawandel schon oft mit Extremereignissen in Verbindung gebracht. Diese Erkenntnisse basieren aber hauptsächlich auf statistischen Methoden. Sie erlauben Aussagen über die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Extremereignissen oder darüber, wie wahrscheinlich es ist, dass sie in Zukunft stärker ausfallen werden. Analysen von Einzelereignissen in Bezug auf den Klimawandel waren jedoch bisher nicht möglich. Wissenschaftler am Hereon Institut für Küstensysteme – Analyse und Modellierung, konnten diese Lücke nun mit der kombinierten Methode "Spectrally Nudged Storylines" schließen. Damit zeigen sie auf, dass die Dürre in Südost-Südamerika (SESA) im Zeitraum 2011/2012 wegen des Klimawandels schwerer ausfiel, während die Niederschläge in dieser Region über den Rest des Jahres gleichzeitig zunahm. Zudem konnten sie nachweisen, dass der Klimawandel während einer der bisher schwersten Hitzewellen in Europa in manchen Gebieten zu einem Temperaturanstieg von bis zu 4 °C führte. Die Tatsache, dass für eines der schwersten Hitzeereignisse in der europäischen Geschichte seit Beginn der Aufzeichnung ein klares Klimasignal von lokal bis zu 4 °C gefunden wurde, zeigt, wie sehr der Mensch unseren Planeten bereits verändert hat.

Mit "Spectrally nudged storylines" simulierten die Wissenschaftler drei verschiedene Welten: eine ohne Klimawandel, eine mit Klimawandel (unsere heutige Welt) und eine mit starkem Klimawandel (globale Temperatur +2 °C). In ihrem Modell legten sie die großräumigen dynamischen Parameter fest, die für die horizontalen Winde in der oberen Atmosphäre verantwortlich sind. Diese komplexen Bewegungen erstrecken sich über den gesamten Globus. Und sie unterliegen oft unvorhersehbaren Schwankungen – das erschwert die Simulation des Klimas in bestimmten Gebieten. Indem das Modell diese Parameter realitätsnah darstellt, ist es möglich, sich nur auf die konkreten thermodynamischen Daten, wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit, zu konzentrieren. Dadurch ist das sogenannte Rauschen minimiert – die Störfaktoren, die die eigentlichen Signale überlagern. Mit der Methode "Spectrally Nudged Storylines" lässt sich ein Klimasignal in einzelnen Extremereignissen finden, das bei anderen Methoden im Rauschen untergehen würde.

Auf diese Weise waren die Forscher in der Lage, die drei Welten über einen Zeitraum von fünf Jahren (2010 bis 2014) zu rekonstruieren. Ihr Fokus lag dabei auf schweren Extremereignissen in der Vergangenheit, deren Ergebnisse sie aus der jeweiligen Welt miteinander verglichen. Das Wissenschaftlerteam konnte so nicht nur nachweisen, dass der Klimawandel bestimmte Wetterextreme in der Vergangenheit verstärkt hat, sondern auch, dass die Folgen in einer 2-Grad-Welt noch drastischer gewesen wären: Bei der Dürre in der SESA-Region wären die lokalen Temperaturen im Vergleich zu heute um bis zu 3 °C wärmer gewesen, was zu einer verstärkten Verdunstung der Feuchtigkeit aus dem Boden und der Vegetation geführt hätte. Dadurch hätte sich die Dürre noch weiter verschärfen können.

Das Bedeutende an der Arbeit der Forschergruppe sowie ihrer bisherigen Ergebnisse ist die Analyse von konkreten Ereignissen. Auch wenn statistische Analysen wertvolle Erkenntnisse über das Klima der Zukunft liefern, bieten sie für die Zuordnung einzelner Extremereignisse zum Klimawandel vergleichsweise wenig Informationen. Um auf die Folgen des Klimawandels angemessen reagieren zu können, ist eine umfassende und auf die jeweilige Region abgestimmte Vorbereitung entscheidend. Resiliente

Strukturen in Gesellschaft, Wirtschaft und Landwirtschaft sind entscheidend, um die schlimmsten Folgen von Extremereignissen zu mildern oder gar zu verhindern.

Die Ergebnisse sind das Resultat der Arbeiten des Wissenschaftlerteams am Hereon-Institut für Küstensysteme – Analyse und Modellierung, unter der Mitbetreuung von Klimawissenschaftlern der Universität Reading (England). Diese haben die Methode "Storylines" erstmals im Jahr 2017 entwickelt, um die Auswirkungen des Klimawandels unter bestimmten Umständen zu ermitteln – beispielsweise bei einer 2-Grad-Erwärmung oder eines aktiven El-Niño-Ereignisses, anstatt zu versuchen, die Zukunft mit ihren vielen Unsicherheiten vorherzusagen. Zuvor entwickelte das Wissenschaftlerteam des Hereon-Instituts bereits das "Spectral Nudging" und konnten damit das Wetter weltweit rekonstruieren, um so dessen Veränderungen im Laufe der Zeit genauer nachzuvollziehen.

Fachartikel:

Van Garderen, L., Mindlin, J. (2022): A storyline attribution of the 2011/2012 drought in Southeastern South America. *Weather*, Vol. 77, Issue 6.

DOI: 10.1002/wea.4185

Van Garderen, L., Feser, F., Shepherd, T.G. (2021): A methodology for attributing the role of climate change in extreme events: a global spectrally nudged storyline. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 21(1): 171–186.

DOI: 10.5194/nhess-21-171-2021

Weitere Informationen:

Institut für Küstensysteme, Helmholtz-Zentrum Hereon

www.hereon.de/institutes/coastal_systems_analysis_modeling

(aus: Pressemitteilung Helmholtz-Zentrum Hereon vom 8. Juni 2022)

Hochschule Koblenz mit Forschungsprojekt FloReST beim Kick-Off der BMBF-Fördermaßnahme WaX

Die Hochschule Koblenz ist Projektpartner des im Februar gestarteten Verbundforschungsprojekts "Urban Flood Resilience – Smart Tools" (FloReST), das wiederum zu den zwölf Projekten der Förderinitiative "Wasser-Extremereignisse" (WaX) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gehört. Gemeinsam mit ihren Verbundpartnern konnten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus Koblenz ihr Projekt FloReST nun bei der Auftaktveranstaltung der Fördermaßnahme WaX in Bonn präsentieren. Neben der Vorstellung der 12 Verbundvorhaben konnten sich die insgesamt 81 beteiligten Verbundpartner kennenlernen und vernetzen.

Ziel der BMBF-Fördermaßnahme WaX ist es, nachteilige Folgen der in Deutschland vermehrt auftretenden Dürreperioden, Starkregen- und Hochwasserereignisse durch Managementstrategien und Anpassungsmaßnahmen abzuwenden. Im Rahmen der Auftaktveranstaltung lernten sich die Verbundpartner aus Forschung und Praxis erstmals in Präsenz kennen. Die Projektvorstellungen, diverse Diskussionen und Austauschmöglichkeiten wie eine Poster-Session förderten die Vernetzungen und Synergien unter den Teilnehmenden. Das begleitende Vernetzungs- und Transfer-

vorhaben Aqua-X-Net organisierte diese Kick-Off-Veranstaltung. Beim WaX-Kick-Off ist das Forschungsprojekt FloReST von Vertretern der Verbundpartner Hochschule Koblenz, Hochschule Trier Umwelt-Campus Birkenfeld, Universität Trier sowie zusammen mit einigen beteiligten Consultingfirmen repräsentiert worden.

Neben dem Forschungsprojekt "FloReST" gehören die interdisziplinären und anwendungsorientierten Projekte InSchuKa4.0, ZwiLE, EXDIMUM, DryRivers, SpreeWasser:N, KliMaWerk, TrinkXtrem, Smart-SWS, AMAREX, AVOSS und Inno_Maus zur WaX-Fördermaßnahme. In den Verbundvorhaben sollen innovative Monitoring-, Vorhersage- und Kommunikationskonzepte, angepasste Wasserinfrastrukturen sowie Betriebs- und Risikomanagementstrategien zum Umgang mit gegensätzlichen hydrologischen Extremen entwickelt werden. Die Forschungsschwerpunkte liegen auf drei Themenfeldern. Erstens geht es um digitale Instrumente für Monitoring, Analyse, Vorhersage und Kommunikationen. Das zweite Themenfeld erforscht das Risikomanagement gegensätzlicher hydrologischer Extreme, während das dritte Themenfeld urbane extreme Wasserereignisse in den Blick nimmt.

Das Verbundforschungsprojekt "FloReST" fokussiert sich auf den Themenschwerpunkt urbane extreme Wasserereignisse. Starkregen und daraus resultierende Sturzfluten führen besonders in der urbanen Bebauung zu weitreichenden Schäden an technischen und sozialen Infrastrukturen. Das Ziel ist es, bei solchen Ereignissen die Wassermengen möglichst schadlos durch die urbane Bebauung abzuleiten. Durch innovative, technologiebasierte Lösungen werden in FloReST Notabflusswege zur Ableitung der Wassermengen ausgewiesen und somit die Resilienz urbaner Infrastrukturen gesteigert. Dabei werden unter kontinuierlicher Einbeziehung der Bürger sogenannte Smart-Tools entwickelt, welche eine an die lokal hochaufgelöste Planung und Ausweisung von Notabflusswegen angepasste Auswahl an technisch innovativen und zukunftsgerichteten Werkzeugen erlaubt. In enger Abstimmung mit Pilotkommunen, Fachverbänden und betroffenen Einwohnern wird dadurch ein intelligenter, dialogorientierter Weg zur nachhaltigen Umsetzung von Maßnahmen zur Hochwasser- und Sturzflutvorsorge in urbanen Räumen eröffnet.

In Deutschland rücken zunehmend Wasser-Extremereignisse in den Fokus der Öffentlichkeit. Neben den aufeinanderfolgenden Dürresommern 2018 bis 2020 führten die Starkregenereignisse im Juli 2021 in Westdeutschland zur größten und tödlichsten Flutkatastrophe der letzten 60 Jahren. Durch den Klimawandel wird erwartet, dass die Häufigkeit und Intensität von Wetterextremen in vielen Regionen Deutschlands zunehmen. Dies gilt vor allem für hydro-meteorologische Extreme. Daraus ergibt sich der Bedarf an praxisorientierter Forschung, um das Risikomanagement von Wasserextremen sowie deren Vorhersage und Frühwarnung insgesamt zu verbessern.

Weitere Informationen:

Fachbereich Siedlungswasserwirtschaft, Hochschule Koblenz
www.hs-koblenz.de/bauingenieurwesen/die-fachrichtung

(aus: Pressemitteilung Hochschule Koblenz vom 11. Mai 2022)

Hochwasserschutz mit Mehrfachnutzen: Mehr Raum für Flüsse

Ökologischer Hochwasserschutz – der Auen wiederherstellt – ist sinnvoll, technisch möglich und wirtschaftlich effizient. Und doch wird dieser Ansatz weltweit noch nicht konsequent umgesetzt, weil die administrativen und rechtlichen Hürden hoch sind. Das zeigt eine Studie von Wissenschaftlern des Leibniz-Instituts für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB), die gemeinsam mit anderen Forschenden vier Projekte zur Renaturierung von Flussauen in Deutschland und den USA analysiert haben. Die Forschenden empfehlen, dem ökologischen Hochwasserschutz Vorrang zu geben und die nötigen Flächen verfügbar zu machen. So ließen sich auch nationale und europäische Umweltziele besser erreichen.

Der konventionelle technische Hochwasserschutz greift stark in die Gewässerstruktur ein, ist teuer, in der Regel starr und lässt sich nicht ohne Weiteres an die im Klimawandel zunehmenden Überschwemmungen anpassen. Die technischen Maßnahmen schränken auch die natürlichen Funktionen von Überschwemmungsgebieten ein, zu denen etwa die Wasserspeicherung und die Verbesserung der Wasserqualität gehören. Außerdem gehen Lebensräume für viele Tier- und Pflanzenarten in und am Wasser verloren – und mit ihnen eine Vielzahl von Vorteilen für uns Menschen. Deshalb werden weltweit deutlich mehr Hochwasserschutzkonzepte mit Mehrfachnutzen für Bevölkerung und Umwelt benötigt.

Bauliche Maßnahmen wie Deiche, Dämme und künstliche Kanäle fördern die städtische und landwirtschaftliche Entwicklung in Gebieten, die eigentlich natürliche Überschwemmungsgebiete sind – den Flussauen. Die dadurch gewonnene Fläche ist durch diese baulichen Maßnahmen seltener von kleinen und mittleren Hochwasserereignissen betroffen. Das erweckt häufig den Eindruck, das Hochwasserrisiko sei gebannt. Infolge dieses falschen Sicherheitsgefühls unterschätzt die Bevölkerung vor Ort die Gefahr von seltenen großflächigen Überschwemmungen und ist umso anfälliger für deren Folgen. Dieser sogenannte "Deich-Effekt" (Englisch: levee-effect) steht beispielhaft dafür, dass einige kurzfristig wirksame menschliche Eingriffe in die Landschaft in Wirklichkeit die langfristige Anfälligkeit des gesamten Systems erhöhen.

Zwar gibt es mittlerweile weltweit Projekte zur Renaturierung von Flüssen und Auen. Doch nur wenige davon werden so geplant, dass sie gleich mehrere Verbesserungen erzielen, also zum Beispiel das Hochwasserrisiko verringern, Lebensräume wiederherstellen und die Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel erhöhen. Das Forschungsteam hat deshalb vier "Multi-Benefit-Projekte" in Deutschland und in Kalifornien (USA) untersucht und ihre Triebkräfte, die Chronologie sowie die durchgeführten Maßnahmen und Hindernisse charakterisiert. Außerdem analysierten die Forschenden die politischen Rahmenbedingungen, die solche Projekte fördern, ermöglichen und manchmal auch behindern.

Als Beispiel für Deutschland untersuchte das Team zum einen die Deichrückverlegung an der Mittelelbe bei Lenzen. Die

wissenschaftliche Bestätigung, dass sich der Hochwasserscheitelpunkt lokal um fast 50 cm verringerte und die nachgewiesene, weitreichende räumliche Schutzwirkung vor Hochwasser trugen sogar dazu bei, die Akzeptanz von Deichrückverlegungen zu steigern: Das ist so deutlich bis dato nicht gemessen worden und hat die Position widerlegt, dass Deichrückverlegungen nichts für den Hochwasserschutz bringen. Seitdem sind in anderen Flüssen Deutschlands ähnliche Projekte umgesetzt worden. Der ökologische Erfolg des Projekts ließ sich an der raschen Rückkehr zahlreicher Wasser- und anderer Vogelarten sowie einer Vielfalt an wiederhergestellten Lebensraumtypen ablesen.

Als zweites Projekt untersuchten die Forschenden eine 8 km lange Flussrenaturierung der Isar, die von der südlichen Stadtgrenze Münchens bis zur Innenstadt reicht – der sogenannte Isarplan. Das Projekt zeigt, dass Fluss- und Auenrenaturierungen auch in dicht besiedelten, urbanen Gebieten möglich sind. Der Isarplan hatte drei Hauptziele: Minimierung des Hochwasserrisikos, Wiederherstellung von Lebensräumen im Fluss und Verbesserung des Freizeitnutzens. Der Isarplan veranschaulicht den Mehrfachnutzen-Ansatz und sticht durch einen sehr kooperativen Planungsprozess hervor, in den auch die Bevölkerung aktiv mit eingebunden wurde. Das Hochwasserrisiko wurde vor allem dadurch verringert, dass dem Fluss mit mindestens 90 statt vorher 50 Metern mehr Raum gegeben wurde. So erhöhte sich auch die Kapazität im Stadtgebiet, größere Wassermengen abzufangen. Ufersicherungen aus Beton wurden entfernt und durch Kiesufer ersetzt, wodurch sich Kiesbänke bilden konnten – und damit Laichplätze und Lebensräume für den Huchen (Donaulachs) und andere gefährdete Fischarten.

In den USA analysierten die Forschenden die Hochwasser-Bypässe im Sacramento-Flussgebiet. Der Yolo-Bypass ist ein "Auen-Bypass", eine Art der Hochwasserumleitung mit großer Fläche, langen Verweilzeiten und hohem ökologischem Potenzial. Der größte Teil der 240 km² großen Fläche befindet sich in Privatbesitz und wird in der Trockenzeit, wenn das Überschwemmungsgebiet weitgehend entwässert ist, landwirtschaftlich genutzt, beispielsweise zum Anbau von Mais, Sonnenblumen und Reis, als Weide- oder Brachland. Die verbleibenden 65 km² sind ein Schutzgebiet, vor allem für Vögel und Fische. Der Yolo-Bypass gilt als Modell für ein gut verwaltetes sozial-ökologisches System. Die öffentlich-private Partnerschaft funktioniert gut. Artenschutz, Hochwasserschutz und Landwirtschaft lassen sich in Einklang bringen – und all das in direkter Nähe zu einer Großstadt. Erfolgreich umgesetzt wurden auch der Deichrückbau und die Auenrenaturierung am Bear und am Feather River, um den lokalen Hochwasserschutz zu erhöhen. Ein zusätzliches niedriges Feuchtgebiet – eine Auenmulde – schaffte zusätzlich überfluteten Lebensraum für heimische Fische und andere wassergebundene Arten.

In beiden amerikanischen Fällen war die Verringerung des Überschwemmungsrisikos jeweils der wichtigste Antrieb für das Projekt – und die Wiederherstellung natürlicher Ökosysteme folgte in einem Fall unbeabsichtigt, im anderen als Voraussetzung für den Erhalt einer öffentlichen Förderung.

Anhand der vier Fallstudien identifizierten die Forschenden sieben Faktoren, die je nach Ausprägung fördernd oder hemmend für Mehrfachnutzen-Projekte sein können. Dazu zählen

Offensichtliches, wie die Verfügbarkeit von (unbebauter) Fläche, die Integration von Forschungswissen in Planungen und Entscheidungsprozesse, passende politische und regulatorische Rahmenbedingungen und ausreichende Finanzmittel. Aber auch gesellschaftliche Faktoren sind entscheidend – beispielsweise die Wahrnehmung von Überschwemmungen nicht nur als Bedrohung, sondern als positives Element und wichtige Eigenschaft natürlicher Gewässer. Als unabdingbar für den Projekterfolg stellte sich auch die zielorientierte Projektführung und konstruktive Einbindung und Zusammenarbeit aller Beteiligten heraus. Auch wenn diese Projekte heute als sehr gute Beispiele erscheinen, so waren sie doch erst das Ergebnis eines Zusammenspiels mehrerer begünstigender Faktoren und erforderten allesamt engagierte Beharrlichkeit, um letztendlich realisiert zu werden, urteilen die Forschenden. Dies hängt auch damit zusammen, dass es noch vergleichsweise wenig praktisches Erfahrungswissen aus solchen Mehrfachnutzen-Projekten gibt und man mit relativ großen administrativen und rechtlichen Hindernissen konfrontiert ist. Deshalb ist es wichtig, gelungene Beispiele genau zu analysieren und die Erfolgs- und Risikofaktoren für andere Akteure aufzubereiten, die solche Projekte ebenfalls realisieren wollen.

Insgesamt kommen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zu dem Schluss, dass ökologischer Hochwasserschutz kosteneffizienter ist als bisherige Ansätze, großes Synergiepotenzial hat und solche Mehrfachnutzen-Ansätze von Politik und Verwaltung daher verstärkt in Betracht gezogen werden sollten. Gerade in Deutschland werden Überschwemmungen schnell negativ oder als Risiko gesehen – ihr Wert für Natur und Bevölkerung aber übersehen. In diesem Kontext sind mangelnde Überflutungsflächen häufig ein Diskussionspunkt. Es wäre wünschenswert, wenn die zuständigen politischen und administrativen Ebenen von Bund, Ländern und Kommunen effiziente Ansätze entwickeln würden, um die dafür notwendigen Flächen bereitzustellen.

Diese Bemühungen würden auch auf die europäischen und nationalen Umweltziele einzahlen, wie die europäische Hochwasserrisikomanagementrichtlinie (EG-HWRM), die Wasser-Rahmenrichtlinie (EG-WRRL), die Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-Richtlinie) sowie die EU-Biodiversitätsstrategie – letztere sieht beispielsweise vor, 25.000 km Flüsse in Europa zu renaturieren. Das kürzlich vom Bundesumwelt- und Verbraucherschutzministerium vorgestellte Eckpunktepapier zum "Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz" weist mit den beiden erstgenannten Handlungsfeldern "Schutz intakter Moore und Wiedervernässungen" sowie "Naturnaher Wasserhaushalt mit lebendigen Flüssen, Seen und Auen" in die richtige Richtung. Entscheidend sei es nun, das Programm so auszugestalten, dass möglichst viele Synergieeffekte erzielt werden können.

Fachartikel:

Serra-Llobet, A., Jähnig, S.C., Geist, J., Kondolf, G.M., Damm, C., Scholz, M., Lund, J., Opperman, J.J., Yarnell, S.M., Pawley, A., Shader, E., Cain, J., Zingraff-Hamed, A., Grantham, T.E., Eisenstein, W., Schmitt, R. (2022): Restoring Rivers and Floodplains for Habitat and Flood Risk Reduction: Experiences in Multi-Benefit Floodplain Management From California and Germany. *Frontiers in Environmental Science*, Vol. 9.
DOI: 10.3389/fenvs.2021.778568

Weitere Informationen:

Abteilung Aquatische Ökogeographie, IGB
www.igb-berlin.de/jaehnig

*(aus: Pressemitteilung Leibniz-Institut für Gewässerökologie und
Binnenfischerei vom 4. Mai 2022)*

**Innovative Messung der Bodenfeuchte –
DFG-Forschungsgruppe "Cosmic Sense" startet
in die zweite Phase**

Seit dem Jahr 2018 arbeitet die von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderte Forschungsgruppe "Cosmic Sense" unter der Leitung des Potsdamer Instituts für Umweltwissenschaften daran, die Messung des Wassergehalts im Boden zu verbessern. Nachdem der Folgeantrag für weitere drei Jahre vor Kurzem bewilligt wurde, startet das Projekt nun in die zweite Phase. Bei einem Auftakttreffen kamen die Wissenschaftler aller neun beteiligten Institutionen zusammen, um die bevorstehenden Arbeiten und gemeinsamen Messkampagnen zu planen.

Im Zentrum der Forschung von "Cosmic Sense" steht die Methode Cosmic-Ray Neutron Sensing (CRNS). Diese nutzt kosmische Strahlung, die fortlaufend aus dem Weltraum auf unsere Erde trifft und in Wechselwirkung mit der Atmosphäre dort Neutronenstrahlung erzeugt. Abhängig von der Menge an Wasser im Boden oder in den Pflanzen wird diese Neutronenstrahlung unterschiedlich an der Landoberfläche reflektiert und verrät so etwas darüber, wie viel Wasser in der Landschaft gespeichert ist.

Die Vorteile von CRNS gegenüber herkömmlichen Bodenfeuchtemessungen überzeugen: Anstatt eine Vielzahl einzelner Sensoren mühsam zu vergraben, wird nur ein CRNS-Detektor an der Landoberfläche aufgestellt, der zerstörungsfrei einen repräsentativen Messwert der Neutronen für die Fläche innerhalb eines Radius von 150 bis 200 Metern um den Sensor liefert. Diese Flächengröße ist nicht nur relevant für praktische Anwendungen, wie zum Beispiel die Steuerung von Bewässerung in der Landwirtschaft, sondern stellt auch für die Wissenschaft eine wertvolle Grundlage dar, um Punktmessungen der Bodenfeuchte mit großflächigen Daten aus der Fernerkundung oder hydrologischen Modellen zu verknüpfen.

Die Forschungsgruppe hat in den vergangenen drei Jahren daran gearbeitet, die Mess- und Auswertungsverfahren um CRNS zu verbessern und anwendbar zu machen. Neben der Entwicklung und Erprobung neuer, auf spezielle Fragestellungen angepasster Neutronendetektoren ging es auch darum, die Interpretation der gemessenen Signale zu verbessern. Das Forscherteam wollte verschiedene Wasserspeicher im Boden und in den Pflanzen besser voneinander unterscheiden und Muster aus mehreren sich überschneidenden CRNS-Messungen ableiten. Dies konnten die Wissenschaftler erstmalig für ein ganzes Einzugsgebiet und ein CRNS-Feldlabor in der Nähe von Potsdam umsetzen. Darüber hinaus kamen verschiedene mobile Anwendungen zum Einsatz: Allen voran mit CRNS-Sensoren bestückte Geländewagen, aber auch erste Messungen aus einem Luftschiff. Durch den Vergleich zu physikalischen Simulationen der Neutronenintensitäten und die Kombination mit Daten aus satelliten- und

drohnengestützten Fernerkundungsverfahren hat das Team erhebliche Fortschritte bei der Erfassung von Bodenfeuchtemustern erzielt.

In der zweiten Phase von "Cosmic Sense" werden diese Arbeiten weitergeführt. Neu ist dabei beispielsweise ein stärkerer Schwerpunkt auf Schneemessungen, denen durch die Einbindung neuer Partner an der Universität Innsbruck sowie hochalpiner Messflächen Rechnung getragen wird. Zudem soll durch eine Kombination aus Fernerkundungs- und Modellierungsdaten, geschickt positionierten CRNS-Sonden und mobilen Messungen, etwa mit Gondelfahrten, die Anwendung auf größere Flächen ausgeweitet werden.

Kooperationspartner der DFG-Forschungsgruppe 2694 an der Universität Potsdam sind die Universität Augsburg, die Technische Universität (TU) Berlin, die Universitäten Heidelberg und Innsbruck, das Forschungszentrum Jülich, das Helmholtz-Zentrum Potsdam (GFZ), das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ).

Weitere Informationen:

Projekt "Cosmic Sense"
www.uni-potsdam.de/de/cosmicsense

AG Wasser- und Stofftransport in Landschaften, Uni Potsdam
www.uni-potsdam.de/de/umwelt/forschung/ag-wasser-und-stofftransport-in-landschaften

(aus: Pressemitteilung Universität Potsdam vom 2. Mai 2022)

**Insekten transportieren Pestizide von Gewässern an
Land**

Zuckmücken sind die winzigen Fliegen, die sich in dunklen Schwärmen in der warmen Luft an Seen und Bächen zusammenfinden, allerdings zu den nicht stechenden Arten gehören. Sie leben zunächst als Larven im Wasser. Nun haben Forscher der Universität Koblenz-Landau innerhalb einer neuen Studie dargestellt, dass die Larven der Zuckmücken Pestizide in sich ansammeln und diese mit ihrer Umwandlung in ein fliegendes Insekt mit an Land transportieren können. Tiere, welche die umherfliegenden Mücken dann fressen, könnten folglich täglich kleine Mengen dieser Pestizide aufnehmen.

Um die Produktion von Nutzpflanzen zu erhöhen, setzt man in der Landwirtschaft Pestizidgemische ein. Ein Teil dieser Verbindungen gelangt von der Anbaufläche in nahegelegene Gewässer und setzt die unter Wasser lebenden Tiere einer bunten Mischung von Schadstoffen aus. Zuckmücken verbringen ihr Larvenstadium auf dem Grund von Gewässern und tummeln sich im Sediment. Nach ihrer Metamorphose schlüpfen die erwachsenen Mücken jedoch aus dem Wasser und fliegen ans Ufer und landeinwärts und bilden dort eine wichtige Nahrungsquelle für andere Insekten, Spinnen, Frösche, Vögel und Fledermäuse. Für einige ältere, nicht mehr zugelassene Pestizide wurde dieser Transportweg an Land bereits belegt. Ob nun Zuckmücken auch die heute in der Landwirtschaft gebräuchlichen Pestizide bis ins Stadium der umherfliegenden Insekten bei sich tragen, wurde bisher nicht untersucht. Also gingen die

Landauer Umweltwissenschaftler im DFG-Graduiertenkolleg SystemLink den Spuren von Pestiziden im gesamten Lebenszyklus der Zuckmücke nach und schätzten dabei auch ein, ob die Insekten diese Stoffe an ihre Fressfeinde weitergeben könnten.

Die Forscher setzten Zuckmückenlarven in Behälter gefüllt mit Sediment, Wasser und einer Mischung aus neun Pestiziden. Die Larven nahmen alle in der Studie eingesetzten Fungizide und Herbizide auf und ein geringer Teil davon fand sich auch in den aus den Larven schlüpfenden fliegenden Insekten wieder. Die Konzentrationen des z. B. in Raps, Weinbau, Gemüse oder Obst eingesetzten Herbizids Propyzamid waren in den Larven und bei frisch geschlüpften Mücken sogar sehr ähnlich. Geschlüpfte weibliche Mücken enthielten höhere Konzentrationen der Pestizide verglichen mit ihren männlichen Artgenossen. Aber im Laufe der Zeit verringerten sich die Pestizidkonzentrationen in weiblichen Mücken, was die Forschergruppe der Tatsache zuschreiben, dass die meisten der weiblichen Mücken Eier legen und damit die Verbindungen an die nächste Generation von Mücken weitergeben. Abschließend schätzte das Team unter Zuhilfenahme von Daten aus anderen Studien, dass Vögel und Fledermäuse über ihre Nahrung aus umherfliegenden Mücken über längere Zeit Pestizide aufnehmen könnten und somit die Pestizide in Gewässern auch Tiere an Land negativ beeinflussen könnten.

Fachartikel:

Roodt, A.P., Röder, N., Pietz, S., Kolbenschlag, S., Manfrin, A., Schwenk, K., Bundschuh, M., Schulz, R. (2022): Emerging Midges Transport Pesticides from Aquatic to Terrestrial Ecosystems: Importance of Compound- and Organism-Specific Parameters. *Environmental Science & Technology*, April 2022.
DOI: 10.1021/acs.est.1c08079

Weitere Informationen:

Institut für Umweltwissenschaften, iES Landau
www.uni-koblenz-landau.de/de/landau/fb7

(aus: Pressemitteilung Universität Koblenz vom 20. April 2022)

#läuftbeiuns – der Podcast rund ums Wasser

Zum 100-jährigen Bestehen des Wasserwirtschaftsamt Hof gibt es einen Podcast rund um das Wasser im Hofer Land, Fichtelgebirge, Frankenwald und in der Fränkischen Schweiz. Alle zwei Wochen erscheint eine neue von insgesamt zehn Folgen. Darin geht es zum Beispiel um Wasserkraft, Gewässerkunde und Wasserversorgung.

Link zum Podcast:

www.wwa-ho.bayern.de/wir/100jahre/podcast.htm

Weitere Informationen:

Wasserwirtschaftsamt Hof
www.wwa-ho.bayern.de/wir/index.htm

(aus: Newsletter Bayerisches Landesamt für Umwelt vom 19. Mai 2022)

Naturbasierter Hochwasserschutz für Mensch und Natur

Mitte Juli jährt sich zum ersten Mal das katastrophale "Ahrtal-Hochwasser", das in Westdeutschland mehr als 180 Menschen das Leben kostete sowie Schäden in Höhe von 29,2 Mrd. € verursachte. Wie ein nachhaltiger Hochwasserschutz der Zukunft aussehen sollte und welche Vorteile insbesondere "naturbasierte Lösungen" bieten, haben deutsche Wissenschaftler unter Federführung der Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung (SGN) in einer Handlungsempfehlung zusammengefasst. Der "Policy Brief" rät zu einem kombinierten Hochwasserschutz unter Einbeziehung der von der EU geforderten Erhöhung der Schutzgebietsflächen von aktuell 10 auf 30 %.

Bei einem Wasserstand von 5,75 Metern brach am 14. Juli 2021 die Datenübermittlung des Pegels Altenahr an das zuständige Landesamt ab – Wassermassen hatten die Messstation mit sich gerissen. Modellierungen zeigen, dass das Ahrwasser einen Pegelstand von bis zu 7 m erreichte – im Normalfall liegt er in diesem Flussabschnitt unter 1 m. Hochwasser sind grundsätzlich natürliche Ereignisse, die in unseren Flusslandschaften über Jahrtausende eine einzigartige Biodiversität sowie widerstandsfähige Ökosysteme mit mannigfaltigen Leistungen geschaffen haben. In den vergangenen Jahrzehnten ist die Frequenz, die Höhe und das Risiko von Hochwasser durch massive Eingriffe des Menschen wie Flussbegradigung, Abtrennung und Bebauung der Auen, Entwaldung, Bodenversiegelung und Drainage jedoch deutlich gestiegen. Mit dem Klimawandel verstärkt sich die Hochwassergefahr zusätzlich. Die Katastrophe im letzten Sommer hat dies unverkennbar vor Augen geführt.

Überschwemmungen zählen weltweit zu den häufigsten und größten aller Naturgefahren: Zwischen den Jahren 1994 und 2013 waren 43 % aller registrierten Naturkatastrophen Hochwasser und betrafen fast 2,5 Mrd. Menschen. Im 20. Jahrhundert forderten Überschwemmungen von Flüssen etwa 7 Mio. Todesopfer. Weltweit wird der jährliche Schaden auf 104 Mrd. US-Dollar geschätzt. Diese Zahlen zeigen die Grenzen eines vorwiegend technisch orientierten und dabei häufig nicht nachhaltigen Hochwasserschutzes, denn dieser verlagert das Risiko nur örtlich und schadet der Umwelt. Dringend notwendig sei daher ein umfassendes und integriertes Risikomanagement von Land und Wasser, das den Flüssen und ihren Auen mehr Raum gibt, die natürliche Speicherkapazität der Landschaft erhöht und damit auch naturnahe Lebensräume für mehr Artenvielfalt schafft.

Als Lösung schlägt das Forscherteam von Senckenberg, dem IGB, dem Helmholtz-Zentrum Potsdam Deutsches GeoForschungs-Zentrum GFZ und der Universitäten Duisburg-Essen, Kiel, Frankfurt, Osnabrück sowie der Technischen Hochschule Aachen in einem gemeinsamen "Policy Brief" einen kombinierten Hochwasserschutz vor. Anstatt rein auf bauliche Maßnahmen wie Deiche oder künstliche Rückhaltebecken zu setzen, sollten verstärkt "naturbasierte Lösungen" (NbS) zum Einsatz kommen, indem zum Beispiel Flüsse, Auen, Feuchtgebiete und Wälder renaturiert oder Flächen entsiegelt werden. Solche naturbasierten Lösungen erhöhen den Wasserrückhalt in der Landschaft und somit auch die Resilienz gegenüber Hochwasserereignissen. Ein wesentliches Ziel sei es, einen möglichst großen Anteil des

Niederschlags am Ort des Auftretens versickern zu lassen oder dort zurückzuhalten. Eine Erhöhung des Waldanteils kann zum Beispiel helfen, wenigstens einige Hochwasser abzumildern.

Neben dem Einsatz naturbasierter Lösungen fordern die Wissenschaftler auch eine verstärkte Ausweisung von Überschwemmungsflächen bei der Erhöhung der Schutzgebietsfläche von derzeitigen 10 auf 30 %, wie sie in der EU-Biodiversitätsstrategie für 2030 vorgesehen ist. Dies fördere die biologische Vielfalt und schütze zugleich die Menschen.

Durch den globalen Klimawandel werden sich die Häufigkeit und Intensität von Starkniederschlägen weiter verstärken – die Folge sind weitere Überschwemmungen und Katastrophen.

Benötigt wird, so die Wissenschaftler des Senckenberg Forschungsinstituts, ein grundlegendes Umdenken im Hochwasserschutz, in welchem naturbasierte Lösungen ein essenzielles Segment darstellen. Ein kombinierter Hochwasserschutz, der sowohl technische als auch naturbasierte Maßnahmen beinhaltet, befördert Ökosystemleistungen sowie die einzigartige biologische Vielfalt von Flusslandschaften und verbindet somit den Schutz von Menschen und Natur. Die Renaturierung von Flüssen und ihren angrenzenden Auenflächen, die Wiedervernässung von Mooren und die Umgestaltung des deutschen Forsts in einen vielfältigen Wald müssen mit Nachdruck vorangetrieben werden.

Weitere Informationen:

Senckenberg Forschungsinstitut und Naturmuseum Frankfurt
www.senckenberg.de

Naturbasierte Lösungen verbessern Hochwasserschutz und Biodiversität – Policy Brief
www.senckenberg.de/wp-content/uploads/2022/06/220527-SGN-PolicyBrief-RZ-Online.pdf

(aus: Pressemitteilung Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung vom 8. Juni 2022)

Niedrigwasser und Trockenheit besser managen

Im März 2022 war es in Brandenburg rekordverdächtig trocken: Gerade einmal 0,7 Liter Wasser fielen im Durchschnitt pro Quadratmeter, mancherorts kein einziger Tropfen. Wetterextreme wie dieses stellen Wirtschaft, Gesellschaft und Verwaltung vor große Herausforderungen und können durch den Klimawandel zukünftig sogar vermehrt auftreten. Ihnen besser begegnen zu können, ist das Ziel des Verbundforschungsprojekts "Nachhaltige und praxistaugliche Implementierung eines Entscheidungshilfesystems für Niedrigwasser und Trockenheit (NieTro2)".

Niedrigwasser behindert die Schifffahrt und gefährdet damit Lieferketten, es kann zu Störungen industrieller Prozesse mit großem Kühl- oder Brauchwasserbedarf und zur Verschlechterung der ökologischen Gewässereigenschaften und Wasserqualität kommen, zum Beispiel durch erhöhte Stoffkonzentrationen und thermische Belastungen. Auch Bodenwasserspeicher und Grundwasserneubildung werden durch langanhaltende Trockenheit negativ beeinflusst, was zu Schwierigkeiten für die Trinkwasserversorgung und Landwirtschaft führt. All diese

Fragen sind in der Regel nochmals vielfach komplexer, wenn man sich in dynamischen Bergbaufolgelandschaften befindet, wie sie zum Beispiel in den Braunkohlerevieren von Brandenburg und Sachsen zu finden sind.

Das Verbundforschungsprojekt "NieTro2" arbeitet an modellgestützten Entscheidungshilfen für Landesämter und Landkreise, für Versorgungsunternehmen und Wasserverbraucher, ebenso wie für interessierte Bürger. Mithilfe moderner hydrologischer Modelle, aktueller Daten und Wettervorhersagen sowie benutzerfreundlicher Werkzeuge zur Datenanalyse, Datenvisualisierung und Planungsunterstützung sollen ein zuverlässiges Lagebild und verlässliche Prognosen zur Entwicklung von Indikatoren wie Wasserverfügbarkeit, Bodenfeuchte usw. zielgruppenspezifisch angeboten werden. Mobile Apps sollen das System abrunden, um bei der Datenerfassung vor Ort und bei der Sensibilisierung für die Thematik zu unterstützen. Im Kern der geplanten Softwarelösung steht ein ständig laufendes, landesweites Wasserhaushaltsmodell, welches ein Ingenieurbüro für das Land Brandenburg seit vielen Jahren betreibt.

Akademisch und technisch abgerundet wird das Projekt NieTro2 durch die Arbeitsgruppe der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (HTW). Die Gruppe besitzt große Erfahrung mit mobilen Softwareanwendungen und Augmented Reality für Citizen Science. In NieTro2 erforscht die HTW Berlin den Einsatz zielgruppenspezifischer mobiler Apps für das Projekt. So können beispielsweise aktuelle Daten über Landnutzung und Vegetationsstand mit mobilem Sensing gesammelt werden, gerade in dynamischen Bergbaufolgelandschaften, um die Wasserhaushaltsmodelle mit aktualisierten Daten zu versorgen. Aber auch die Bürgerinformation vor Ort soll durch mobile Apps unterstützt werden, um die Sensibilisierung für Extremereignisse und Klimawandel zu ermöglichen sowie das Verständnis von Trockenheitsphänomenen zu erleichtern.

Die wissenschaftlich-technischen Innovationen des Projekts NieTro2 sollen anhand realer Beispieldaten und -szenarien entwickelt, demonstriert und bewertet werden. Dazu wird ein Wasserhaushaltsmodell, das bereits von einem Berliner Ingenieurbüro für das Land Brandenburg betrieben wird, genutzt und verfeinert. Als assoziierte Projektpartner ohne Förderung durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr arbeiten der Landkreis Dahme-Spreewald, das Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg und die Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH (LMBV) im Projekt mit.

Das Projekt wird im Rahmen der Innovationsinitiative mFUND mit insgesamt ca. 956.000 € durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) gefördert. Im Rahmen des Förderprogramms mFUND unterstützt das BMDV seit dem Jahr 2016 Forschungs- und Entwicklungsprojekte rund um datenbasierte digitale Innovationen für die Mobilität 4.0. Die Projektförderung wird ergänzt durch eine aktive fachliche Vernetzung zwischen Akteuren aus Politik, Wirtschaft, Verwaltung und Forschung und die Bereitstellung von offenen Daten auf dem Portal mCLOUD.

Weitere Informationen:

Fachbereich Umweltinformatik, HTW Berlin
<https://ui.htw-berlin.de>

Portal "mFUND – Förderung für die Mobilität der Zukunft",
Bundesministerium für Digitales und Verkehr
www.mfund.de

(aus: Pressemitteilung Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin
vom 7. April 2022)

Studie untersucht Mikroplastikbelastung in der Rheinaue bei Langel in Köln

Mikroplastik kann sich in Flussauen ablagern und in tiefere Bodenbereiche transportiert werden. Die lokale Topografie, die Überschwemmungsfrequenz und die Bodenbeschaffenheit sind für die Menge der abgelagerten Plastikpartikel und deren mögliche Verlagerung in die Tiefe verantwortlich. Das ist das zentrale Ergebnis einer Studie von Forschern der Universitäten Köln und Bayreuth. Die Wissenschaftler untersuchten hierzu die Rheinaue Langel-Merkenich nördlich von Köln auf drei Probenahmelinien in zunehmendem Abstand vom Fluss jeweils in zwei Bodentiefen auf die Mikroplastikbelastung. Das Forschungsteam ist Teil des DFG-Sonderforschungsbereichs (SFB) 1357 Mikroplastik.

Es ist bekannt, dass über Flüsse Mikroplastik in Richtung der Ozeane transportiert wird. Unklar ist, ob alle Partikel letztlich dort landen. Während des Weges in Richtung Meer interagieren Mikroplastikpartikel nicht nur mit Flusssedimenten, sondern können sich auch in den Uferbereichen ablagern. Forscher der Universität Köln und der Universität Bayreuth untersuchten in Überflutungsbereichen des Rheins, ob bei größeren Überschwemmungen ein Teil des Mikroplastiks auf den überschwemmten Flächen verbleibt. Besonders interessierten sich die Wissenschaftler dafür, wie sich das Mikroplastik in den überschwemmten Böden verteilt und ob es in tiefere Bodenhorizonte gelangt.

Um diese Frage anzugehen, sammelte das Team in der Rheinaue Bodenproben in zwei verschiedenen Tiefen (0 bis 5 cm und 5 bis 20 cm) entlang dreier Probenahmelinien mit Messpunkten mit zunehmendem Abstand zum Fluss und bestimmten die Häufigkeit von Mikroplastik mittels Mikro-Fourier-Transformations-Infrarot-Spektroskopie (Mikro-FTIR-Spektroskopie). Dieses Verfahren ermöglicht eine eindeutige Charakterisierung der Plastiksorte jedes untersuchten Partikels bis zu einer minimalen Partikelgröße von 10 µm über die Messung seines chemischen Fingerabdrucks. Die Menge an Mikroplastik pro Kilogramm trockenen Bodens schwankte zwischen 25.502 und 51.119 Partikeln in den obersten 5 cm und zwischen 25.616 und 84.824 Partikeln im tieferen Boden (5 bis 20 cm). Ungefähr 75 % der Partikel waren kleiner als 150 µm.

Bei ihren Untersuchungen stellten die Forscher fest, dass die Verteilung der Mikroplastikpartikel im Wesentlichen von zwei Faktoren abhängt: einerseits von der Beschaffenheit und dem Bewuchs der Bodenoberfläche und andererseits davon, wie häufig die untersuchte Stelle überschwemmt wird. So können sich im Laufe der Überschwemmungen vor allem in den Senken Mikroplastikpartikel in den Rheinauen anreichern und werden an Stellen, die durch Grasbewuchs vor Erosion geschützt sind und in denen Regenwurmaktivität festgestellt wurde, auch in tiefere Schichten der Bodenhorizonte verlagert.

Je kleiner das Mikroplastik ist, umso eher wird es von Bodenlebewesen aufgenommen und kann sie möglicherweise negativ beeinflussen. Wie genau und in welchen Mengen Mikroplastik für Bodenlebewesen schädlich sein kann, erforschen die Wissenschaftler neben der Entstehung und dem Transportverhalten von Mikroplastik in der Umwelt im SFB Mikroplastik. Der gewählte interdisziplinäre Ansatz kann auch auf andere Überschwemmungsgebiete übertragen werden, um die entsprechenden Prozesse aufzuklären. Informationen aus solchen Untersuchungen sind sowohl für die Lokalisierung potenzieller Mikroplastiksenken für Probenahmepläne als auch für die Identifizierung von Gebieten mit erhöhter Bioverfügbarkeit von Mikroplastik für eine angemessene ökologische Risikobewertung von wesentlicher Bedeutung.

Fachartikel:

Rolf, M., Laermans, H., Kienzler, L., Pohl, C., Möller, J.N., Laforsch, C., Löder, M.G.J., Bogner, C. (2022): Flooding frequency and floodplain topography determine abundance of microplastics in an alluvia Rhine soil. *Science of the Total Environment*, Vol. 836. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.155141

Weitere Informationen:

Geographisches Institut, Universität Köln
<https://geographie.uni-koeln.de>

(aus: Pressemitteilung Universität Köln vom 18. Mai 2022)

Untersuchungen zu Mikroplastik im Indischen Ozean

Mit einer neuen Methode zur Gewinnung von Mikroplastikpartikeln aus Gewässerproben und ihrer Bestimmung haben Forschende des Helmholtz-Zentrums Hereon Proben aus dem tropischen Indischen Ozean untersucht. Das Ergebnis: Die Belastung ist deutlich messbar. Das Hereon-Institut für Umweltchemie des Küstenraumes erforscht das Vorkommen, die exakte Größe und die chemische Zusammensetzung von Mikroplastik in der Umwelt sowie die Wechselwirkungen zwischen Mikroplastik und anderen bereits in der Umwelt vorhandenen Schadstoffen.

Sie sind zwar winzig, stellen aber ein globales Problem für Mensch und Umwelt dar: Mikroplastikpartikel. Das sind Kunststoffpartikel mit einem Durchmesser zwischen einem Mikrometer und fünf Millimetern. Sie korrekt zu bestimmen, ist wegen der hohen Fehleranfälligkeit und des Zeitaufwands bisheriger Verfahren eine enorme Herausforderung. Die nun stark verbesserte Analyse dieser Partikel erfolgte mit einem neuartigen Verfahren, dem Laser Direct Infrared (LDIR) Chemical Imaging. Es wurde mit einem neuen Probenvorbereitungsprotokoll kombiniert, das mit weniger Arbeitsschritten durch chemische und enzymatische Reaktionen störende Bestandteile der Probe auflöst und in der Hereon-Abteilung Anorganische Umweltchemie für die Mikroplastikuntersuchung weiter optimiert wurde. Die chemische Charakterisierung der Mikroplastikpartikel geschieht hierbei anhand ihrer Absorption von infrarotem Licht. Das Gerät, das einen sogenannten Quantenkaskadenlaser nutzt, stellt im Rahmen dieser Studie seine Vorzüge bei der Analyse von Mikroplastikpartikeln in Umweltproben unter Beweis. Es ist schnell und automatisierbar, was für ein zukünftiges Standardverfahren wichtig ist.

Im Untersuchungsgebiet wurden in oberflächennahen Wasserschichten des Indischen Ozeans im Durchschnitt 50 Mikroplastikpartikel und -fasern pro Kubikmeter Wasser gefunden, was für den offenen Ozean unerwartet hoch ist. Die am häufigsten vorkommenden Kunststofftypen waren Lackpartikel (49 %), die vermutlich aus dem Abrieb von Schiffsanstrichen stammen, gefolgt von Polyethylenterephthalat (PET) mit einem Anteil von 25 %. PET wird unter anderem in synthetischer Kleidung als Polyester-Mikrofasern und für die Produktion von Getränkeflaschen verwendet. Es gelangt potenziell durch das Waschen von Kleidung in die Umwelt. Mikroplastikpartikel können ebenfalls bei der Zerkleinerung von PET-Flaschen entstehen, zum Beispiel durch mechanische Beanspruchung oder Sonnenstrahlung. In den letzten Jahren hat die Mikroplastikbelastung in der Umwelt kontinuierlich zugenommen. Es wurde mittlerweile in zahlreichen bzw. nahezu allen untersuchten Lebewesen nachgewiesen.

Die Ergebnisse zeigen, dass viele Mikroplastikpartikel wie Polypropylen, Polystyrol und Polyethylen auf ihrem Weg von Quellen an Land in den offenen Ozean zerkleinert wurden, wodurch sie noch leichter durch Lebewesen mit der Nahrung aufgenommen werden können. Durch die Sunda-Straße, eine Meerenge zwischen Sumatra und Java, gelangt möglicherweise ein Großteil der gefundenen Plastikabfälle in den Indischen Ozean und macht diesen zu einem Hotspot in Bezug auf die Mikroplastikbelastung. Ein erheblicher Teil der weltweiten Plastikabfälle landet als Exportgut in angrenzenden Ländern des Indischen Ozeans. Aufgrund eines wenig wirksamen Abfallmanagements werden aus China und dem Indonesischen Archipel basierend auf einer modellbasierten Schätzung aus dem Jahr 2017 jährlich insgesamt 5 Mio. t Plastikmüll in die marine Umwelt eingetragen.

In weiteren Untersuchungen möchten die Hereon-Wissenschaftler nun auch Mikroplastikkonzentrationen anderer Ozeane mit der neuen Analysemethoden untersuchen. Die Forscher werden während einer kommenden Ausfahrt mit dem Forschungsschiff MARIA S. MERIAN arktische Gewässer vor der Ostküste Grönlands beproben. Hier ist die Datengrundlage bezüglich Mikroplastikpartikeln noch sehr unzureichend. Geklärt werden soll die Frage: Ist die Belastung durch Mikroplastik auch in abgelegenen Regionen bereits messbar und damit möglicherweise stärker als gedacht?

Fachartikel:

Hildebrandt, L., Gareb, F., Zimmermann, T., Klein, O., Kerstan, A., Emeis, K.-C., Pröfrock, D. (2022): Spatial distribution of microplastics in the tropical Indian Ocean based on laser direct infrared imaging and microwave-assisted matrix digestion. *Environmental Pollution*, Vol. 307.

DOI: 10.1016/j.envpol.2022.119547

Weitere Informationen:

Institut für Umweltchemie des Küstenraumes,
Hereon Helmholtz-Zentrum
www.hereon.de/institutes/coastal_environmental_chemistry

(aus: Pressemitteilung Hereon Helmholtz-Zentrum vom 7. Juni 2022)

Vielfachstress für flache Seen: Pestizide, Nitrat, Klimaerwärmung

Pestizide, Nitrat und Klimaerwärmung – Stressfaktoren für Seen und ihre Lebewesen. Ein französisch-deutsches Forschungsteam unter der Leitung der französischen Universität de Lorraine mit Beteiligung des Leibniz-Instituts für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) hat die individuellen und kombinierten Wirkungen dieser Stressoren auf das Nahrungsnetz aus Pflanzen, Algen und Kleinstlebewesen in flachen Seen untersucht. Davon hängt maßgeblich die ökologische Gewässerqualität ab. Ein Ergebnis: In Kombination nehmen die negativen Effekte dieser Stressoren auf die Gewässerqualität deutlich zu und können ein "Kippen" eines klaren Sees in einen trüben Zustand fördern.

Flache, kleine Seen sind weltweit der am häufigsten vorkommende Gewässertyp. Charakteristisch dafür sind viele Wasserpflanzen, die den Klarwasserzustand stabilisieren. Äußere Einflüsse aus der Atmosphäre und dem umgebenden Land können einen abrupten Wechsel in den trüben, von Phytoplankton dominierten Zustand auslösen.

So beispielsweise der Abfluss von landwirtschaftlichen Flächen, der Nitrat und verschiedene Pestizide ins Wasser spült. Und natürlich der Klimawandel mit wärmeren Temperaturen. Das Forschungsteam untersuchte in Mikrokosmos-Experimenten die individuellen und kombinierten Auswirkungen der Stressoren – Pestizide, Nitrat und Klimaerwärmung – auf die Nahrungsnetze von Wasserpflanzen, Mikroalgen und Kleinstlebewesen wie Wasserflöhe, Schnecken und Muscheln. In Mikrokosmos-Experimenten holt man einen Ausschnitt aus der Umwelt ins Labor. Der Vorteil ist, dass man Veränderungen in kleinem Maßstab ziemlich wirklichkeitsgetreu nachstellen kann. So konnten die Forscher erstmals erforschen, ob die Kombination dieser Stressoren einen Einfluss auf die Nahrungsnetze und damit auch auf den Zustand der Gewässer hat.

In den Versuchen reduzierten umweltrelevante Mengen an Pestiziden in Kombination mit Nitrat das Wachstum der Wasserpflanzen um etwa die Hälfte und beschleunigten die Entwicklung von Phytoplankton, insbesondere von Grünalgen. Die Vermutung der Wissenschaftler hat sich bestätigt, dass der Abfluss von landwirtschaftlichen Flächen mit Pestiziden und hoher Nitratbelastung den Zustand von kleinen Flachwasserseen verschlechtert, indem statt Wasserpflanzen mehr Algen wachsen. Der Effekt war deutlich stärker als von den einzelnen Stressoren allein.

Durch Pestizide gab es auch weniger Schnecken und Wasserflöhe, was mit Insektiziden, Fungiziden oder Metallen wie Kupfer im Pestizidgemisch zusammenhängen kann. Weil diese Lebewesen fehlten, wurde das Algenwachstum weniger durch Fraß in Schach gehalten.

Pestizide und Nitrat allein hatten in den getesteten Konzentrationen meist nur geringe Auswirkungen auf die Wasserpflanzen, zeigten gemeinsam jedoch synergistische Effekte. Die Wissenschaftler halten fest, wie wichtig es ist, sowohl den Nitrat- als auch den Pestizideinsatz in der Landwirtschaft zu reduzieren. Die Verringerung nur eines dieser chemischen Stressoren ist möglicherweise nicht ausreichend.

Die Situation wird noch komplexer, wenn zu diesen Stressoren noch die Erwärmung hinzukommt. Man nimmt gemeinhin an, dass die globale Erwärmung das Wachstum von Wasserpflanzen in gemäßigten und arktischen Regionen antreibt, es sei denn, kritische Schwellenwerte für die Nährstoffbelastung, die zu einer Dominanz des Phytoplanktons führen, werden überschritten. In dem Experiment modulierte die Erwärmung die Wirkung der landwirtschaftlichen Abflüsse. Letztendlich führte der Mehrfachstress im Versuch ebenfalls zu einer deutlichen Hemmung des Wasserpflanzenwachstums und zu einer verstärkten Algenentwicklung, im Gegensatz zu der erwarteten Wirkung, die sich aus der Addition der Reaktionen auf die einzelnen Stressoren ergeben würde. Die Studie zeigt, dass solche komplexen Experimente notwendig sind, da die Auswirkungen mehrerer Stressoren auf Ökosysteme nicht aus den Auswirkungen der einzelnen Stressoren vorhergesagt werden können.

Fachartikel:

Vijayaraj, V., Laviale, M., Allen, J., Amoussou, N., Hilt, S., Hölker, F., Kipferler, N., Leflaive, J., López Moreira M., G.A., Polst, B.H. Schmitt-Jansen, M., Stibor, H., Gross, E.M. (2022): Multiple-stressor exposure of aquatic food webs: Nitrate and warming modulate the effect of pesticides. *Water Research*, Volume 216, 2022, 118325, ISSN 0043-1354.

DOI: 10.1016/j.watres.2022.118325

Weitere Informationen:

Forschungsgruppe Lichtverschmutzung und Ökophysiologie, IGB
www.igb-berlin.de/hoelker

Forschungsgruppe Aquatisch-terrestrische Kopplung und Regimewechsel, IGB
www.igb-berlin.de/hilt

(aus: Pressemitteilung Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei vom 2. Juni 2022)

Metastudie zur weltweiten Beeinträchtigung der ökologischen Funktionen von Fließgewässern

Landwirtschaft, Habitatverlust oder Abwässer – menschengemachte Stressoren wirken sich negativ auf die biologische Vielfalt in Bächen und Flüssen aus. In welchem Maße dabei auch ihr Vermögen zur Selbstreinigung und andere wichtige Ökosystemleistungen in Mitleidenschaft gezogen werden, darüber weiß man noch sehr wenig. Mit einer kürzlich veröffentlichten Metastudie hat ein internationales Forschungsteam unter Leitung des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung (UFZ) den weltweiten Stand der Forschung dazu erfasst – und gibt damit neue Impulse für ein verbessertes Gewässermanagement.

Fließgewässer sind die Lebensadern unserer Erde, Hotspots der Biodiversität und für den Menschen unverzichtbare Lebensgrundlage: Sie stellen Trinkwasser bereit, dienen dem Hochwasserschutz und werden zur Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen genutzt. Doch der Mensch nimmt Einfluss auf Gewässersysteme und deren ökologische Funktionen – unter anderem durch Veränderung der natürlichen Gewässerstruktur, Landwirtschaft oder Einleitung von Abwässern. Das alles geht natürlich nicht spurlos an den Fließgewässern vorüber. Die allermeisten Studien dazu befassen sich mit den Auswirkungen

auf die Biodiversität – was aus Sicht der Forschergruppe aber nur einen Teil des Problems erfasst. Denn ein Verlust der biologischen Vielfalt kann zwar anzeigen, dass etwas in einem Gewässer nicht stimmt, doch ob und inwieweit seine ökologischen Funktionen in Mitleidenschaft gezogen sind, bleibt unbeantwortet.

Eine der wichtigsten Ökosystemleistungen von Fließgewässern ist ihre natürliche Reinigungsleistung. Sie kann über verschiedene ökologische Funktionen wie etwa die Nährstoffaufnahme oder die Zersetzung von Laub bewertet werden. Doch wie genau wirken sich menschliche Stressoren auf diese ökologischen Funktionen aus, die für die natürliche Selbstreinigungskraft eines Fließgewässers essenziell sind? Für die Metastudie hat das internationale Wissenschaftlerteam den aktuellen Stand der Forschung zu dieser Frage zusammengetragen. Das Forschungsteam wertete die Fachliteratur nach Studien aus, in denen die Auswirkungen menschlicher Stressoren auf die ökologischen Funktionen von Fließgewässern untersucht wurden. Die Forscher haben sämtliche weltweit verfügbaren Forschungsarbeiten recherchiert und fanden insgesamt 125 Studien – was im globalen Maßstab wirklich eine sehr geringe Ausbeute ist. Das hat noch einmal verdeutlicht, wie wenig hierzu bislang geforscht wurde. Und: Die gefundenen Studien wurden vor allem in Europa, Nordamerika oder Kanada durchgeführt. Über die Regionen Asien oder Afrika ist bislang fast nichts bekannt. Hier besteht aus Sicht des Wissenschaftlerteams höchster Forschungs- und Handlungsbedarf.

Die Auswertung der Studiendaten ergab, dass die Effizienz, mit der Fließgewässer Nitrat zurückhalten können, in Bächen, die durch landwirtschaftlich genutzte Gebiete fließen, fast fünfmal geringer ist als in Bächen mit natürlicher Umgebung. Landwirtschaftlich geprägte Fließgewässer sind durch hohe Nährstoffkonzentrationen und eine geschädigte Gewässerstruktur so stark belastet, dass sie ihre natürliche ökologische Rückhaltefunktion nicht mehr ausreichend erfüllen können und dadurch einen Großteil ihrer Reinigungsleistung einbüßen. Ein weiteres wichtiges Ergebnis der Studie ist die vergleichende Bewertung der Stressoren: Welcher Stressor hat über alle ökologischen Funktionen hinweg die stärksten Auswirkungen? Deutlich auf Platz eins liegt die Einleitung von Abwässern. Auf dem unrühmlichen zweiten Platz die Landwirtschaft und auf Platz drei die Urbanisierung. Das sind alles Bereiche, in denen dringend Änderungen vorgenommen werden müssen.

Um die Gewässergefährdung besser abschätzen und passende Managementmaßnahmen einleiten zu können, sind die ökologischen Funktionen von Fließgewässern sehr gute und aussagekräftige Indikatoren, was die Metastudie deutlich zeigen konnte. Das Forscherteam hofft, dass es in Zukunft vermehrt Studienansätze geben wird, die die ökologischen Funktionen von Fließgewässern in den Fokus nehmen. Und das am besten auf breiter Ebene weltweit – denn es besteht rund um den Globus dringender Handlungsbedarf.

Fachartikel:

Brauns, M., Allen, D.C., Boëchat, I.G., Cross, W.F., Ferreira, V., Graeber, D., Patrick, C.J., Peipoch, M., von Schiller, D., Gücker, B. (2022): A global synthesis of human impacts on the multifunctionality of streams and rivers. *Global Change Biology*.

DOI: 10.1111/gcb.16210

Weitere Informationen:

UFZ-Department Fließgewässerökologie
www.ufz.de/index.php?de=34220

(aus: Pressemitteilung Helmholtz-Zentrum für
 Umweltforschung UFZ vom 17. Mai 2022)

Wie wirkt sich Wiederaufforstung auf den Wasserkreislauf aus?

Wie würden sich Aufforstung und Renaturierung großer Flächen weltweit auf die Wasserströme auswirken? Eine neue Studie unter der Leitung von Wissenschaftlern der Universität Wageningen (Niederlande) und unter Mitwirkung des Helmholtz-Zentrums Potsdam (GFZ) liefert hierzu interessante Antworten: Die Auswirkungen auf die Niederschläge reichen demnach weit über Ländergrenzen und sogar Kontinente hinaus. So kann die Wiederaufforstung von Bäumen im Amazonasgebiet zum Beispiel Niederschläge in Europa und Ostasien beeinflussen. In der Studie wurden die globalen Auswirkungen einer groß angelegten Baumsanierung auf die Wasserflüsse und die Wasserverfügbarkeit berechnet.

Renaturierung und das Pflanzen von mehr Bäumen gelten als praktikable Lösung zur Verbesserung der Kohlenstoffspeicherung und der biologischen Vielfalt von Ökosystemen. Mit innovativen Daten und Analysen haben die Forscher gezeigt, dass die hydrologischen Auswirkungen wichtig dafür sind, wie und wo solche naturbasierten Lösungen am besten geeignet sind, um zu klimafreundlicheren und nachhaltigeren zukünftigen Landschaften zu gelangen.

Das Wissenschaftlerteam berechnete die hydrologischen Auswirkungen des "globalen Aufforstungspotenzials": eine globale Karte, auf der 900 Mio. ha markiert sind, wo unter den örtlichen Klimabedingungen mehr Bäume wachsen oder gepflanzt werden könnten, ohne dass landwirtschaftliche und besiedelte Flächen beeinträchtigt werden. Der Anstieg der Verdunstung, der sich aus der erhöhten Baumbedeckung ergibt, wurde weltweit mit hoher Auflösung berechnet. Für die Studie wurden datengestützte Modelle verwendet, die beschreiben, wie viel Niederschlag verdunstet und wie viel in die Flüsse fließt. Diese Modelle enthalten einen Vegetationsparameter für bewaldete und nicht bewaldete Bedingungen, der auf eine Reihe von verschiedenen Verdunstungs- und Abflussmessungen kalibriert wurde. Anschließend berechneten die Wissenschaftler, wo und in welchem Umfang die erhöhte Verdunstung als erhöhter Niederschlag an die Landoberfläche zurückkehren würde.

Die Ergebnisse zeigen, dass die großflächige Wiederherstellung von Bäumen die Verdunstung lokal um durchschnittlich fast 10 l/km² wiederhergestellten Waldes erhöhen kann. Lokal, insbesondere in den Tropen, kann dieser Effekt mit fast 250 l/m² noch viel größer sein. Entscheidend ist, dass nicht das gesamte Wasser an die Landoberfläche zurückkehrt. Nur etwa 70 % des zusätzlich verdunsteten Wassers in der Atmosphäre kehren auf das Land zurück, während die restlichen 30 % durch Regen über die Ozeane abgeführt werden. Auf globaler Ebene bedeutet dies, dass die Wiederaufforstung von Bäumen zu einem Netto-Rückgang der Wasserverfügbarkeit führt.

Für einzelne Flusseinzugsgebiete sind die Auswirkungen der Aufforstung komplexer. Nach der Baumpflanzung würde der Abfluss in den großen Flusseinzugsgebieten im Allgemeinen um bis zu 10 % zurückgehen. In anderen Flusseinzugsgebieten, z. B. Jangtse und Amazonas, wird die Verringerung des Abflusses jedoch nahezu Null betragen, da die negativen Auswirkungen der erhöhten Verdunstung durch die erhöhten Niederschläge aufgrund der Wälder in diesen Gebieten ausgeglichen werden. Interessanterweise werden einige dieser Einzugsgebiete möglicherweise sogar an Wasser gewinnen.

In der Studie kommen die Wissenschaftler zu dem Ergebnis, dass unter den derzeitigen Klimabedingungen in einem wärmeren Klima das "globale Aufforstungspotenzial" abnehmen würde. Außerdem könnte der künftige Klimawandel die Verdunstung und die jährlichen Niederschläge erhöhen, was die globalen atmosphärischen Zirkulationsmuster beeinflussen würde.

Fachartikel:

Hoek van Dijke, A., Herold, M., Mallick, K., Benedict, I., Machwitz, M., Schlerf, M., Pranindita, A., Theeuwes, J.J.E., Bastin, J.-F., Teuling, A.J. (2022): Shifts in regional water availability due to global tree restoration. *Nature Geoscience*, 15.
 DOI: 10.1038/s41561-022-00935-0

Weitere Informationen:

Sektion Fernerkundung und Geoinformatik, GFZ
www.gfz-potsdam.de/sektion/fernerkundung-und-geoinformatik/ueberblick

(aus: Pressemitteilung Helmholtz-Zentrum Potsdam
 vom 12. Mai 2022)

Brandenburg**Länderübergreifendes UNESCO-Biosphärenreservat "Flusslandschaft Elbe" erfolgreich evaluiert**

Das länderübergreifende Biosphärenreservat "Flusslandschaft Elbe" darf das UNESCO-Gütesiegel auch in den nächsten zehn Jahren tragen. Die entsprechende Urkunde zur erfolgreichen Re-Zertifizierung ist am 10. Juni 2022 im "Haus der Flüsse" in Havelberg (Sachsen-Anhalt) an die Reservatsverwaltung überreicht worden. Der Internationale Koordinierungsrat des UNESCO-Programms "Der Mensch und die Biosphäre" (MAB) hatte die positive Bewertung der Evaluierung während seiner Sitzung Mitte September 2021 beschlossen; aufgrund der Corona-Pandemie konnte die Urkunde aber erst jetzt überreicht werden. Das Biosphärenreservat "Flusslandschaft Elbe" ist mit rund 282.250 ha das größte seiner Art im deutschen Binnenland und seit 1997 von der UNESCO anerkannt.

Das länderübergreifende Biosphärenreservat "Flusslandschaft Elbe" repräsentiert eine der letzten naturnahen Stromlandschaften Mitteleuropas und ist ein herausragendes Beispiel für die Verknüpfung der für UNESCO-Biosphärenreservate geforderten Nachhaltigkeitsvision mit dem Schutz von Ökosystemen und der Stärkung der kulturellen Identität. Hervorgegangen aus dem ersten großräumigen deutschen UNESCO-Biosphärenreservat "Steckby-Lödderitzer Forst" (im Jahr 1979 von der UNESCO anerkannt) erstreckt es sich über einen rund 400 km langen

Stromabschnitt der Mittel-elbe in den Bundesländern Sachsen-Anhalt, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen und Schleswig-Holstein.

Typische Fluss- und Auenstrukturen sowie naturnahe Lebensräume sind zahlreich erhalten und eingebettet in eine Jahrhunderte alte Kulturlandschaft. Diese fünf Bundesländer übergreifende, umfassende Einbeziehung eines großen Stromauenökosystems in ein Biosphärenreservat ist in Deutschland einzigartig. Daher ist es umso mehr erfreulich, dass die UNESCO die Entwicklung des Biosphärenreservats positiv bewertet hat und diese Nationale Naturlandschaft weiterhin die Kriterien der UNESCO-Anerkennung erfüllt. Die Verantwortlichen in Brandenburg sind stolz, dass über den Naturschutz hinaus auch die länderübergreifende Partnerinitiative mit mittlerweile 180 Partnern in Sachen Regionalentwicklung und Wertschöpfung in der Region einen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung des Biosphärenreservats leistet. Darüber hinaus hat Brandenburg mit der Ausweisung des "Grünen Bands" im ehemaligen innerdeutschen Grenzstreifen als Nationales Naturmonument das Biosphärenreservat nochmals aufgewertet.

Herausragend ist auf rund 14.300 ha die historische Kulturlandschaft des Gartenreichs Dessau-Wörlitz als UNESCO-Welterbe im Biosphärenreservat.

Weitere Informationen

UNESCO-Biosphärenreservat Flusslandschaft Elbe
www.flusslandschaft-elbe.de

Haus der Flüsse – Natura 2000 Informationszentrum des Biosphärenreservates Mittel-elbe
www.haus-der-fluesse.de

(aus: Pressemitteilung Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg vom 10. Juni 2022)

Personen

Hydrologe Prof. Thorsten Wagener wird mit Alexander-von-Humboldt-Professur ausgezeichnet

Der Potsdamer Hydrologe und Umweltforscher Prof. Dr. Thorsten Wagener ist einer von 21 Alexander-von-Humboldt-Professorinnen und -Professoren, die am 12. Mai offiziell ihre Auszeichnung erhielten. Deutschlands höchstdotierter internationaler Forschungspreis wird nach zwei Jahren erstmals wieder in Präsenz verliehen und – für die Jahre 2020 bis 2022 – von der Bundesministerin für Bildung und Forschung, Bettina Stark-Watzinger, sowie dem Präsidenten der Humboldt-Stiftung, Hans-Christian Pape, gemeinsam übergeben.

Der Wasserexperte Prof. Wagener hat seine Humboldt-Professur für die Analyse hydrologischer Systeme an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Potsdam bereits im Januar 2021 angetreten. Er will mithilfe der renommierten und mit 3,5 Mio. € dotierten Professur den Schwerpunkt Wasserforschung der Hochschule weiter ausbauen. Dafür ist unter anderem ein neues Forschungszentrum für Wasser, Umwelt und Gesellschaft in Planung, das ein Knotenpunkt für die weltweit vernetzte Forschung, Innovation und Lehre werden soll, um die Wasserversorgung unter sich ändernden (Klima-)Bedingungen sicherzustellen.

Im einzigartigen Potsdamer Forschungsnetzwerk zu Klima- und Umweltthemen soll Prof. Wagener als Alexander-von-Humboldt-Professor eine zentrale Position einnehmen. Künftig will er die Hydrologie als Schlüsselwissenschaft weiter ausbauen, die zum Beispiel wichtige Beiträge liefern kann zur Änderung des Wasserkreislaufs und hydrologischer Extremereignisse durch den Klimawandel.

Prof. Thorsten Wagener war in den Jahren von 2012 bis 2020 Professor für Wasser- und Umweltingenieurwesen an der Faculty of Engineering der University of Bristol, Vereinigtes Königreich. Nach dem Studium in Siegen und Delft (Niederlande) mit einem Auslandsaufenthalt in Äthiopien wurde er im Jahr 2002 am Imperial College London promoviert. Als Postdoc und DAAD-Stipendiat wechselte er in die USA und wurde im Jahr 2004 Assistant und in 2009 Associate Professor an der Pennsylvania State University. Er erhielt zahlreiche Auszeichnungen wie den Friedrich-Wilhelm-Bessel-Forschungspreis der Humboldt-Stiftung und den Royal Society Wolfson Research Merit Award, ist Mitherausgeber verschiedener Zeitschriften sowie Mitglied der European Academy of Sciences und Fellow der American Geophysical Union.

Die Alexander-von-Humboldt-Professur ist der am höchsten dotierte deutsche Forschungspreis. Das Preisgeld ist für die ersten fünf Jahre Forschung in Deutschland bestimmt. Die Auszeichnung wird von der Alexander-von-Humboldt-Stiftung vergeben und vom Bundesministerium für Bildung und Forschung finanziert.

(aus: Pressemitteilung Universität Potsdam vom 5. Mai 2022)

Björn-Carlson-Ostsee-Preis ging an IOW-Forscherin Prof. Maren Voß

Prof. Dr. Maren Voß vom Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW) wurde in Stockholm mit dem mit 3 Mio. Schwedischen Kronen (umgerechnet knapp 300.000 €) dotierten Björn-Carlson-Ostsee-Preis der Björn Carlson Baltic Sea Foundation ausgezeichnet. Die Stiftung würdigte damit die wegweisende Forschung der Wissenschaftlerin zu marinen Stickstoff-Kreisläufen in der Ostsee. Mit innovativen Methoden erfasste sie die unterschiedlichen Eintragsquellen und Umsetzungsprozesse dieses Nährstoffs und trug so dazu bei, dass bei der Bekämpfung der Ostsee-Überdüngung der Fokus verstärkt auf Stickstoff gelegt wurde.

Prof. Maren Voß beschäftigt sich seit über 25 Jahren mit dem Stickstoffkreislauf der Ostsee. Sie kam 1992 vom Nationalparkamt in Tönning nach Warnemünde an das im selben Jahr neu gegründete Institut für Ostseeforschung. Dort trug sie maßgeblich dazu bei, dass der Bereich "Biologische Meereskunde" durch Speziallabore und die Etablierung innovativer Analytik ausgebaut wurde. Im Ostseeraum war sie die Erste, die die Analyse stabiler Isotope in Wasser und organischen Stoffen anwandte, um die Prozesse innerhalb der Nährstoff-Kreisläufe zu entschlüsseln. Die Messung mikrobieller Stoffwechselraten und deren Extrapolation zur Erstellung von Budgets sowie wichtige Methodenentwicklungen – etwa die Messung der Stickstofffixierung – sind zentrale Elemente ihrer Arbeit. Für die Ostsee hat sie zum ersten Mal beschrieben, dass die Überdüngung durch Flüsse ein klar nachweisbares Signal in den Organismen und Sedimenten hinterlässt. Sie zeigte außerdem, dass neben den Flüssen auch Niederschläge und stickstofffixierende Mikroorganismen wichtige Nährstoffquellen für die Ostsee sind.

(aus: Pressemitteilung Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde vom 20. April 2022)

Projektbericht

Grundwasser-See-Interaktion in einem tieflandgeprägten nordostdeutschen Flachsee in Brandenburg

Im Nahbereich des hypertrophen Rangsdorfer Sees in Brandenburg wurden im Verlauf eines Jahres 13 um den See verteilte Grundwassermessstellen jeweils an fünf verschiedenen Zeitpunkten beprobt und deren Wasserstände erfasst. Beim für die Eutrophierung des Sees relevanten Stoff Phosphor zeigte sich, dass das von Nordosten den See anströmende Grundwasser sehr geringe Konzentrationen der mobilen Spezies ortho-Phosphatphosphor aufweist ($< 0,03 \text{ mg/l}$). Das gegenteilige Bild zeigt sich in einer südwestlich und südlich an den See angrenzenden Niederung mit hohen ortho-Phosphatphosphorgehalten von bis zu $0,67 \text{ mg/l}$. Eine Interaktion zwischen Grundwasser und See konnte mithilfe von Wasserisotopen in zuvor kartierten Bereichen mit sandiger Lithologie bestätigt werden. Neben der hydrochemischen Charakterisierung des Grundwassers wurde dessen Dynamik mithilfe eines auf der Darcy-Gleichung basierenden Ansatzes untersucht.

Es ergeben sich grundsätzlich zwei verschiedene hydraulische Zustände. Einerseits wird der See lediglich von nährstoffarmem Grundwasser aus dem Norden angeströmt. Dies ist der Fall, wenn der Seewasserstand ausreichend hoch ist. Im anderen Fall, wenn der Seewasserstand unterhalb des Grundwasserstandes der südwestlich angrenzenden Niederung liegt, erfolgt an dieser Stelle ein Rückstrom von nährstoffreichem Grundwasser in den See. Dabei handelt es sich teils um ehemaliges Seewasser, welches somit erneut einen Beitrag zum Phosphoreintrag leisten kann. Empfehlungen für das Gewässermanagement sehen eine Stützung des Seewasserstandes vor, wodurch das System in Bezug auf die vorhandene Eutrophierung in den hydraulisch günstigeren Zustand versetzt wird.

1 Einleitung

Phosphor ist in den meisten Süßwasserökosystemen der limitierende Nährstoff. Ein Überangebot an Phosphor führt jedoch zur Eutrophierung mit den daran geknüpften negativen Auswirkungen, wie der Massenvermehrung von Phytoplankton und Sauerstoffarmut im Gewässer nach deren Absterben (WETZEL, 2001).

Um effektive Maßnahmen zur Reduktion von Phosphor in einem See abzuleiten, müssen möglichst alle Eintragspfade identifiziert und quantifiziert werden. Insbesondere die Erfassung von Phosphoreinträgen über das Grundwasser ist meist mit Schwierigkeiten verbunden, da der Grundwasseraustausch zwischen See und Grundwasserleiter oftmals eine ausgeprägte räumliche und zeitliche Heterogenität aufweist. Dies resultiert in einem erheblichen zeitlichen und technischen Messaufwand. Aus diesem Grund wurde die Interaktion zwischen Grundwasser und See in Nährstoffbilanzierungen meist stark vereinfacht oder vernachlässigt, obwohl das Grundwasser einen bedeutenden Anteil an der Nährstofffracht eines Sees ausmachen kann (ROSENBERRY et al., 2015; LEWANDOWSKI et al., 2015; MEINIKMANN et al., 2015).

In früheren Studien zur Erfassung der Nährstoffbelastungsquellen des Rangsdorfer Sees wurde bisher keine systematische Untersuchung des Grundwassers und dessen Interaktion mit dem See durchgeführt. Ziel der hier berichteten Arbeiten (HYDOR, 2021) war es, dieses Wissensdefizit durch orts- und zeitkonkrete Messungen der Phosphorkonzentrationen, Bestimmung von Wasserisotopen und durch hydraulische Auswertungen im Rahmen eines einjährigen Monitorings zu beheben.

2 Untersuchungsgebiet und Methodik

Der südlich von Berlin gelegene hypertrophe (Gesamtposphor Saisonmittel 2019: $0,21 \text{ mg/l}$) und polymiktische Rangsdorfer See (internationale Kennung: DE_LW_DEBB8000158286839) dient als Naherholungsgebiet und stellt ein Gewässer mit außerordentlicher Bedeutung für den Arten- und Naturschutz, insbesondere als Vogelrastplatz, in der Region dar. Es handelt sich um einen typischen Flachsee mit einer mittleren Tiefe von $1,7 \text{ m}$ und einer Seefläche von $2,44 \text{ km}^2$. Im Norden wird der Rangsdorfer See durch den Glasowbach als einzigen oberirdische Zulauf gespeist. Eine Entwässerung findet jeweils über ein Wehr im Süden und im Westen des Sees in den Zühlowkanal statt (TERRA URBANA, 2016). Zum Zeitpunkt der Arbeiten konnte jedoch kein Abfluss über diese Pfade beobachtet werden.

Zur Untersuchung der Phosphorkonzentration, Wasserisotopie und Grundwasserdynamik wurden insgesamt 13 bestehende und temporär errichtete Messstellen verwendet. Diese schließen den oberen Bereich des Grundwasserleiters zwischen 0 bis 6 m unter der Grundwasseroberfläche auf. Ausgenommen ist hiervon eine Bestandsmessstelle, die in einem Bereich von $24,5$ bis $26,5 \text{ m}$ unter der Grundwasseroberfläche verfiltert ist. In allen Messstellen wurden Mittel- bis Feinsand und teils schluffige Beimengungen angesprochen. Die einjährige Beprobung erfolgte im Zeitraum 2020/21 in einem Turnus von zwei bis drei Monaten an insgesamt fünf Stichtagen. Die Beprobung der Wasserisotope im Grund- und Seewasser wurde an zwei Stichtagen im Winter und Sommer durchgeführt. Im Juli 2021 wurde zusätzlich eine Sondierung der Grundwasseroberfläche auf einer westlich des Sees gelegenen Niederungsebene durchgeführt, um überblicksweise eine höhere räumliche Auflösung der Grundwasserstände zu erhalten.

Der Rangsdorfer See wird in weiten Teilen durch eine meist mehrere Meter, teils über 15 m mächtige Muddeschicht vom oberen unbedeckten Grundwasserleiter getrennt. Dieser besteht im Bereich des Sees aus Mittel- bis Feinsanden und ist hydraulisch mit dem zweiten Grundwasserleiter verbunden. Anhand von durchgeführten Sedimentbohrungen des Konsortium Rangsdorfer See (1992) und Sedimentanalysen von Guder (2003) ist in einigen Bereichen mit teils signifikanter räumlicher Ausdehnung jedoch von einer unmittelbaren Anbindung des Gewässers an

den Grundwasserleiter auszugehen. Vereinfacht wurde, basierend auf der Lithologie im Untersuchungsgebiet, ein k_f -Wert von $1 \cdot 10^{-4}$ m/s angesetzt. Dieses Vorgehen erlaubt mithilfe des hydraulischen Gradienten eine Quantifizierung der Grundwasser-See-Interaktion nach ROSENBERRY et al. (2008) und eine Bestimmung des konservativen Eintrags von ortho-Phosphatphosphor.

Die für hydrologische Fragestellungen relevanten Isotope O-18 des Sauerstoffs und D (Deuterium) des Wasserstoffs ermöglichen es, die Herkunft eines Wassers abzuleiten. Grund- und Seewasser zeichnet sich durch sehr unterschiedliche Isotopenzusammensetzungen aus. Grundwasser weist typischerweise die Zusammensetzung von Regenwasser auf, währenddessen die Isotopenzusammensetzung von Seewasser durch Verdunstungsprozesse verändert wurde. Durch Messungen des Isotopenverhältnisses der Grund- und Seewasserproben kann eine Aussage darüber getroffen werden, ob Grundwasser an dieser Stelle in den See übertritt oder im umgekehrten Fall Seewasser in den Grundwasserleiter infiltriert (TURNER & TOWNLEY, 2006; DWA, 2021 (unveröffentl.)).

3 Ergebnisse

In Abbildung 1 ist die mittlere gemessene ortho-Phosphatphosphor-Konzentration in den Messstellen während des einjährigen Monitorings kartografisch dargestellt. Abgesehen von der Messstelle "GWM 1/20", weisen die im nördlichen und östlichen Bereich des Sees befindlichen Messstellen geringe Konzentrationen auf. In den Messstellen auf der westlichen Seeseite zeigt sich zum Südwesten und Süden eine Erhöhung der mittleren Konzentration mit über 0,6 mg/l an der Messstelle "GWM 5/20". Ebenso ist die Lage der Regionen mit einer angenommenen Grundwasser-See-Interaktion dargestellt. Zusätzlich zu den abgebildeten Bereichen wurde im nördlichen Teilbecken des Sees (Krumme Lanke/KL) eine Anbindung in einem 10 m breiten Uferbereich angenommen, da in diesem Bereich der sandige Grundwasserleiter (GWL) 1.2 ansteht (FRAUENSTEIN, 2017). In der südwestlichen Bucht wurde anhand von Anomalien mit deutlich höheren Konzentrationen von Phosphor und organischem Kohlenstoff im sandigen Sediment eine Präzisierung des Austauschbereichs durchgeführt, da dieses Material vermutlich aus infiltrierendem Seewasser herausgefiltert wird.

Die unterstützend zur Identifizierung von Infiltrations- und Exfiltrationsbereichen durchgeführte Analyse der Wasserisotope zeigt (Abb. 2), dass sich die Wasserproben drei deutlich unterschiedlichen Gruppen zuordnen lassen. Die größte Gruppe weist eine leichte isotopische Zusammensetzung auf (stark negative Werte). Diese Wasserart befindet sich auf der globalen meteorischen Wasserlinie bzw. der lokalen meteorischen Wasserlinie von

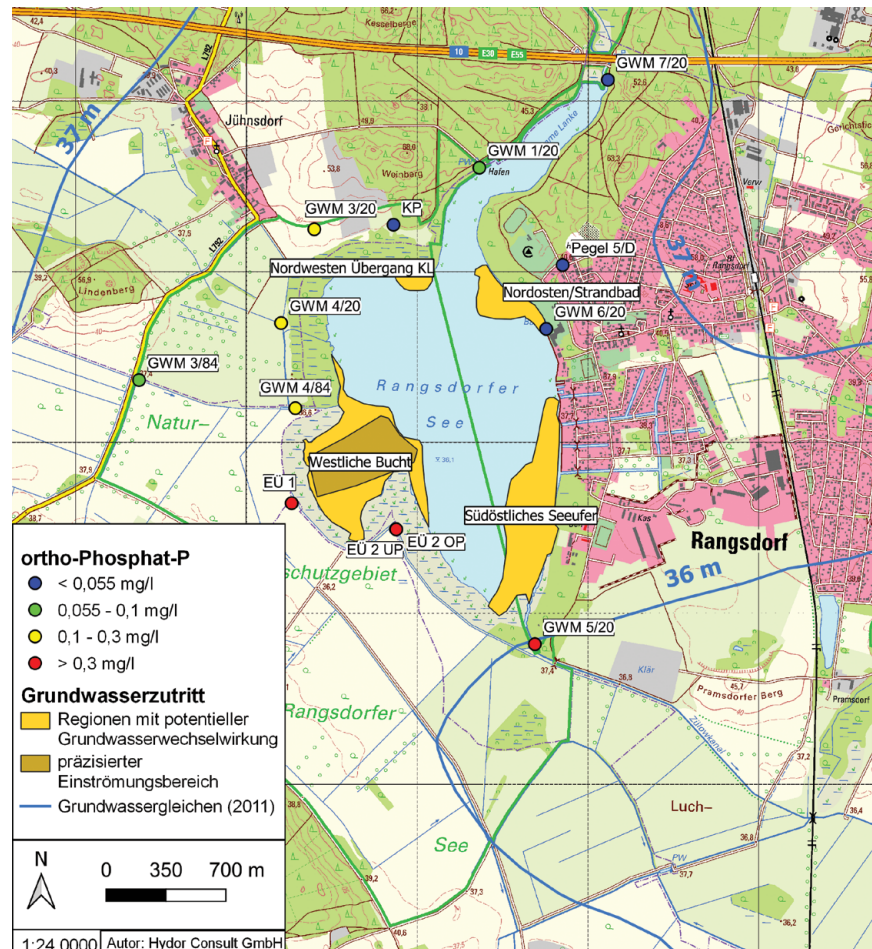


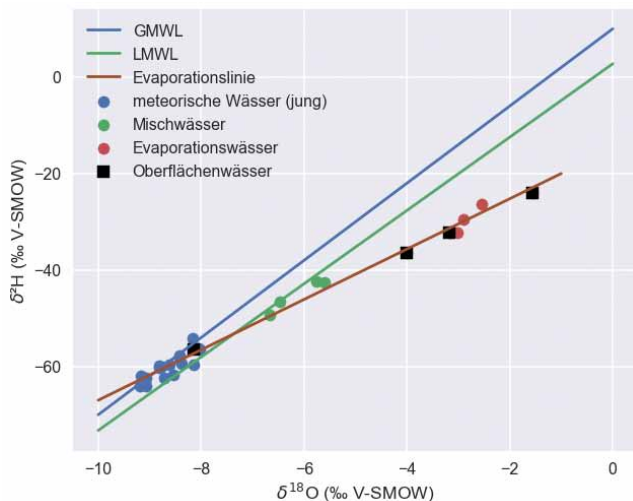
Abbildung 1

Lage der sandigen Bereiche, an denen bevorzugt Wechselwirkungen zwischen Grundwasserleiter und See zu erwarten sind, und die mittlere Konzentration von ortho-Phosphatphosphor (ortho-Phosphat-P) während der einjährigen Probenahmeekampagne. Nicht dargestellt ist die mittlere Konzentration der Messstelle EÜ-2 OP mit 0,18 mg/l. Kartengrundlage: DTK250.

Berlin¹. Es handelt sich um meteorisches Wasser, das keinem bzw. nur einem geringen evaporativen Einfluss unterlag. Weiterhin wurde ein saisonaler Effekt in diesen Wasserproben beobachtet, welcher auf Wasser jungen Alters hindeutet. Das gegenüberliegende Endglied besteht aus isotopisch schwerem Wasser. Dieses unterlag einer Isotopenfraktionierung durch Evaporation. Die Proben mit dieser Signatur stammen dabei aus den Grundwassermessstellen "EÜ-1" und "GWM 5/20" sowie aus dem Rangsdorfer See.

Die dritte Gruppe besteht ausschließlich aus Wasserproben, welche aus den Messstellen "EÜ-2 OP" und "EÜ-2 UP" entnommen wurden. Es handelt sich um Mischwasser, welches sich aus meteorischem und evaporativ beeinflusstem Wasser zusammensetzt. Da die betrachteten Proben jedoch nur geringfügig unterhalb der lokalen meteorischen Wasserlinie plotten, ist nicht vollständig auszuschließen, dass es sich um meteorisches Wasser handelt. Dieses wäre jedoch deutlich älter als das Wasser der ersten Gruppe, da nach dem Jahr 2012 keine Niederschläge mit einem vergleichbaren Isotopenverhältnis fielen. Insbesondere im Hin-

¹ http://www-naweb.iaea.org/napc/ih/IHS_resources_isohis.html

**Abbildung 2**

Darstellung des Verhältnisses von $\delta^2\text{H}$ und $\delta^{18}\text{O}$ (bezogen auf das Vienna Standard Mean Ocean Water – VSMOW) in den Proben der Grundwassermessstellen und des Oberflächenwassers, der globalen meteorischen Wasserlinie, der lokalen meteorischen Wasserlinie für Berlin und der anhand der Proben erzeugten Evaporationslinie.

blick auf eine beobachtbare leichte Saisonalität ist die Erklärung, dass es sich um Mischwasser handelt, plausibler.

Die Isotopensignatur der Oberflächenwasserproben folgt einem klaren Muster: Wasser mit der leichtesten Signatur stammt unmittelbar von der Glasowbachmündung. Das Glasowbachwasser ist somit meteorischen Ursprungs und unterlag keiner signifikanten Fraktionierung durch Evaporation. Anschließend findet über das nördliche Teilbecken hin zum Hauptbecken des Rangsdorfer Sees eine progressive Anreicherung des schwereren Sauerstoffisotops statt.

Abschließend lässt sich mit hoher Sicherheit sagen, dass das Wasser in den Grundwassermessstellen "EÜ-1", "EÜ-2 OP/UP" und "GWM 5/20" aus dem Rangsdorfer See stammt.

Im Verlauf der einjährigen Messungen zeigte sich, dass die Messstellen in Bezug zum Seewasserstand alternierende Gradienten aufweisen. Exemplarisch werden hierfür zwei Zustände in Abbil-

dung 3 dargestellt. Für Juli 2021 zeigt sich, dass in der Mehrzahl der Messstellen der Wasserstand unterhalb des Seeniveaus lag. Dies bedeutet, dass primär ein Einströmen von Seewasser in den Grundwasserleiter zu erwarten ist. Das Gegenteil ist für Januar 2021 zu beobachten. Fast alle Messstellen weisen einen umgekehrten Gradienten zum See auf und deuten auf ein Einströmen von Grundwasser in den See hin. In beiden Abbildungen ist die Grundwasserfließrichtung durch Pfeile gekennzeichnet. Mit Blick auf die beobachteten Isotopenverhältnisse in den Messstellen "EÜ-1", "EÜ-2 OP" und "EÜ-2 UP" ist somit davon auszugehen, dass zu bestimmten Zeiten stark mit Phosphor angereichertes ehemaliges Seewasser zurück in den Rangsdorfer See strömt und somit zu dessen hohen Nährstoffkonzentrationen beiträgt.

Die für den jeweiligen Messzeitraum und Einströmungsbereich repräsentativen Grundwasserflüsse sind in Tabelle 1 dargestellt. Daraus wurde für den gesamten Rangsdorfer See die Grundwasserbilanz für den jeweiligen Messzeitraum berechnet und anschließend zu einer Jahresbilanz aggregiert. Hierfür wurden die vier Messungen von September 2020 bis Juli 2021 verwendet und jeweils als repräsentativ für ein Quartal des Jahres angesehen. Die erste Messung vom 25. Juni 2020 wurde nicht für die Jahresberechnung hinzugezogen, da sonst der Sommer doppelt in die Berechnungen einfließen würde. Die Berechnungen zeigen, dass der See im betrachteten Jahr netto rund 300.000 m³ durch den Grundwasserpfad verliert.

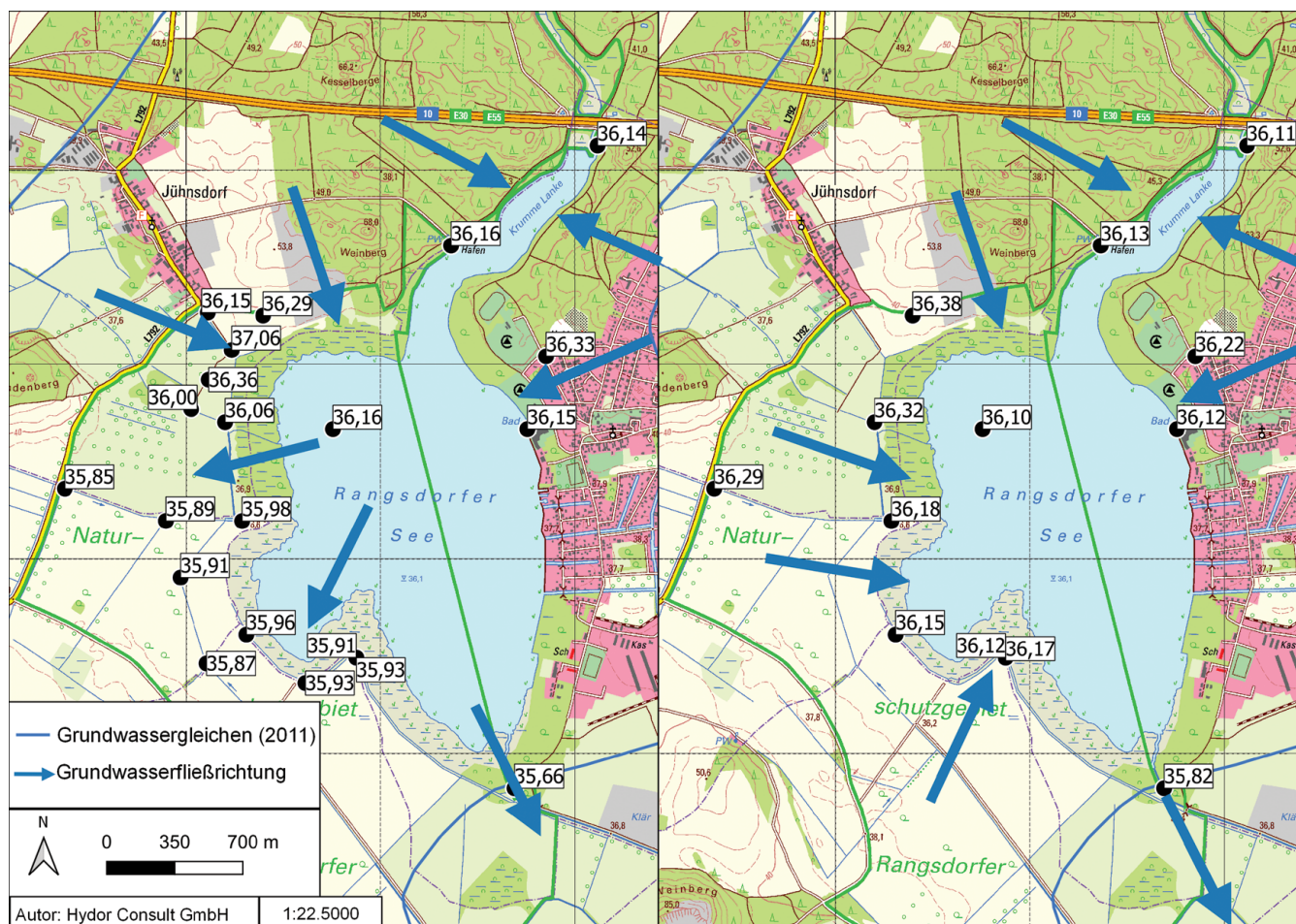
Die Verwendung der quartalsweise für die einzelnen Bereiche mit potenzieller Grundwasser-See-Interaktion vorliegenden Grundwasserflüsse erlaubt eine räumlich und zeitlich differenzierte Abbildung der grundwasserbürtigen Phosphorfracht. Die berechneten konservativen Phosphorfrachten des Sees sind in Tabelle 2 dargestellt. Als Jahresfracht für den Grundwasserpfad ergibt sich schließlich aus der Summe der letzten vier Quartale eine Phosphormenge von 32,22 kg. Es wurde dabei angenommen, dass ausschließlich ortho-Phosphat mobil im Grundwasser ist. Dabei handelt es sich um eine im Vergleich zu anderen Eintragsquellen, wie dem oberirdischen Zufluss mit 313 bis 351 kg P/a, sehr geringe Eintragsmenge.

Bei diesem auf der Darcy-Gleichung nach ROSENBERRY et al. (2008) basierenden Ansatz ist von Bedeutung, dass große Unsicherheiten hinsichtlich der räumlichen Verteilung des kf-Werts des Grundwasserleiters bestehen. Bereits geringe Schwankungen des kf-Werts können zu einer starken Über- bzw. Unterschät-

Tabelle 1

Quartalsweise berechnete Grundwasserbilanz, basierend auf dem hydraulischen Gradienten bzw. den Grundwasserflüssen an den Bereichen mit potenzieller Grundwasser-See-Interaktion. Die Jahresbilanz bezieht sich auf die vier aktuellsten Quartale.

Stichtag	25.06.2020	21.09.2020	12.01.2021	10.03.2021	05.07.2021
Südöstliches Seeufer [m³/s]	-0,0235	0,0258	0,0172	-0,0484	-0,0218
Nordosten/Strandbad [m³/s]	0,0049	0,0085	0,0030	0,0016	0,0042
Nordwesten Übergang Krumme Lanke [m³/s]	-0,0002	0,0076	0,0039	-0,0028	0,0010
Westliche Bucht [m³/s]	-0,0266	-0,0273	0,0042	-0,0043	-0,0174
Krumme Lanke [m³/s]	-0,0002	0,0078	0,0024	-0,0033	0,0004
Gesamtsee [m³/s]	-0,0456	0,0223	0,0308	-0,0572	-0,0336
Bilanz See [m³/Quartal]	-359.852,10	176.000,95	242.550,11	-451.008,31	-264.767,25
Bilanz Jahr [m³/a]					-297.224,50

**Abbildung 3**

Darstellung der Grundwasserstände (m NHN) in den verwendeten Grundwassermessstellen und den sieben Sondierungen der Grundwasseroberfläche am 5. Juli 2021 (links) und am 12. Januar 2021 (rechts). Ebenfalls dargestellt ist der Seewasserstand an den jeweiligen Stichtagen. Nicht dargestellt ist der Grundwasserstand in der Messstelle KP (Koppelpumpe), da aus baulichen Gründen keine Messung des Grundwasserstandes möglich war.

Tabelle 2

Basierend auf den Grundwasserflüssen quartalsweise berechnete ortho-Phosphatphosphor-Eintragsmengen an den Bereichen mit angenommenem Grundwasseraustausch. Die Jahressumme bezieht sich auf die vier aktuellsten Quartale.

Kilogramm ortho-Phosphatphosphor je Quartal						
Stichtagsmessung	25.06.2020	21.09.2020	12.01.2021	10.03.2021	05.07.2021	Jahressumme
Südöstliches Seeufer		5,65	2,95			32,22
Nordosten/Strandbad	1,87	1,86	0,51	0,18	0,46	
Nordwesten Übergang Krumme Lanke		5,50	3,29		0,84	
Westliche Bucht			7,41			
Krumme Lanke		2,44	0,98		0,15	
Summe	1,87	15,46	15,13	0,18	1,45	

zung des wechselwirkenden Wasservolumens und somit der eingetragenen Phosphormenge führen. Auch können zeitlich hochfrequente Schwankungen des hydraulischen Gradienten signifikante Austauschraten zur Folge haben, die jedoch in einer zeitlich gering aufgelösten Betrachtung nicht erfasst werden können (ROSENBERRY et al., 2015). Diese Aspekte könnten in der westlich gelegenen Bucht mit deutlich erhöhten Phosphorkon-

zentrationen und zeitlich differierenden Grundwassereinströmen zu einer höheren tatsächlichen Phosphorfracht führen. Dennoch lassen sich trotz potenzieller Einschränkungen der genutzten Methodik anhand der Erkenntnisse Empfehlungen zum Gewässermanagement geben, da letztlich eine Stabilisierung des Seewasserstands einen Zustrom des nährstoffreichen Grundwassers im Westen des Sees effektiv verhindern kann.

4 Schlussfolgerung

In der vorliegenden Studie wurde eine Untersuchung des Grundwassers im Nahbereich des hypertrophen Rangsdorfer Sees durchgeführt. Hierfür wurden im Verlauf eines Jahres 13 um den See verteilte Messstellen jeweils zu fünf verschiedenen Zeitpunkten beprobt und deren Grundwasserstände erfasst. Dabei ergaben sich grundsätzlich zwei verschiedene hydraulische Zustände. In einem Zustand wird der See lediglich von nährstoffarmem Grundwasser aus dem Norden angeströmt. Dies ist der Fall, wenn der Seewasserstand ausreichend hoch ist. Im anderen Fall liegt der Seewasserstand unterhalb des Grundwasserstands der südwestlich an den See angrenzenden Niederungen. Dabei erfolgt an dieser Stelle ein Rückstrom von nährstoffreichem Grundwasser in den See, welches teils aus ehemaligem Seewasser besteht. Durch Isotopenuntersuchungen konnte an den dort mithilfe von Sedimentuntersuchungen identifizierten sandigen Bereichen eine Interaktion von Grundwasser und See zweifelsfrei bestätigt werden. Die genutzten Methoden ermöglichen, gesicherte Empfehlungen hinsichtlich des Gewässermanagements auszusprechen, da durch Stabilisierung des Wasserstands der See in den zuerst genannten, günstigen hydraulischen Zustand versetzt werden kann und der Rückstrom von nährstoffreichem Grundwasser in den See unterbunden wird.

Anmerkung

Das Vorhaben wurde im Rahmen des Entwicklungsprogrammes für den ländlichen Raum in Brandenburg und Berlin für die Förderperiode 2014 bis 2020 – Maßnahme M07 (Investitionen in die naturnahe Gewässerentwicklung) finanziert. Die Zuwendung setzt sich aus EU-Mitteln des Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raumes (ELER) und Landesmitteln zusammen (www.eler.brandenburg.de).

Literaturverzeichnis

- DWA (2022 (unveröffentl.)): Merkblatt DWA-M 641. Methoden zur Charakterisierung von Grundwasser-See Interaktionen. Unter Mitarbeit von Ulrich Lang, Jörg Lewandowski, Michael Faißt, Stephan Hannappel, Antje Schwalb, Thomas Wolf und Kim Jasmin Krahn.
- FRAUENSTEIN, A. (2017): Erarbeitung einer P-Bilanz im Rahmen eines Konzeptes zur Sanierung und Restaurierung des Rangsdorfer Sees. Masterarbeit. Universität Potsdam, Potsdam. Institut für Erd- und Umweltwissenschaften.
- GUDER, S. (2003): Qualitative Analysen von Oberflächensedimenten des Rangsdorfer Sees, Brandenburg. Diplomarbeit. Freie Universität Berlin. Geographisches Institut der Freien Universität.
- HYDOR (2021): Sanierungsmaßnahmen zur Verbesserung des chemischen und ökologischen Zustandes des Rangsdorfer Sees einschließlich Kanalsystem Klein Venedig - Phase 2.- Gutachten der HYDOR Consult GmbH im Auftrag der Gemeinde Rangsdorf, Berlin, 1. Oktober 2021 (unveröff.).
- KONSORTIUM RANGSDORFER SEE (1992): Konzept zur Komplexsanierung Rangsdorfer See, im Auftrag der Gemeindeverwaltung Rangsdorf, von Konsortium Rangsdorfer See. Berlin.
- LEWANDOWSKI, J., MEINIKMANN, K., NÜTZMANN, G. & D.O. ROSENBERY (2015): Groundwater – the disregarded component in lake water and nutrient budgets. Part 2: effects of groundwater on nutrients. In: Hydrol. Process. 29 (13), S. 2922–2955. DOI: 10.1002/hyp.10384.
- MEINIKMANN, K., HUPFER, M. & J. LEWANDOWSKI (2015): Phosphorus in groundwater discharge – A potential source for lake eutrophication. In: Journal of Hydrology 524, S. 214–226. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2015.02.031.
- ROSENBERY, D., LABAUGH, J. & R. HUNT (2008): Use of monitoring wells, portable piezometers, and seepage meters to quantify flow between surface water and ground water. Chapter 2 of Field Techniques for Estimating Water Fluxes Between Surface Water and Ground Water.
- ROSENBERY, D.O., LEWANDOWSKI, J., MEINIKMANN, K. & G. NÜTZMANN (2015): Groundwater – the disregarded component in lake water and nutrient budgets. Part 1: effects of groundwater on hydrology. In: Hydrol. Process. 29 (13), S. 2895–2921. DOI: 10.1002/hyp.10403.
- TURNER, J.V. & L.R. TOWNLEY (2006): Determination of groundwater flow-through regimes of shallow lakes and wetlands from numerical analysis of stable isotope and chloride tracer distribution patterns. In: Journal of Hydrology 320 (3-4), S. 451–483. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2005.07.050.
- WETZEL, R.G. (2001): Limnology. Lake and river ecosystems. 3rd ed. San Diego: Academic Press.

Philipp Wolke,
Stephan Hannappel
HYDOR Consult GmbH
wolke@hydor.de
hannappel@hydor.de

Projektbericht

Verbesserung der Abschätzung von Gebietsniederschlägen mittels opportunistischer Niederschlagsmessungen am Beispiel des Ahr-Hochwassers im Juli 2021

Am 14. und 15. Juli 2021 haben sich infolge starker und langanhaltender Niederschläge in mehreren Flusseinzugsgebieten im Westen Deutschlands katastrophale Hochwasser ereignet. Besonders betroffen war das Ahrtal, wo zahlreiche Todesopfer zu beklagen waren und große Schäden entstanden (LfU, 2022). Am durch das Hochwasser zerstörten Ahr-Pegel Altenahr (Einzugsgebiet 746 km²) lag der anhand von Hochwassermarken rekonstruierte Höchststand am 15. Juli gegen 2:00 Uhr bei etwa 10 m. Der bis dahin höchste gemessene Wert im Messzeitraum von 1947 bis 2020 betrug 3,71 m. Auch an weiteren Pegeln an der Ahr kam es zu Ausfällen.

Die Ursachen für die Unsicherheiten in der Abschätzung der Maximalabflüsse an den ausgefallenen Pegeln sind vielfältig. Die Pegel Müsch/Ahr, Altenahr/Ahr und Kreuzberg/Sahrbach im Ahr-Einzugsgebiet (Abb. 4) wurden während des Hochwasserereignisses zerstört, Verklausungen an Brückendurchlässen sowie der Zusammenbruch von Brücken führten zum Rückstau der Wassermassen bzw. zu vermuteten Schwallwellen. Des Weiteren war der aus Stationsmessdaten abgeschätzte Gebietsniederschlag nach derzeitiger Einschätzung mindestens 15 % zu niedrig, jener aus den Radarprodukten sogar bis etwa 30 %. Zur Ermittlung der Maximalabflüsse an den Pegeln im Ahr-Einzugsgebiet wurden im Landesamt für Umwelt in Rheinland-Pfalz (LfU RLP) verschiedene Ansätze verfolgt, u. a. wurde das Hochwasser mit dem Wasserhaushaltsmodell LARSIM (LEG, 2021) mit unterschiedlichen, nachträglich erstellten Niederschlagsprodukten (u. a. unter Verwendung von privaten Wetterstationen) und mit unterschiedlichen Modelleinstellungen nachgerechnet. Die Herleitung der Scheitelabflüsse ist derzeit noch Gegenstand von Untersuchungen, nach vorläufigen Berechnungen wird der Maximalabfluss am Pegel Altenahr auf 750 bis 1.000 m³/s geschätzt (LfU, 2022).

1 Einleitung

Die korrekte Bestimmung von Gebietsniederschlägen ist nach wie vor eine der großen Herausforderungen in der Hydrologie. Herkömmliche Interpolationsverfahren, die auf Bodenbeobachtungen basieren, können aufgrund der meist geringen Messstationsdichte oftmals die Variabilität des Niederschlagsgeschehens nicht erfassen (LENGFELD et al., 2020). Wetterradare können diese zeitlich-räumliche Variabilität zwar erfassen, sind jedoch oft mit Fehlern und Unsicherheiten behaftet, da sie den Niederschlag nur indirekt messen (VILLARINI & KRAJEWSKI, 2010), was ihre Verwendung in der Praxis oft einschränkt. Vor allem bei extremen Niederschlägen ist die Dämpfung des Radarsignals problematisch, da sie zu einer Unterschätzung der Niederschläge führen kann.

Das Problem der korrekten Abschätzung von Gebietsniederschlägen hat sich auch beim Hochwasser am 14. und 15. Juli im Ahrtal gezeigt, wo die Niederschlagsmengen aus den auf Basis der

InterMet-Software des LfU Rheinland-Pfalz (DOBLER et al., 2004) interpolierten Daten der Bodenniederschlagsstationen und der an Stationsdaten angeeichten Radarprodukte RADOLAN-RW und RADOLAN-RL des DWD (DWD, 2020) nicht mit den beobachteten Abflüssen bzw. simulierten Abflüssen übereinstimmten, was auf eine Unterschätzung der Gebietsniederschläge hindeutet. Die auf einem Kriging-Ansatz basierten InterMet-Daten berücksichtigen neben den DWD-Stationsdaten auch landesspezifische Niederschlagsmessdaten der Wasserwirtschafts- und Forstverwaltung sowie der Agrarmeteorologie in Rheinland-Pfalz, darüber hinaus werden u. a. auch Stationsdaten aus Nordrhein-Westfalen berücksichtigt. Auf Basis der zum Ereignis online verfügbaren InterMet-Daten fiel im Ahr-Einzugsgebiet am 14. Juli von 5:00 bis 22:00 Uhr (MEZ) eine Gebietsniederschlagssumme von 103 mm, die am Ereignistag operationell verfügbaren RADOLAN-Produkte RW und RL lieferten mit etwa 85 mm und 93 mm noch einmal deutlich niedrigere Werte.

Ein relativ neuer Ansatz zur Verbesserung der Abschätzung von Gebietsniederschlägen ist die zusätzliche Verwendung von sogenannten opportunistischen Sensoren (OS-Sensoren). Dabei handelt es sich um Sensoren, die nicht dafür ausgelegt sind, hochwertige Niederschlagsdaten oder überhaupt Niederschläge zu messen. Dazu zählen beispielsweise private Wetterstationen (PWS) oder Richtfunkstrecken des Mobilfunknetzes (engl. commercial microwave links – CML). Solche Daten wurden bereits in mehreren Studien verwendet (DE VOS et al., 2020; CHEN et al., 2018; OVEREEM et al., 2013). Auch in Deutschland wurden erste Studien zur Verbesserung der Niederschlagsabschätzung unter Zuhilfenahme von opportunistischen Sensoren publiziert (BÁRDOSSY et al., 2021; GRAF et al., 2021; GRAF et al., 2020). Auf europäischer Ebene startete im Oktober 2021 die COST-Action 20136 "Opportunistic precipitation sensing network" (<https://opensenseaction.eu>), die das Ziel hat, Anwender von opportunistischen Sensoren zu vernetzen und gemeinsame Richtlinien und Standards für die Verwendung solcher Daten zu erarbeiten. Darüber hinaus wurde vom europäischen meteorologischen Netzwerk EUMETNET ein sogenannter "Sandbox Datensatz" erstellt, der die europaweiten PWS-Daten einer französischen Firma und des britischen Wetterdienstes Met Office für das Jahr 2020 enthält und die Entwicklung von Qualitätskontrollen fördern soll (METOFFICE & NETATMO, 2021). Da sowohl PWS als auch CML-Daten nicht für die Erfassung wissenschaftlich verwendbarer Niederschlagsinformation entwickelt wurden, bedarf es einer robusten Qualitätssicherung.

Das Hauptproblem bei der Verwendung von PWS ist, dass diese oft nicht fachgerecht aufgestellt bzw. gewartet sind und die Daten daher systematische Fehler aufweisen können. Des Weiteren können Übertragungsfehler dazu führen, dass falsche Niederschlagsinformationen an den PWS aufgezeichnet werden. Daher ist es notwendig, Daten von PWS zu filtern und zu korrigieren.

ren, bevor diese für die Niederschlagsinterpolation verwendet werden.

Für die Ermittlung einer pfadintegrierten Regenrate entlang eines CMLs wird der Zusammenhang zwischen der spezifischen Dämpfung entlang des CML-Pfads (k) und Regenrate (R) verwendet. Im Gegensatz zur bei Wetterradaren verwendeten Z-R-Beziehung ist diese k -R-Beziehung für den Frequenzbereich zwischen 10 und 40 GHz nahezu linear und unabhängig von der Tropfengrößenverteilung. Unsicherheiten bei der Niederschlagsabschätzung resultieren unter anderem aus der Quantisierung des CML-Signals oder dem überproportional großen Einfluss von Wassertropfen auf den Radomen der Antennen. Ein weiteres Problem sind Fluktuationen der gemessenen Signalstärke durch andere Faktoren als Regen. Sonneneinstrahlung, Temperatur, Wind oder auch der Mehrwegeempfang des Signals durch Reflexion im Gelände können zu dieser Fluktuation beitragen. Aufgrund dieser Faktoren ist trotz des linearen Zusammenhangs eine aufwendige Prozessierung nötig.

Im Folgenden werden erste Ergebnisse einer Studie präsentiert, in der die Daten von opportunistischen Sensoren zur Niederschlagsinterpolation der hochwasserauslösenden Gebietsniederschläge im Juli 2021 im Einzugsgebiet der Ahr verwendet wurden.

2 OS-Daten und Korrektur

Die Daten von opportunistischen Sensoren (OS) sind aufgrund der oben geschilderten Problematik nicht direkt für quantitative Niederschlagsbestimmungen verwendbar. Sowohl für private Wetterstationen (PWS) als auch für Richtfunkstrecken des Mobilfunknetzes (CLM, Kap. 1) sind deswegen verschiedene Präprozessierungen notwendig, um verlässliche Niederschlagsdaten zu erhalten, die im Folgenden vorgestellt werden.

2.1 Korrektur von PWS-Daten

Die Anzahl von PWS hat in Europa in den letzten Jahren stark zugenommen. Eine französische Firma betreibt weltweit eines der größten Netzwerke an PWS. Im Februar 2022 gab es deutsch-

landweit ca. 31.000 Stationen, die Niederschlagsdaten mit einer zeitlichen Auflösung von 5 Minuten aufzeichneten. Die Niederschlagsmessgeräte der französischen Firma sind Kippwaagen mit einer Auffangöffnung von 125 cm² und sind nicht beheizt, was die Nutzung ihrer Daten in den Wintermonaten einschränkt. Eine detaillierte Beschreibung der PWS sowie der typischen Unsicherheiten dieser Sensoren findet sich in DE VOS et al. (2019) wieder.

Aufgrund der oftmals nicht fachgerechten Aufstellung der PWS sowie der potenziellen Fehler, die auftreten können, ist es unbedingt erforderlich, die Daten von PWS zu filtern und zu korrigieren, bevor diese für Niederschlagsinterpolationen verwendet werden. Hierfür wurde von BÁRDOSSY et al. (2021) ein zweistufiges Verfahren entwickelt, welches PWS-Stationen, die auffällig oft nicht in ein räumliches Muster passen bzw. unplausible Werte liefern, filtert und systematische Fehler korrigiert.

Grundlage des Korrekturverfahrens ist ein Netzwerk aus vertrauenswürdigen Messdaten (sog. Primärmessnetz). In der vorliegenden Studie wurde hierfür das Niederschlagsmessnetz des Deutschen Wetterdienstes (DWD) verwendet, welches eine deutlich geringere Stationsdichte als das Netzwerk des privaten, französischen Unternehmens (im Folgenden als Sekundärmessnetz bezeichnet) aufweist.

Die Grundannahme ist, dass die PWS-Daten zwar systematisch Fehler aufweisen können, aber die Reihenfolge (Rangordnung) der Niederschlagswerte mit Stationen des Primärmessnetzes übereinstimmt. Das heißt, wenn der Niederschlag an einer PWS-Station zum Zeitpunkt t_1 geringer war als zum Zeitpunkt t_2 , dann würde das auch für eine DWD-Station am selben Ort gelten, obwohl der tatsächliche Messwert der PWS im Vergleich zur DWD-Station abweichen kann. Basierend auf dieser Annahme wird dann die räumliche Variabilität der DWD- und PWS-Stationen verglichen. Dazu wird für die Stundenwerte von beiden Messnetzen die Indikator-Korrelation für das 99%-Perzentil berechnet, d. h. Werte größer als das 99%-Perzentil werden auf 1 und alle anderen auf 0 gesetzt. Diese Indikator-Korrelationen sind an direkt benachbarten Stationen nahezu 1 und nehmen mit zunehmender

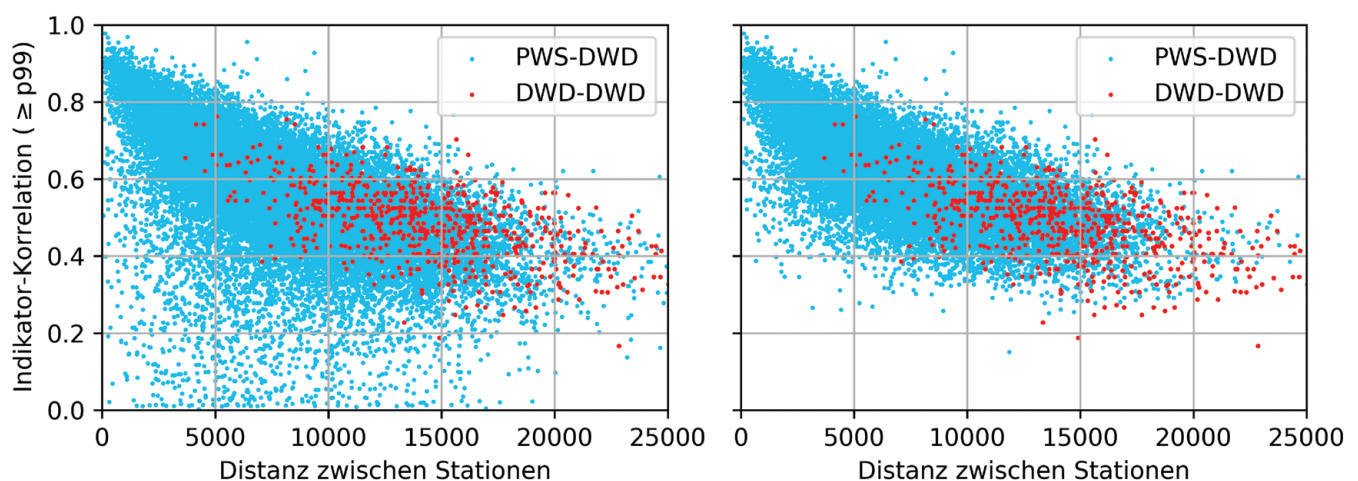


Abbildung 1
Indikator-Korrelation für PWS-DWD (blau) und DWD-DWD (rot) vor (links) und nach (rechts) Anwendung des Indikator-Korrelationsfilters.

der Distanz zwischen den Messstationen ab. Mit dem ersten Filter werden nun alle PWS-Stationen verworfen, deren Indikatorkorrelationen nicht mit denen des Primärmessnetzes übereinstimmen.

Im nächsten Schritt erfolgt eine Korrektur des systematischen Fehlers der PWS-Daten basierend auf den Beobachtungen der umliegenden Stationen aus dem Primärmessnetz. Diese Korrektur basiert auf einer Quantil-Quantil-Transformation und erfolgt individuell für jede PWS, da die systematischen Fehler sowohl zu Unter- als auch Überschätzung führen können.

Im letzten Schritt werden einzelne Zeitschritte für jeden PWS-Standort auf ungewöhnlich starke Abweichungen zu den umliegenden Stationen untersucht und bei Überschreitung eines gewissen Schwellenwerts als Fehlwert markiert. Dieser Filter dient überwiegend dazu, falsche Nullen, die beispielsweise durch eine vorübergehende Verbindungsunterbrechung zwischen dem Regenmesser und der Basisstation entstehen können, zu entfernen.

2.2 CML-Daten – Korrektur und Niederschlagsbestimmung

Die nahezu lineare Beziehung zwischen Niederschlag und der Dämpfung von Mikrowellenverbindungssignalen, die mit Frequenzen zwischen 10 und 40 GHz arbeiten, ist seit mehreren Jahrzehnten bekannt. Mit dem Ausbau der modernen Telekommunikationsinfrastruktur, für die CMLs einen großen Teil des Backhaul-Netzes bereitstellen, wurde eine zunehmende Anzahl von Mikrowellenverbindungen verfügbar. Die Nutzung dieser CMLs als opportunistische Niederschlagsmessungen wurde bereits vor über 15 Jahren vorgestellt (MESSER et al., 2006). CML-Daten sind in der Regel nicht öffentlich zugänglich, sondern müssen von Telekommunikationsanbietern bereitgestellt werden. Das KIT-Campus Alpin in Garmisch-Partenkirchen erfasst derzeit deutschlandweit Daten von mehr als 4.000 CMLs der Firma Ericsson über ein echtzeitnahes Datenerfassungssystem (CHWALA et al., 2016) mit einer zeitlichen Auflösung von einer Minute.

Die Prozessierung von CML-Dämpfungsdaten in eine pfadintegrierte Regenrate erfolgt in mehreren Schritten. CMLs die ein starkes Rauschen aufweisen, werden mithilfe von statistischen Filtern von der Regenabschätzung ausgenommen. Anschließend werden im Dämpfungssignal Zeiträume detektiert, deren Fluktuationsmuster auf Niederschlag zurückzuführen sind. Dies schließt viele Fluktuationen, die durch andere meteorologische Parameter wie Wind oder Strahlung verursacht sein können, aus. Hierzu wurde ein datengetriebener Ansatz gewählt, der die Fluktuationsmuster mit einem Convolutional Neural Network (CNN) klassifiziert (POLZ et al., 2020).

Um die durch Regen erzeugte Dämpfung quantifizieren zu können, muss ein Referenzniveau der Signalstärke ohne Regen abgeschätzt werden. Dieses ergibt sich aus dem Mittel der trockenen Zeitschritte vor dem jeweiligen Ereignis. Die so erhaltene Dämpfung muss noch von dem überproportional stark dämpfenden Einfluss von Wassertropfen auf den Radomen der CML-Antennen bereinigt werden. Hierzu wurde ein regenratenabhängiges Verfahren verwendet. Je höher die Regenrate, desto stärker wird das Signal korrigiert. Die Zunahme der Korrektur flacht mit Zunah-

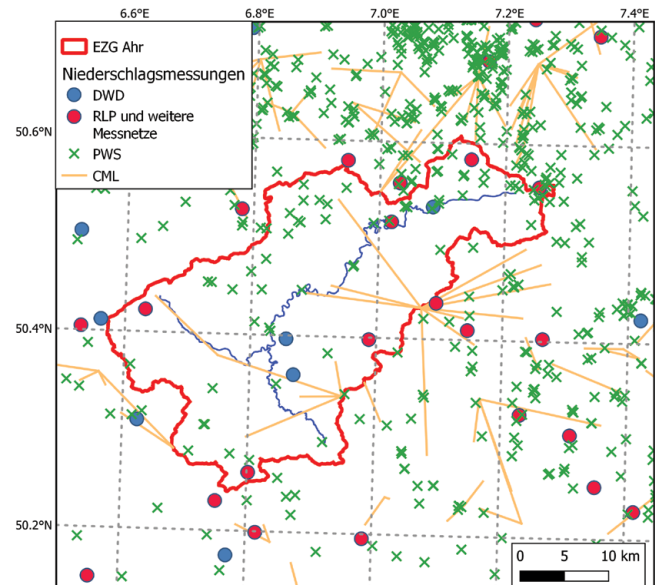


Abbildung 2

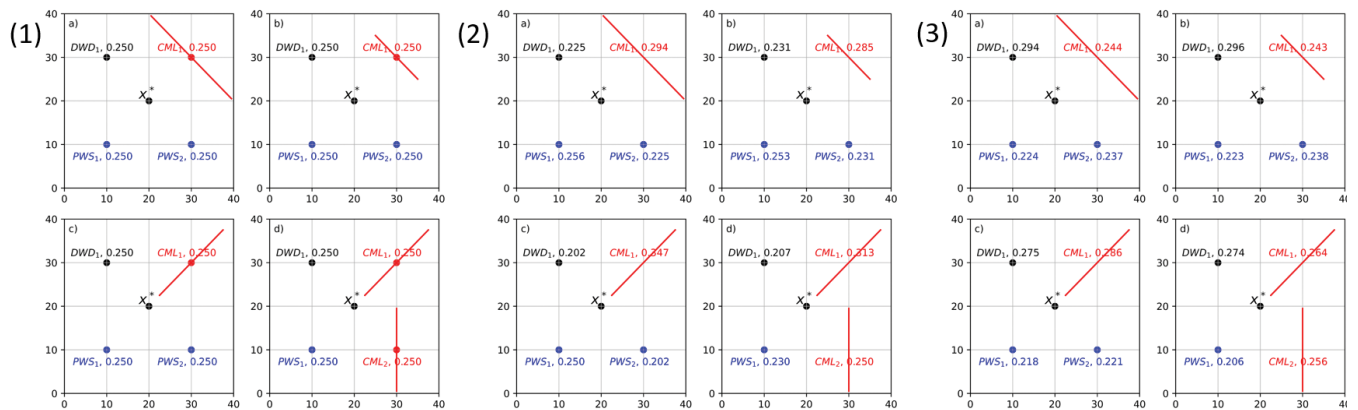
Lage der verwendeten privaten Wetterstationen (PWS) und Richtfunkstrecken des Mobilfunknetzes (CML) sowie der Stationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) im Raum des Ahr-Einzugsgebiets.

men der Regenraten jedoch ab und hat somit eine Obergrenze (LEIJNSE et al., 2008). Die bereinigte Dämpfung wird mittels der k-R-Beziehung in eine pfadgemittelte Regenrate umgerechnet.

Die prozessierten Niederschlagsdaten der CMLs wurden dann ebenfalls mit dem im Kapitel 2.1 beschriebenen Verfahren gefiltert und der systematische Fehler korrigiert. Zusätzlich wird bei der Interpolation mittels Kriging die Länge und Orientierung der Richtfunkstrecken mit berücksichtigt. Die für diese Untersuchung verfügbaren PWS- und CML-Daten im Bereich des Ahr-Einzugsgebiets sind in Abbildung 2 dargestellt.

3 Kombination von verschiedenen OS-Sensoren

Um den verschiedenen geometrischen Eigenschaften (Punkt- und Linieninformationen) sowie den höheren Unsicherheiten der OS-Daten gerecht zu werden, wurde ein Framework aus Ordinary Kriging und Block Kriging entwickelt. Abbildung 3.1 zeigt die Gewichte der verschiedenen Eingangsdaten (DWD, PWS, CML) für den Fall, dass die Liniensegmente jeweils durch deren Mittelpunkt ersetzt werden und somit mittels Ordinary Kriging berechnet werden können. In den angegebenen Beispielen a) bis d) in Abbildung 3.1 werden dadurch alle Eingangsdaten gleich gewichtet. Erweitert man das Interpolationsframework durch einen Block-Kriging-Ansatz, so kann auch die Linienstruktur der CMLs berücksichtigt werden. In Abbildung 3.2 a) bis d) sieht man, dass sich die Gewichte nun in Abhängigkeit der Länge und Ausrichtung der CMLs verändern. Im letzten Schritt wird zusätzlich noch die verschiedene Datenunsicherheit berücksichtigt. Diese lässt sich über das Verhältnis von Nugget zu Sill aus dem Variogramm ableiten. Abbildung 3.3 a) bis d) zeigt, dass sich die Gewichte hin zu den DWD-Daten verschieben, da diese die geringste Datenunsicherheit besitzen.

**Abbildung 3**

Veränderung der Kriging-Gewichte je nach Berücksichtigung der Geometrien und Unsicherheiten von opportunistischen Sensoren.

4 Erste Ergebnisse am Fallbeispiel Ahr-Hochwasser Juli 2021

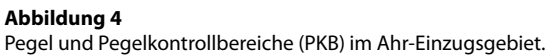
Die Abschätzung der Abflussspitzen des Ahr-Hochwassers im Juli 2021 ist u. a. durch den Ausfall von Pegeln sowie durch Verklausungen und Rückstaueffekte mit größeren Unsicherheiten verbunden. Auch die Frage nach den tatsächlich gefallenen Niederschlagssummen stellte sich in der Auf- und Nachbereitung des Hochwasserereignisses im LFU RLP, weshalb weitere Niederschlagsprodukte generiert wurden. Eine Auswahl dieser Produkte wurde für Nachberechnungen mit dem Wasserhaushaltsmodell LARSIM zur Ermittlung der Scheitelabflüsse ausgewählter Pegel an der Ahr eingesetzt (LfU, 2022). In Abbildung 4 ist das Einzugsgebiet der Ahr mit den Pegelkontrollbereichen (PKB) des LARSIM-Modells dargestellt. In Tabelle 1 sind die in dieser Studie verwendeten Niederschlagsprodukte aufgeführt.

Aufgrund erster Auswertungen ist zu vermuten, dass sowohl die online verfügbaren InterMet-Daten als auch die vom DWD nachberechneten RADOLAN-RL-Daten die tatsächlich gefallenen Gebietsniederschläge unterschätzen. Dies zeigt sich beim Vergleich der Gebietsniederschläge für ausgewählte PKB, die in Tabelle 2 dargestellt sind. Neben dem InterMet- und dem RADOLAN-RL-Produkt wurden die Gebietsniederschläge zusätzlich auf Basis

der interpolierten DWD-Stationen (DWD) sowie zwei weiterer Kombinationen von DWD-Stationen, Niederschlagsstationen der Landesmessnetze Rheinland-Pfalz und weiterer Messnetze (RLP) mit OS-Sensoren ausgewertet (Tab. 1 und Abb. 5).

Hierbei zeigt sich, dass die Gebietsniederschläge der drei auf konventionellen Niederschlagsmessnetzen basierenden Niederschlagsprodukte (InterMet, RADOLAN-RL, DWD) von den beiden Kombinationen von DWD und RLP mit PWS bzw. PWS und CML zum Teil deutlich übertroffen werden. Die Kombination mit PWS liefert dabei für die meisten PKB die höchsten Gebietsniederschläge, nur im PKB Bad Bodendorf und im Bereich unterhalb von Bad Bodendorf liegen die Werte leicht unter denen der Kombination mit PWS und CML. Die CMLs reduzieren die Gebietsniederschläge in den anderen PKB, eine abschließende CML-Prozessierung, welche die durch eine komplette Signaldämpfung während Niederschlagsspitzen auftretende Lücken füllt, steht allerdings noch aus. In den PKB Müsch und Kirmutscheid liefert diese Kombination mit PWS und CML die niedrigsten Gebietsniederschläge. Die Produkte InterMet, RADOLAN-RL und DWD zeigen in einigen PKB recht ähnliche Werte, in anderen unterscheiden sie sich etwas deutlicher. In den PKB Kreuzberg und Altenahr mit den höchsten Gebietsniederschlägen führt insbesondere die Interpolation mit den DWD-Stationen (DWD) zu

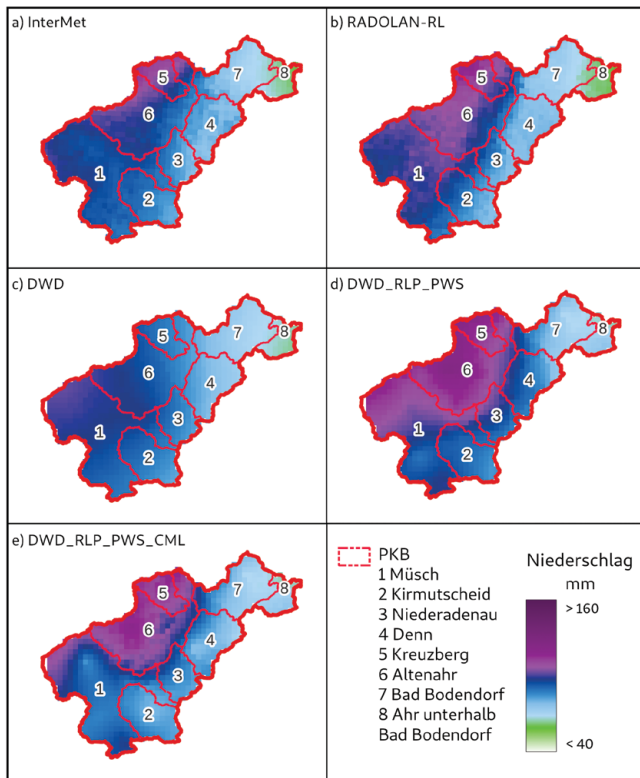
Tabelle 1 Übersicht über die verwendeten Niederschlagsprodukte und deren Datengrundlage.	
Niederschlagsprodukt	Datengrundlage
InterMet	Interpolation basierend auf Stationsdaten des Niederschlagsmessnetzes des Deutschen Wetterdienstes, der Landesmessnetze Rheinland-Pfalz und weiterer Messnetze (Datenbasis LfU).
RADOLAN-RL	An Stationsdaten angeeichtes Radarprodukt des Deutschen Wetterdienstes (Datenbasis DWD, nach dem Ereignis erstellter Datensatz).
DWD	Interpolation aus dem Niederschlagsmessnetz des Deutschen Wetterdienstes (Modell Universität Stuttgart).
DWD_RLP_NET	Kombinierte Interpolation aus dem Niederschlagsmessnetz des Deutschen Wetterdienstes, den Landesmessnetzen Rheinland-Pfalz und weiteren Messnetzen (Primärstationen) sowie privaten Wetterstationen (PWS) als zusätzliche opportunistische Sensoren (Sekundärstationen) (Modell Universität Stuttgart/KIT).
DWD_RLP_NET_CML	Kombinierte Interpolation aus dem Niederschlagsmessnetz des Deutschen Wetterdienstes, den Landesmessnetzen Rheinland-Pfalz und weiteren Messnetzen (Primärstationen) sowie privaten Wetterstationen (PWS) und Richtfunkstrecken des Mobilfunknetzes (CML) als zusätzliche opportunistische Sensoren (Sekundärstationen) (Modell Universität Stuttgart/KIT).



Zusätzlich zu den Gebietsniederschlägen sind in Tabelle 2 beispielhaft die mit dem LARSIM-Modell simulierten Scheitelwerte am Pegel Altenahr unter Verwendung des vom DWD nach-

prozessierten Produkts RADOLAN-RL sowie des Produkts DWD_RLP_NET dargestellt. Hierbei zeigt sich, dass sich die Ergebnisse der Gebietsniederschläge auch in den Abflusswerten widerspiegeln. Der mit RADOLAN-RL angetriebene Modelllauf weist einen deutlich geringeren Abfluss auf als der mit DWD_RLP_NET angetriebene Modelllauf.

Pegelkontrollbereich	InterMet [mm]	RADOLAN-RL [mm]	DWD [mm]	DWD_RLP_NET [mm]	DWD_RLP_NET_CML [mm]
Müsch	114,2	120,9	117,7	126,6	112,0
Kirmutscheid	100,5	99,9	103,0	105,1	92,3
Niederadenau	91,8	93,8	98,8	114,5	99,6
Denn	84,2	81,8	81,8	104,1	87,1
Kreuzberg	136,9	143,9	102,4	158,9	149,7
Altenahr	121,4	130,9	110,2	152,6	141,3
Bad Bodendorf	71,6	70,0	69,4	77,4	78,4
Bereich Ahr unterhalb Bad Bodendorf	51,1	47,8	55,7	66,4	67,0
Simulierter Scheitelwert am Pegel Altenahr		563 m³/s		801 m³/s	

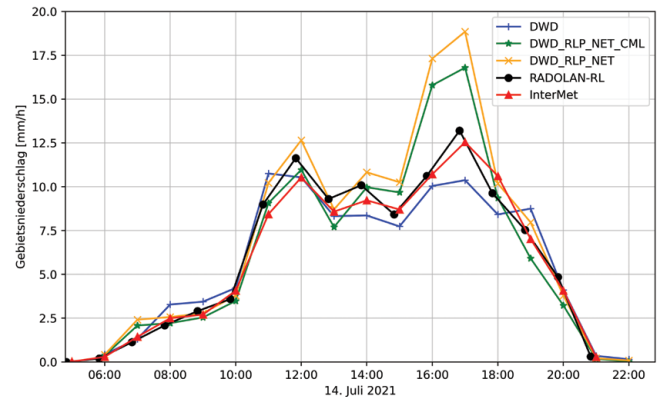
**Abbildung 5**

Gebietsniederschläge in den Pegelkontrollbereichen (PKB) im Einzugsgebiet der Ahr für a) InterMet, b) RADOLAN-RL, c) Interpolationen basierend auf DWD-Stationen, d) Kombination DWD und RLP mit PWS und e) Kombination DWD und RLP mit PWS und CML.

In Abbildung 6 ist der zeitliche Verlauf der stündlichen Gebietsniederschlagssummen im Ahr-Einzugsgebiet dargestellt. Der Verlauf ist für alle Niederschlagsprodukte weitgehend sehr ähnlich. Im Zeitraum zwischen 15:00 und 17:00 Uhr jedoch liegen die Gebietsniederschläge mit zusätzlichen OS-Sensoren deutlich über denen der anderen Niederschlagsprodukte, das DWD-Messnetz zeigt hier die niedrigsten Werte.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Studie am Beispiel des Ahr-Hochwassers im Juli 2021 zeigt, dass die Abschätzung von Gebietsniederschlägen unter Verwendung von opportunistischen Sensoren verbessert werden kann. Die Stationsdichte des DWD-Messnetzes war in diesem Fall nicht ausreichend, um die Niederschläge und deren räumliche Verteilung im Einzugsgebiet der Ahr zu erfassen. Vor allem im Bereich des PKB Kreuzberg im nördlichen Einzugsgebiet und im PKB Altenahr waren offensichtlich hohe Niederschläge zu verzeichnen, die nicht vom herkömmlichen Bodenmessnetz erfasst wurden. Dies wird auch durch Untersuchungen von ROGGENKAMP & HERGET (2022) bestätigt, die mittels Abflussabschätzungen anhand von Wasserständen und Querprofilen feststellten, dass die nördlichen Einzugsgebiete der Ahr einen erheblichen Anteil am Abflussgeschehen während des Hochwassers im Juli 2021 hatten. Diese räumliche Niederschlagsverteilung wurde von RADOLAN-RL zwar erfasst, jedoch vermutlich auf Grund von Dämpfung unterschätzt. Auch in den anderen PKB sind zum Teil deutliche Unterschiede in den

**Abbildung 6**

Zeitlicher Verlauf der Niederschlagssummen im Ahr-Einzugsgebiet für die verschiedenen Niederschlagsprodukte.

verschiedenen Niederschlagsprodukten zu erkennen, wobei die OS-basierten Produkte mit die höchsten Gebietsniederschläge lieferten.

Die Gebietsniederschläge mit den Daten der OS ergaben auch deutlich höhere und plausible Abflussspitzen bei den LARSIM-Simulationen. Diese deutliche Differenz in den Spitzenabflüssen lässt vermuten, dass im Falle des Ahr-Hochwassers im Juli 2021 aufgrund der gesättigten Böden jeder zusätzliche Niederschlagsinput direkt abflusswirksam wurde.

Das Heranziehen von zusätzlichen Informationen aus OS-Sensoren bietet großes Potenzial, um Abschätzungen von Gebietsniederschlägen zu verbessern. Eine sorgfältige Kontrolle und Korrektur dieser Daten ist jedoch zwingend notwendig. Weitere Untersuchungen und Forschungsarbeiten zu diesem Thema sind geplant. Unter anderem soll die hohe zeitliche Auflösung der Daten aus PWS (5 Minuten) und CML (1 Minute) ausgenutzt werden, was eine Erweiterung der Filter zur Qualitätskontrolle nötig macht. Auch muss das Interpolationsframework auf solche hohen zeitlichen Auflösungen angepasst werden. Zur Validierung sollen weitere Hochwasserereignisse der letzten Jahre untersucht werden, um den Nutzen der OS-Daten zu verifizieren.

Anschriften der Verfasser:

Prof. Dr. András Bárdossy
Dr. Jochen Seidel
Micha Eisele
Abbas El Hachem
Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung,
Universität Stuttgart
jochen.seidel@iws.uni-stuttgart.de

Prof. Dr. Harald Kunstmann
Dr. Christian Chwala
Maximilian Graf
Institut für Meteorologie und Klimaforschung
Atmosphärische Umweltforschung (IMK-IFU)
KIT-Campus Alpin, Garmisch-Partenkirchen
Lehrstuhl für Regionales Klima und Hydrologie,
Institut für Geographie, Universität Augsburg

Norbert Demuth
Nicole Gerlach
Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz

Literaturverzeichnis

- BÁRDOSSY, A., SEIDEL, J. & A. EL HACHEM (2021): The use of personal weather station observations to improve precipitation estimation and interpolation. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25(2), 583–601. DOI: 10.5194/hess-25-583-2021.
- CHEN, A.B., BEHL, M. & J.L. GOODALL (2018): Trust me, my neighbors say it's raining outside: Ensuring data trustworthiness for crowdsourced weather stations. *Proceedings of the 5th Conference on Systems for Built Environments*, 25–28. DOI: 10.1145/3276774.3276792.
- CHWALA, C., KEIS, F. & H. KUNSTMANN (2016): Real-time data acquisition of commercial microwave link networks for hydrometeorological applications. *Atmospheric Measurement Techniques*, 9(3), 991–999. DOI: 10.5194/amt-9-991-2016.
- DE VOS, L.W., LEIJNSE, H., OVEREEM, A. & R. UIJLENHOET (2019): Quality Control for Crowdsourced Personal Weather Stations to Enable Operational Rainfall Monitoring. *Geophysical Research Letters*, 46(15), 8820–8829. DOI: 10.1029/2019GL083731.
- DE VOS, L.W., DROSTE, A.M., ZANDER, M.J., OVEREEM, A., LEIJNSE, H., HEUSINKVELD, B.G., STEENEVELD, G.J. & R. UIJLENHOET (2020): Hydrometeorological Monitoring Using Opportunistic Sensing Networks in the Amsterdam Metropolitan Area. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 101(2), E167–E185. DOI: 10.1175/BAMS-D-19-0091.1.
- DOBLER, L., GERLACH, N. & A. HINTERDING (2004): Interpolation stündlicher und tagesbasierter meteorologischer Parameter – Gesamtdokumentation, Unveröffentlichter Projektbericht, Institut für Geoinformatik der Westfälischen Wilhelms-Universität, Münster.
- DWD (2020): RADOLAN Kurzbeschreibung – Radargestützte Analysen stündlicher Niederschlagshöhen im Echtzeitbetrieb für Deutschland (RADOLAN) und Mitteleuropa (RADOLAN-ME), Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main.
- GRAF, M., EL HACHEM, A., EISELE, M., SEIDEL, J., CHWALA, C., KUNSTMANN, H. & A. BÁRDOSSY (2021): Rainfall estimates from opportunistic sensors in Germany across spatio-temporal scales. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 37, 100883. DOI: 10.1016/j.ejrh.2021.100883.
- GRAF, M., CHWALA, C., POLZ, J. & H. KUNSTMANN (2020): Rainfall estimation from a German-wide commercial microwave link network: Optimized processing and validation for 1 year of data. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(6), 2931–2950. DOI: 10.5194/hess-24-2931-2020.
- LEG (Hrsg.) (2021): Das Wasserhaushaltsmodell LARSIM – Modellgrundlagen und Anwendungsbeispiele, LARSIM-Entwicklergemeinschaft – Hochwasserzentralen LUBW, BLFU, LfU RP, HLNUG, BAFU, unter: <https://www.larsim.info/das-modell/dokumentation/>.
- LEIJNSE, H., UIJLENHOET, R. & J.N.M. STRICKER (2008): Microwave link rainfall estimation: Effects of link length and frequency, temporal sampling, power resolution, and wet antenna attenuation, *Adv. Water Resour.*, 31, 1481–1493. DOI: 10.1016/j.advwatres.2008.03.004.
- LfU RLP (2022): Hochwasser im Juli 2021 – Bericht, Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz, Mainz (in Bearbeitung).
- LENGFELD, K., KIRSTETTER, P.-E., FOWLER, H., YU, J., BECKER, A., FLAMIG, Z. & J. GOURLEY (2020): Use of radar data for characterizing extreme precipitation at fine scales and short durations. *Environmental Research Letters* 15, 085003. DOI: 10.1088/1748-9326/ab98b4.
- MESSER, H., ZINEVICH, A. & P. ALPERT (2006): Environmental Monitoring by Wireless Communication Networks. *Science*, 312(5774), 713–713. DOI: 10.1126/science.1120034.
- MET OFFICE & NETATMO (2021): EUMETNET Sandbox: surface observations from Met Office WOW and Netatmo networks. NERC EDS Centre for Environmental Data Analysis. <http://catalogue.ceda.ac.uk/uuid/37d6ea7956a74af0bef827b94e0fb602>.
- OVEREEM, A., LEIJNSE, H. & R. UIJLENHOET (2013): Country-wide rainfall maps from cellular communication networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(8), 2741–2745. DOI: 10.1073/pnas.1217961110.
- POLZ, J., CHWALA, C., GRAF, M. & H. KUNSTMANN (2020): Rain event detection in commercial microwave link attenuation data using convolutional neural networks. *Atmospheric Measurement Techniques*, 13(7), 3835–3853. DOI: 10.5194/amt-13-3835-2020.
- ROGGENKAMP, T. & J. HERGET (2022): Hochwasser der Ahr im Juli 2021 – Abflusseinschätzung und Einordnung. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 66 Jg. Heft 1, 40–49.
- VILLARINI, G. & W.F. KRAJEWSKI (2010): Review of the Different Sources of Uncertainty in Single Polarization Radar-Based Estimates of Rainfall. *Surveys in Geophysics*, 31(1), 107–129. DOI: 10.1007/s10712-009-9079-x.

Deutsche Hydrologische Gesellschaft

Workshop "Junge HydrologInnen" am Tag der Hydrologie München, März 2022

Der Arbeitskreis "Netzwerk junger HydrologInnen" organisiert mittlerweile traditionell im Vorfeld des Tags der Hydrologie einen Workshop für junge Hydrologinnen und Hydrologen. In diesem Jahr nutzten beim "Tag der Hydrologie 2022" in München rund 25 Early Career Scientists (ECS) aus der hydrologischen Community in ganz Deutschland die Chance, sich auszutauschen, zu diskutieren und zu vernetzen.

Der Workshop umfasste drei Blöcke: Nach einer aktiven einstündigen Aufwärmrunde, in der sich die Teilnehmenden gegenseitig kennenlernen konnten, folgte der eigentliche Hauptteil der Veranstaltung: ein Workshop zum Thema "Visualisierung hydrologischer Daten in R" unter Leitung von Dr. Michael Stölzle (Universität Freiburg). Das Thema war universal gewählt, sodass eine spätere Nutzung der neu erworbenen Fertigkeiten unabhängig von der Forschungsrichtung möglich ist. Herr Stölzle hatte dabei durch Abfragen der vorhandenen Kenntnisse und der gewünschten Inhalte einen spannenden und speziell auf die Teilnehmenden zugeschnittenen Workshop geschaffen, der sehr gut angenommen wurde. Die zur Verfügung gestellten Materialien wurden in immer wieder eingestreuten Praxiseinheiten genutzt, sodass Theorie und Praxis erfolgreich verknüpft werden konnten. Abgerundet wurde das Warm-up durch den Gastvortrag von Prof. Dr. Petra Döll (Universität Frankfurt) zum Thema "Multivariable ensemble-basierte Kalibrierung des globalen hydrologischen Modells WaterGAP", der einen umfassenden und inspirierenden Einblick in die komplexe Welt der globalen hydrologischen Modellierung mit all ihren Herausforderungen gab.

Wir danken den Referenten, Prof. Dr. Petra Döll und Dr. Michael Stölzle, herzlich für ihre Beiträge. Besonderer Dank gilt der Deutschen Hydrologischen Gesellschaft (DHG) und der TU München, durch deren Unterstützung der Workshop kostenfrei angeboten werden konnte.

Nähere Informationen über das Netzwerk:
<https://youngsters.dhydrog.de/>

*Dr. Hannes Müller-Thomy,
Dr. Christian Reinhardt-Imjela*

Bericht zum Workshop "Stoffflüsse und Vorräte in Waldökosystemen: Messung, Monitoring und Modellierung" in Göttingen, März 2022

Trotz anhaltender Pandemie fand vom 17. bis 18. März 2022 die 13. gemeinsame Tagung der Sektion Wald und Wasser im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten (DVFFA), der Arbeitsgruppen "Humusformen" und "Waldböden" der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft und der Deutschen Hydrologischen Gesellschaft nach langer Zeit wieder statt. Im Online-Format geplant, luden wir alle begeisterten Wasser-, Wald- und Bodeninteressierten zum Austausch unter dem Titel "Stoffflüsse und Vorräte in Waldökosystemen: Messung, Monitoring und Modellierung" ein.

Etwa 130 Anmeldungen und 44 Beiträge zeigten, dass dieses Thema auf großes Interesse stieß. In insgesamt acht Sessions wurde eine gebührende Plattform für den wissenschaftlichen Diskurs geboten: Bodenkohlenstoff, Monitoring von Ökosystemprozessen, Stoffflüsse und -vorräte, Monitoring von Bodenwasser, Standortfaktor Wasserhaushalt im Klimawandel, Kalkung und Bodenwassermodellierung. Im Fokus standen insbesondere die Auswirkungen der Dürreereignisse in den letzten Jahren auf den Wasser- und Stoffhaushalt von Wäldern. Mit zeitweilig bis zu 120 Online-Teilnehmenden, spannenden Vorträgen und zweiminütigen Poster-Pitches ein voller Erfolg! Die virtuellen Poster- und Themenräume sowie die Lounge wurden sehr gut angenommen. Ein Dank gilt allen Leitern der verschiedenen Sessions und Vortragenden sowie der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt für die technische Organisation. Eine Neuauflage der arbeitsgruppenübergreifenden gemeinsamen Tagung ist schon geplant, dann hoffentlich im Präsenzformat.

Dr. Henning Meesenburg

Ankündigung und Einladung zum 1. Forum "Deutsche hydrologische Forschung im Kontext der Wasserprogramme der Vereinten Nationen"

Der Arbeitskreis "Netzwerk junger HydrologInnen" der Deutschen Hydrologischen Gesellschaft (DHG) und das Internationale Zentrum für Wasserressourcen und Globalen Wandel (ICWRGC) laden sehr herzlich zum 1. Forum "Deutsche hydrologische Forschung im Kontext der Wasserprogramme der Vereinten Nationen" ein. Die Veranstaltung findet online am 4. Oktober 2022 von 14 bis 16 Uhr statt und richtet sich vor allem an Advanced Early Career Scientists, Young Water Professionals, erfahrene Master-Absolventen und PostDocs. Bei Interesse melden Sie sich bitte bis zum 15. September 2022 formlos per E-Mail (ICWRGC@bafg.de) an. Nach der Anmeldung erhalten Sie den Link zur Teilnahme. Sollten Sie weitere Fragen haben, können Sie sich gerne an Herrn Dr. Reinhardt-Imjela (FU Berlin; christian.reinhardt-imjela@fu-berlin.de) oder Herrn Köthe (BfG; Koethe@bafg.de) wenden.

*Prof. Dr. Peter Chiffard
Deutsche Hydrologische Gesellschaft*

Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften

in der DWA (FgHW)

14. DWA-HochwasserTag am 8. November 2022 in Karlsruhe

In diesem Jahr findet erstmals ein HochwasserTag der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) in Baden-Württemberg statt. Gemeinsam mit dem Wasserwirtschaftsverband Baden-Württemberg (WBW) sowie in Abstimmung mit der Wasserwirtschaftsverwaltung des Landes Baden-Württemberg und dem DWA-Landesverband Baden-Württemberg wird der HochwasserTag in Karlsruhe ausgerichtet. Für den Erfahrungsaustausch und für Diskussionen mit Kollegen und Ausstellern wird wieder ausreichend Zeit eingeräumt.

Der HochwasserTag widmet sich in diesem Jahr den technischen Hochwasserschutzmaßnahmen am Oberrhein. Im Vormittagsblock wird die Vorgehensweise bei der Sanierung der Flussdeiche am Oberrhein behandelt. Hier sind zunehmend, neben den rein technischen Fragestellungen, auch Umweltschutz- und Nachhaltigkeitsaspekte zu beachten, wozu z. B. eine CO₂-Bilanzierung (CO₂-Schattenpreis) gehört. Eingeraht werden diese Vorträge von einem Überblick zur Hochwasserstrategie des Landes und der Vorstellung eines Konzeptes zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Hochwasserschutzmaßnahmen.

Am Nachmittag steht das Integrierte Rheinprogramm (IRP) im Mittelpunkt. In den Jahren von 1928 bis 1977 wurden am Oberrhein 10 Stautufen errichtet, durch die 130 km² natürliche Überflutungs- und Rückhalteflächen des Rheins abgeschnitten worden sind. Um diesen Verlust zu kompensieren, sind allein in Baden-Württemberg entlang des Oberrheins an 13 Standorten Rückhalteräume mit einem Volumen von ca. 167,3 Mio. m³ vorgesehen. Die Gesamtkonzeption des IRP wird vorgestellt. Anhand von Beispielen wird die Vorgehensweise bei der Planung erläutert, die sich auf eine hybride physikalisch-numerische Modellierung stützt.

In diesem Sinne bietet der diesjährige HochwasserTag wieder Gelegenheit, sich über die vielfältigen Aspekte beim Umgang mit dem Hochwasserrisiko zu informieren und sich mit Fachkolleginnen und Fachkollegen auszutauschen.

Traditionell ist dies eine gemeinsame Veranstaltung von DWA und FgHW. Die FgHW möchte die Veranstaltung in diesem Jahr in besonderem Maße unterstützen und bietet interessierten Studierenden in Verbindung mit einer kostenfreien Schnuppermitgliedschaft in DWA/FgHW die Übernahme des Tagungsbeitrags an. Bis zu 10 Studierende werden auf diese Weise eingeladen, das fachliche Netzwerk von DWA und FgHW kennenzulernen. Näheres dazu finden Sie rechtzeitig vor der Veranstaltung auf unserer Homepage (www.fghw.de). Wir freuen uns sehr darauf, Sie in Karlsruhe persönlich begrüßen zu können.

Operationelles Stautufenmanagement als Beitrag zum Hochwasserrückhalt – erste virtuelle "FgHW-Lunchbreak-Session", 12. Oktober 2022, 13:00 bis 14:00 Uhr

Zur Eröffnung der neuen Initiative von "FgHW-Lunchbreak-Sessions" startet Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stephan Theobald (Universität Kassel) mit einem Vortrag aus der Rubrik "Aktuelles aus der hydrologischen Wissenschaft" zum Thema "Operationelles Stautufenmanagement als Beitrag zum Hochwasserrückhalt".

Zum Inhalt

Die großen Hochwasserereignisse der letzten Jahrzehnte mit teilweise katastrophalen Auswirkungen und Schäden zeigen die Vulnerabilität von Siedlungen an großen Fließgewässern. Beispielhaft sei hier das Elbe-Hochwasser 2013 genannt. In Verbindung mit dem bestehenden Ausbau großer Flüsse mit Stautufenketten stellt sich bei staugeregelten Flüssen die zentrale Frage, ob es durch eine intelligente Steuerung der Stautufen möglich ist, die Stauräume gezielt für den Hochwasserrückhalt und die Kappung des Hochwasserscheitels zu nutzen.

Jüngste Untersuchungen am Flusssystem des Inns zeigen, dass hier ein hohes Potenzial zur Scheitelminderung gegeben ist. Sie verdeutlichen jedoch auch, dass hierzu ein tiefes Prozessverständnis erforderlich ist. Diese betreffen die Wechselwirkungen zwischen der Steuerung der Stautufen und der Wellenform, wobei auch die hydraulischen Verhältnisse, die das örtliche Strömungsverhalten des Flusses prägen, zu beachten sind. Umfangreiche Analysen von Messwerten und Sensitivitätsuntersuchungen zu einer Vielzahl von Parametern bilden dafür eine wichtige Grundlage.

Für solche Untersuchungen ist ein Modellsystem erforderlich, das die komplexen hydraulischen Vorgänge des Hochwassergeschehens und die regelungstechnischen Vorgänge der Stautufensteuerung mit deren Einfluss auf die Strömungsverhältnisse im Stauraum gleichermaßen abbilden kann. Diesem Anspruch wird ein eigenentwickeltes Modellierungswerkzeug gerecht, basierend auf einem 1D-HN-Verfahren, das mit Matlab/Simulink gekoppelt werden kann und eine umfangreiche Toolbox mit verschiedenen Arten der Wasserhaushaltsregelung für einzelne Stautufen und auch Stautufenketten beinhaltet.

Nur durch Berücksichtigung der genannten Aspekte in einem komplexen Modell ist es letztendlich möglich, praxisrelevante Steuerungsoptionen für den realen Betrieb zu entwickeln. Die entwickelte Methodik ist auch auf andere Fließgewässersysteme übertragbar.

FgHW-Lunchbreak-Sessions

Die FgHW-Lunchbreak-Sessions sind in diesem Jahr ein kostenfreies Angebot der FgHW. Es werden in je zwei Sessions kurz und

prägnant hochkarätige Fachbeiträge zu den Perspektiven "Aktuelle Herausforderungen aus der wasserwirtschaftlichen Praxis" und "Aktuelles aus der hydrologischen Wissenschaft" angeboten. Angesprochen sind alle Interessierten aus Wissenschaft und Praxis.

Sie sind herzlich eingeladen, wir freuen uns auf interessante Diskussionen!

Bitte merken Sie sich schon die Folgetermine vor:

2. November 2022

"Außergewöhnliche Ereignisse erfordern außergewöhnliche Maßnahmen – Schlussfolgerungen aus den Elbe-Hochwasserereignissen 2002 und 2013"

Burkhard Henning, Direktor des Landesbetriebes für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt

30. November 2022

"Wissenschaftliche Begleitung des Wiederaufbaus an der Ahr – das Projekt KAHR"

Univ.-Prof. Dr. Jörn Birkmann (Universität Stuttgart)

13. Dezember 2022

"Herausforderung Niedrigwasser – Erfahrungen aus Brandenburg"

Anke Herrmann, Abteilungsleiterin Wasserwirtschaft, Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz, Brandenburg

Die Lunchbreak-Sessions werden per Zoom als Videokonferenzen von der Universität Kaiserslautern angeboten. Herr Prof. Dr. Robert Jüpner, Leiter der FgHW, führt jeweils in die Sessions ein und moderiert die Veranstaltungen. Nähere Informationen und den Zugangslink entnehmen Sie bitte der Homepage der FgHW (www.fghw.de) und unserem Newsletter.

Wasserwirtschaft in Zeiten des Klimawandels – DWA-Dialog Berlin am 26./27. September 2022

Der DWA-Dialog Berlin – früher DWA-Bundestagung – steht in diesem Jahr unter dem Motto "Wasserwirtschaft in Zeiten des Klimawandels". Das Fachprogramm der diesjährigen Mitgliederversammlung der DWA schlägt einen spannenden thematischen Bogen über zentrale Themen der Wasserwirtschaft. Dabei geht

es bei dieser Veranstaltung weniger um Fortbildung im üblichen Sinne, sondern es stehen das Gespräch und der gegenseitige Austausch im Mittelpunkt. Der Austausch von Erfahrungen soll Verstehen und verantwortliches Handeln unterstützen. Gegenüber der bisherigen Bundestagung werden beim DWA-Dialog Berlin Interaktion und Mitmachen größer geschrieben. Auch der fachliche Nachwuchs, organisiert in der Jungen DWA, hat im Rahmen der Veranstaltung eigene Formate, um sich zu präsentieren und zu diskutieren.

Die Themen des DWA-Diologs Berlin sind immer mehr in die Zukunft gerichtet, visionärer als bei üblichen Veranstaltungen. Der DWA-Dialog Berlin ist das bundesweite Treffen der Fach- und Führungskräfte der Wasserwirtschaft.

In dem Festvortrag zu den beobachteten Folgen des Klimawandels, gehalten von Prof. Dr. Markus Rex, Expeditionsleiter der Forschungsmission MOSAiC, werden aktuelle Ergebnisse und Erkenntnisse zum Klimawandel aus dieser Forschungsmission erläutert. In einer Fragerunde können die Erkenntnisse vertieft werden.

In einer Podiumsdiskussion werden die Fragen rund um das Thema "Wasser in der Stadt von morgen" eingehend beleuchtet. Grundlage dafür bilden die Impulsreferate "Beispiele einer zukunftsweisenden blau-grünen Infrastruktur in Deutschland" und "Ansätze zur Weiterentwicklung des Schwammstadtkonzeptes im In- und Ausland".

Schließlich werden die "Herausforderung Klimaanpassung" anhand der Fragestellungen "Auswirkungen des Klimawandels auf die Wetterextreme", "Folgen des Klimawandels auf die Gewässerökologie" und "Handlungsstrategien für den Schutz Kritischer Infrastrukturen in Zeiten des Klimawandels" eingeordnet und Lösungsansätze diskutiert.

Die Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften (FgHW) ist Teil dieser starken Gemeinschaft. Wir würden uns freuen, Sie, liebe Leserinnen und Leser, in diesem Rahmen in Berlin zu treffen. Nähere Informationen unter www.fghw.de.

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

Neue Publikationen

Akademie der Geowissenschaften und Geotechnologien e. V. (Hrsg.) (2022): Nutzung und Schutz des Grundwassers in Zeiten des Klimawandels – Parlamentarischer Abend am 26.04.2022 in Berlin. 139 Seiten, Schweizerbart Science Publishers.
ISBN: 978-3-510-96868-8

LAWA Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (Hrsg.) (2022): Jahresbericht 2021. 52 Seiten.
Download: www.lawa.de/documents/jahresbericht-der-lawa-2021_1651589173.pdf

LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (Hrsg.) (2022): Grundwasser-Überwachungsprogramm. Ergebnisse 2020. Dokument-ID 10353, 46 Seiten. ISSN: 1437-0131.
Download: <https://pd.lubw.de/10353>

LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (Hrsg.) (2022): Grundwassermessnetze: Rahmen und Definitionen. Dokument-ID 10366, 76 Seiten. ISSN: 1437-0131.
Download: <https://pd.lubw.de/10366>

Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (Hrsg.) (2022): NLWKN-Jahresbericht 2021/2022.
Download: www.nlwkn.niedersachsen.de/jb2022

Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (Hrsg.) (2022): Leitfaden Artenschutz – Gewässerunterhaltung – Ergänzungsband A: Marschengewässer (1/22-A). 48 Seiten.
Downloads: www.nlwkn.niedersachsen.de/download/181354

Patt, H. (Hrsg.) (2022): Fließgewässer- und Auenentwicklung: Grundlagen und Erfahrungen. 3. Auflage, 718 Seiten, Springer Vieweg.
ISBN: 978-3662644348

Schwoerbel, J., Brendelberger, H. (2022): Einführung in die Limnologie Stoffhaushalt – Lebensgemeinschaften – Technologie. 11. Auflage, 491 Seiten, Springer Spektrum.
ISBN: 978-3662633335

Umweltbundesamt (Hrsg.) (2022): Kohärenz der flächenbezogenen Gewässerentwicklungsplanung gemäß WRRL mit der Raumplanung – Wissenschaftlich fachliche Unterstützung der Nationalen Wasserstrategie. Autoren: Janssen, G., Wittig, S., Garack, S., Koenzen, U., Reuvers, C., Wiese, T., Wetzels, N.; Texte 71/2022, 191 Seiten, Verlag Umweltbundesamt.
Download: www.umweltbundesamt.de/unter/publikationen

Termine

Die folgenden Ankündigungen entsprechen dem Wissensstand zum Redaktionsschluss am 30.06.2022.

36th Congress of the International Society of Limnology (SIL)

7. bis 10. August 2022 in Berlin
Webseite: www.sil2022.org

Quellen – die vergessenen Lebensräume

8. September 2022 in Basel (Schweiz)
Webseite: www.scnat.ch/de/events unter "Aktuell"

7. Symposium des Kooperationsvorhabens "Klimaveränderung und Wasserwirtschaft" (KLIWA)

14./15. September 2022 in Ingelheim am Rhein
Webseite: www.kliwa.de

Jahrestagung Deutsche Gesellschaft für Limnologie (DGL)

19. bis 23. September 2022 in Konstanz
Webseite: www.dgl-ev.de/veranstaltungen/jahrestagungen-dgl

Fachforum Blaues Band Spree-Havel

20./21. September 2022 in Havelberg
Webseite: www.bfn.de/veranstaltungen/blau-es-band-spree-havel

12th Water Research Horizon Conference 2022

27./28. September 2022 in Essen
Webseite: www.water-research-horizon.de

ICOPMAS 2022 – 14th International Conference on Coasts, Ports and Marine Structures

31. Oktober bis 2. November 2022 in Teheran (Iran)
Webseite: <https://icopmas.pmo.ir>

23. Gewässermorphologisches Kolloquium

2./3. November 2022 in Koblenz
Webseite: www.bafg.de unter "Wissen/Veranstaltungen"

TERENO Workshop 2022: From Observations to Modelling

8. bis 10. November 2022 in Garmisch-Partenkirchen
Webseite: www.tereno.net/joomla/index.php/events

KFKI-Konferenz "Baltic Storm Surge 1872"

14. November 2022 in Rostock
Webseite: www.kfki.de

25th International River Symposium

27. bis 30. November 2022 in Wien (Österreich)
Webseite: www.riversymposium.com

53. Internationales Wasserbau-Symposium Aachen

12. Januar 2023 in Aachen
Webseite: www.iww.rwth-aachen.de

4. Bochumer Hydrometrie-Kolloquium

22./23. Februar 2023 in Bochum
Webseite: www.hochschule-bochum.de/fbb/einrichtungen-im-fachbereich/labore/labor-fuer-wasserbau unter "Veranstaltungen"

56. Essener Tagung für Wasserwirtschaft

7. bis 9. März 2023 in Essen
Webseite: www.essenertagung.de

Tag der Hydrologie 2023

22./23. März 2023 in Bochum
Webseite: www.hochschule-bochum.de/fbb/einrichtungen-im-fachbereich/labore/labor-fuer-wasserbau unter "Veranstaltungen"

EGU23 European Geosciences Union general assembly

23. bis 28. April 2023 in Wien (Österreich), Hybridveranstaltung
Webseite: <https://egu23.eu>

13th Symposium for European Freshwater Sciences

19. bis 23. Juni 2023 in Newcastle upon Tyne (England)
Webseite: www.sefs13.com

19. Deutsches Talsperrensymposium

4. bis 6. Juli 2023 in Lindau
Webseite: www.talsperrensymposium.de

Erläuterung zur Titelseite

Niedrigwasser und Trockenheit in Thüringen – Auswertungen nach den Extremjahren 2018 und 2019

Die beiden oberen Bilder zeigen Impressionen aus dem Südharz bei Nordhausen während längerer Trockenphasen. Die Region ist aus Thüringer Sicht besonders prädestiniert für Wasserknappheit, da es dort relativ wenig Niederschlag gibt. Der langjährige Mittelwert der Jahre 1981 bis 2010 liegt für die Sommermonate Juni bis August bei etwa 200 mm. Im Extremsommer 2018 waren es in der Gemeinde Friedrichsthal im Landkreis Nordhausen lediglich 25,1 mm. Damit war Friedrichsthal der trockenste Ort Deutschlands im Sommer 2018.

Des Weiteren bewirkt der im Südharz verbreitete Karstuntergrund des Zechsteins bei den betroffenen Gewässern (z. B. Wieda, Bere und Zorge) bevorzugt deren komplettes Versiegen in Trockenzeiten. Zugleich finden sich in der weiteren Umgebung interessante Quellgebiete, bei denen das versunkene Wasser wieder zum Vorschein kommt, so z. B. in der Rhume-Quelle im nahen Niedersachsen oder in der Salzaquelle in Nordhausen.

Weitere zum Trockenfallen neigende Gewässerabschnitte in Thüringen befinden sich im nördlichen Vorland des Thüringer Waldes. Hier sind geologische Störungszonen für die Versinkungen verantwortlich. Das Foto unten links zeigt die Ilm im Ort Kranichfeld, wo der Fluss eine derartige Störungszone kreuzt. Der zugehörige Pegel kontrolliert seit 1. November 1972 333,3 km² des oberen Ilm-Einzugsgebietes, allerdings ohne die hydrologischen Fehljahre 2014 bis 2016. Der mittlere Abfluss aller Aufzeichnungen bis 2018 beträgt 3,07 m³/s. Während komplettes Versiegen zuvor nur 2003 für ca. 3 Wochen im August registriert wurde, stand die Ilm in den Jahren 2018 und 2019 in Kranichfeld jeweils für fast zwei komplette Monate trocken. Im Jahr 2020 waren es dann nochmal etwa drei Wochen.

Die Schwarza auf dem Foto unten rechts bildet im Bereich zwischen Schwarzburg und Bad Blankenburg eines der schönsten Flusstäler Thüringens. In den Oberläufen sind in den letzten Jahrzehnten zwei größere Stauanlagen in Betrieb genommen worden: das Pumpspeicherkraftwerk (PSW) Goldisthal und die Trinkwassertalsperre (TS) Leibis/Lichte.

Am PSW Goldisthal lag der natürliche Zufluss in den Dürre Jahren 2018 und 2019 viele Monate unter der Mindestabgabe, was für das Gewässer unterhalb eine gewisse Abflussstützung darstellt. Absolut gesehen liegt die Differenz aber nur im Bereich weniger 10er l/s, sodass sich der Effekt für die Schwarza weiter unterhalb wieder deutlich relativiert.

An der TS Leibis/Lichte ist eine sogenannte ökologische Speicherbewirtschaftung implementiert, was bedeutet, dass Extremwerte Hoch- wie auch Niedrigwasser innerhalb gewisser Grenzen an den Unterlauf weitergegeben werden. Für die Schwarza bleibt es trotz der Speicher also bei den bisherigen Niedrigwasserverhältnissen.

Dr. Ralf Haupt,

Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz, Jena

Dr. Nico Trauth,

Björnsen Beratende Ingenieure Erfurt GmbH, Niederlassung Leipzig



Oben links: Die trockengefallene Zorge unterhalb von Nordhausen, Aufnahme vom 17. September 2020 (Foto: TLUBN, S. Minalga).

Oben rechts: Der reguläre Dauerstau des Hochwasserrückhaltebeckens Iberg/Krebsbach (Landkreis Nordhausen) war wegen stark unterdurchschnittlicher Zufluss-Summen der Vormonate bis zum 1. September 2018 um 80 cm zurückgegangen (Foto: M. Deutsch, Erfurt).

Unten links: Die trockengefallene Ilm am Pegel Kranichfeld, Aufnahme vom 13. August 2018 (Foto: Thüringer Landesgesellschaft mbH, Erfurt).

Unten rechts: Die Schwarza zwischen Schwarzburg und Bad Blankenburg, Aufnahme vom 28. November 2018, zeigt eine Wasserführung im Bereich des langjährigen mittleren Niedrigwassers MNQ (Foto: TLUBN, K. Pfannschmidt).