

# Hydrologie und Wasserbewirtschaftung

Hydrology and Water Resources Management



Das extreme Niedrigwasser des Jahres 1921 in den großen Flüssen Deutschlands im Vergleich zum Niedrigwasser 2018

Analyse der Hochwassergefährdung im Ahrtal unter Berücksichtigung historischer Hochwasser

## 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 Puhmann,  
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

Hydrologische Extreme im historischen Vergleich	<b>224</b>
---	------------

## Fachartikel | Scientific reports

<b>DOI: 10.5675/HyWa_2022.5_1</b> <b>Daniel Schwandt, Martin Helms, Gerd Hübner, Jörg Uwe Belz &amp; Wilfried Wiechmann</b> Das extreme Niedrigwasser des Jahres 1921 in den großen Flüssen Deutschlands im Vergleich zum Niedrigwasser 2018 The extreme low flow of 1921 in the large German rivers in comparison with the low flow in 2018	<b>225</b>
<b>DOI: 10.5675/HyWa_2022.5_2</b> <b>Sergiy Vorogushyn, Heiko Apel, Matthias Kemter &amp; Annegret H. Thieken</b> Analyse der Hochwassergefährdung im Ahrtal unter Berücksichtigung historischer Hochwasser Analysis of flood hazard in the Ahr Valley considering historical floods	<b>244</b>

## Hydrologische Notizen | Hydrological notes

Aktuelles   Latest news	<b>255</b>
Personen   Persons	<b>268</b>
Ausbildung   Education	<b>271</b>
Interview   Interview – Dr. Susanna Mohr und Dr. Uwe Ehret/CEDIM, KIT Karlsruhe	<b>272</b>

## Nachrichten | News

Deutsche Hydrologische Gesellschaft   German Hydrological Society	<b>275</b>
Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften   Association for Hydrological Sciences	<b>276</b>
Neue Publikationen   New publications	<b>278</b>
Termine   Events	<b>279</b>

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

## Hydrologische Extreme im historischen Vergleich

Mitteleuropa war im vergangenen Jahrzehnt wiederholt von extremen hydrologischen Ereignissen betroffen, die beim Junihochwasser 2013 einzugsgebietsübergreifend – mit Schwerpunkt Elbe und Donau – und beim Niedrigwasser 2018 nahezu flächendeckend ausgeprägt waren. Großräumiger Starkregen führte im Juli 2021 zu gleichzeitigen Sturzfluten und katastrophalen Überschwemmungen, u. a. an Ahr, Erft und Rur.

In der öffentlichen Wahrnehmung und Diskussion werden solche Extreme häufig als Jahrhundertereignisse oder Ereignisse bisher nicht gekannten Ausmaßes angesehen und als Anzeichen eines bereits einsetzenden bzw. fortgeschrittenen Klimawandels gewertet. Aufgrund des seltenen Auftretens hydrologischer Extremereignisse liegen zu diesen Ereignissen nur wenige Erfahrungen vor und im Datenbestand der letzten Jahrzehnte sind nur in sehr begrenztem Umfang Beobachtungen vorhanden. Zur raumzeitlichen Plausibilisierung und zur Reduzierung der Unsicherheiten bei der Erfassung und (statistischen) Einordnung aktueller Extremereignisse ist eine Informationserweiterung durch einen historischen Rückblick aus Sicht der Autoren unerlässlich. In aller Regel finden sich ähnlich intensiv ausgeprägte Ereignisse in der näheren oder fernerer Vergangenheit. Gleichwohl werden Ausgangslage, Randbedingungen (u. a. anthropogener Einfluss), zeitliche Dauer, räumliche Ausdehnung und die Auswirkungen auf Umwelt und Gesellschaft unterschiedlich sein, sodass bei jedem Ereignis auch seine individuellen Charakteristika zu bewerten sind.

Der Einbezug der Vergangenheit ermöglicht eine vergleichende Betrachtung weiterer real aufgetretener Ereignisse und kann dazu beitragen, verallgemeinerbare Eigenarten eines extrem ausgeprägten Ereignistyps zu identifizieren, z. B. typische Wetterlagen im Hinblick auf Dürren bzw. auf Hochwasser oder typische Überlagerungseffekte von Hochwasserwellen aus Teileinzugsgebieten. Der Rückblick unterstützt auch die Auslotung möglicher Streubreiten extremer Ereignisausprägungen sowie die Identifikation regionalspezifischer Besonderheiten, wie das Abflussverhalten im Falle des Leerlaufens von Talsperren bei Niedrigwasser oder kritische Rückstaubereiche bei Hochwasser.

Die Berücksichtigung historischer Daten muss jedoch durch gewässerkundliche und damit interdisziplinäre Interpretation begleitet werden. Dies gilt allein schon im Hinblick auf die Messmethoden und -unsicherheiten. Darüber hinaus sind anthropogene Einflüsse einzubeziehen, um eine Vergleichbarkeit mit aktuellen Bedingungen zu gewährleisten. Dabei sind für Niedrigwasser beispielsweise der Talsperrenbetrieb, für Hochwasser daneben auch der Einsatz von Rückhaltebecken und die Anlage

von Deichen zu nennen. Auch Einflüsse infolge der Vereisung von Gewässern, die im historischen Zeitraum häufiger auftraten als heute, sind zu beachten. Wenn möglich, ist idealerweise eine Homogenisierung historischer und heutiger Daten durchzuführen, mindestens aber eine Berücksichtigung von unterschiedlichen Randbedingungen und Unsicherheiten bei der weitergehenden Nutzung und Interpretation der Daten und daraus abgeleiteter Kenngrößen.

Durch vielfältige Digitalisierungsbestrebungen in Bibliotheken, Archiven und Fachbehörden ist die Recherche nach detaillierten Ereignisbeschreibungen bzw. entsprechenden Messdaten weit einfacher als noch vor 20 Jahren. Gleichwohl ist die Daten- und Informationsaufbereitung immer mit einem erheblichen Aufwand verbunden.

Gestützt auf lange Datenreihen und intensives Quellenstudium (inklusive Daten- und Quellenkritik) können Messwerte und Sachverhalte aus den Bereichen Hydrometeorologie, quantitative und qualitative Hydrologie, Sozioökonomie und gegebenenfalls weiterer Themenfelder einander gegenübergestellt und ausgewertet werden. Eine wirklich umfassende Bearbeitung aller Aspekte ist in einem Fachartikel allein aus Platzgründen nicht möglich, aber ein möglichst breiter Blickwinkel ist lohnend und erstrebenswert.

Die vorliegende Ausgabe der Zeitschrift "Hydrologie und Wasserbewirtschaftung" widmet sich vor diesem Hintergrund mit einem ihrer Fachartikel dem vor etwa 100 Jahren aufgetretenen, im gesamten mitteleuropäischen Raum extremen Niedrigwasserjahr 1921, das dem gemeinhin noch gut in Erinnerung gebliebenen Niedrigwasserjahr 2018 gegenübergestellt wird. Neben der meteorologischen und hydrologischen Analyse wurden vielfältige weitere Aspekte dieser Ereignisse, insbesondere auch zur Wasserbeschaffenheit, recherchiert und vergleichtend analysiert. Der Artikel möchte zu einer verstärkten und fachlich breit angelegten Aufarbeitung weiterer historischer Extremereignisse im Niedrigwasser- und im Hochwasserbereich anregen. Er zeigt, dass sich auf diesem Wege auch für das heutige Gewässer- und Risikomanagement wertvolle Erkenntnisse ableiten lassen.

*Dr. Daniel Schwandt,  
Dr. Martin Helms,  
Dr. Gerd Hübner,  
Jörg Uwe Belz,  
Wilfried Wiechmann,  
Bundesanstalt für Gewässerkunde*

Daniel Schwandt, Martin Helms, Gerd Hübner, Jörg Uwe Belz & Wilfried Wiechmann

# Das extreme Niedrigwasser des Jahres 1921 in den großen Flüssen Deutschlands im Vergleich zum Niedrigwasser 2018

The extreme low flow of 1921 in the large German rivers in comparison with the low flow in 2018

Anhand des Vergleichs der Niedrigwasserjahre 1921 und 2018 wird exemplarisch aufgezeigt, welche Bedeutung die systematische Aufarbeitung und Auswertung historischer Niedrigwasserereignisse für das Verständnis, die Einordnung und Bewertung aktueller hydrologischer Dürren hat. Trockene Vorbedingungen aus dem Herbst 1920 sowie wiederholte längere Trockenphasen im Jahr 1921 resultierten in einer außergewöhnlich niedrigen Wasserführung der Fließgewässer mit Auswirkungen auf die Wasserbeschaffenheit, die Wasserversorgung und die Schifffahrt. Dieses extreme Niedrigwasser war an Rhein, Weser, Donau (vor dem Zufluss des Inns) und Oder von bemerkenswert langer Dauer, an der Elbe kürzer, aber ebenfalls stark ausgeprägt. Das Niedrigwasserjahr 2018 erreichte oder übertraf die umfassend extremen Verhältnisse des Jahres 1921 nur partiell, wozu auch die heute vorhandenen Talsperren beitrugen. Die fehlende Verdünnung von Abwassereinleitungen ließ in beiden Jahren Schwerpunkte der Gewässerbelastung hervortreten, wobei außergewöhnliche Konzentrationsspitzen gemessen wurden. Für die Untersuchung langer Trockenphasen bietet sich das Niedrigwasserjahr 1921 als Referenz zur Bewertung und statistischen Einordnung weiterer beobachteter oder simulierter Niedrigwasserextreme an.

**Schlagwörter:** Niedrigwasser, hydrologische Extreme, Niedrigwasserkenngößen, Wasserbeschaffenheit, historischer Vergleich

By comparing the low flow years 1921 and 2018, the importance of the systematic processing and evaluation of historical low flow events for the understanding, classification and assessment of current hydrological droughts is exemplarily demonstrated. Dry preconditions from the previous autumn as well as repeated longer periods of drought in 1921 resulted in unusually low streamflow in the rivers with impacts on water quality, water supply and shipping. This extreme low flow event had a remarkably long duration on the Rhine, Weser, Danube (upstream of the confluence with the Inn) and Oder, and somewhat shorter on the Elbe, but also severe. The low flow year 2018 only partially reached or exceeded the overall extreme dimensions of 1921, to which the nowadays existing dams also contributed. The lack of dilution of wastewater discharges aggravated focal points of pollution in both years, and extraordinary concentration peaks were measured. With regard to the investigation of persistent dry conditions, the low flow year 1921 is a suitable reference for the evaluation and statistical classification of other observed or simulated low flow extremes.

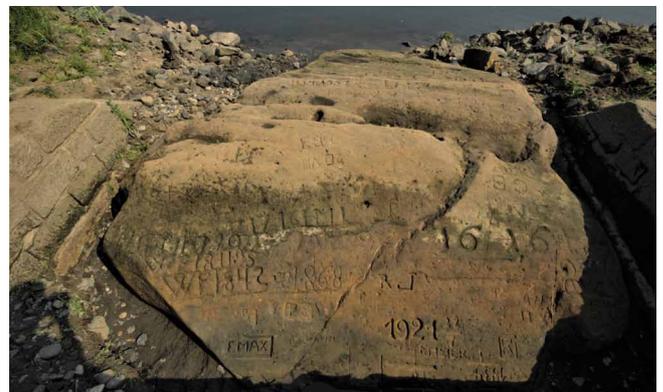
**Keywords:** Low flow, hydrological extremes, low flow indicators, water quality, historical comparison

## 1 Einleitung

Langzeitbetrachtungen extremer Dürren in Europa bzw. Deutschland (COOK et al., 2015; HANEL et al., 2018; ERFURT et al., 2019; GLASER & KAHLE, 2020; SCHRIER et al., 2021) ordnen die Dürre im Jahr 1921 nach betroffener Fläche und Schweregrad hinsichtlich Niederschlag, Bodenfeuchte und Abfluss bzw. nach verschiedenen Dürreindizes als europaweites hydroklimatisches Extremereignis oder Megadürre ein. Die Folgen der Dürre kulminierten in der Sowjetunion (Wolga-, Uralgebiet und Ukraine) in einer katastrophalen Hungersnot, die durch (Nach)Kriegs- und Revolutionswirren zusätzlich befördert wurde (MÜHLENS, 1923). Aus Südost-England (BROOKS & GLASSPOOLE, 1922) und Frankreich (BLANCHARD, 1922) wurden für das Jahr 1921 die bis dato geringsten Jahresniederschläge berichtet, z. B. für Oxford 60 %, für Greenwich 53 % und für Paris 48 % des langjährigen Mittelwerts ab 1815 bzw. 1811 (Paris). Mit der meteorologischen Dürre kam es zu extremen Niedrigwasserphasen in den Flüssen Mitteleuropas. Davon zeugt auch die Markierung "1921" auf dem "Hungerstein" von Děčín, Elbe (Abb. 1; ELLEDER et al., 2020).

Die nachfolgende Darstellung unterschiedlicher Aspekte des Niedrigwassers von 1921 soll verschiedene Blickrichtungen auf dieses Extremereignis vereinen. Über die übliche Betrachtung der hydrometeorologischen Situation und der Wasserführung

(GRUNOW, 1935; DUBAND et al., 2004) hinaus wird hier der Wasserbeschaffenheit analog zu HÜBNER & SCHWANDT (2018) sowie zur INFORMATIONSPLOTTFORM UNDINE (o. J.) mehr Raum gegeben. Ferner werden Auswirkungen auf die Wasserver-



**Abbildung 1**  
Hungerstein in Děčín, Elbe mit Niedrigwassermark 22. Juli 1921 (Foto: L. Elleder).  
*Hunger stone in Děčín, Elbe with low water mark 1921-7-22 (photo: L. Elleder).*

sorgung und die Schifffahrt beleuchtet. Schwer zugängliche Daten zur Wasserbeschaffenheit im Jahr 1921 werden erstmalig veröffentlicht. Ein Vergleich erfolgt mit dem Niedrigwasser 2018, das ebenfalls in mehreren Flussgebieten Deutschlands ein längeres Extremereignis war. Entlang der Wirkungskette "Hydrometeorologie – Wasserführung – Wasserbeschaffenheit" werden Dauer und Intensität der Verhältnisse gegenübergestellt. Bezugszeitraum ist stets das Kalenderjahr. Gegebenenfalls schließt die Betrachtung über Deutschland hinaus auch Gewässerabschnitte benachbarter Länder ein.

## 2 Hydrometeorologische Situation und Wasserführung

### 2.1 Großwetterlagen

Mit der atmosphärischen Zirkulation und den daraus abgeleiteten 29 Großwetterlagen Europas (GWL) nach Hess & Brezowsky (WERNER & GERSTENGARBE, 2010) sind Luftmassenbewegungen bzw. -blockaden verbunden, wie z. B. die 1921 und 2018 besonders häufige Blockade der Zufuhr feuchter Atlantikluft durch eine Hochdruckbrücke (BM) oder ein Hoch (HM) über Mitteleuropa. Niederschlagsarme GWL dieser Jahre und ihre Gesamtdauern sind in Tabelle 1 dargestellt.

Bezogen auf Messstationen in Deutschland mit einer Höhenlage < 1.000 m ü. NN weisen nach WERNER & GERSTENGARBE (2010) die in Tabelle 1 aufgeführten GWL mittlere Tagessummen des Niederschlags von ca. 1 mm oder weniger auf. Die Gesamtzahl der Tage mit diesen niederschlagsarmen GWL lag im Jahr 1921 mit 216 Tagen weit höher als 2018 (130 Tage). Besonders auffällig war 1921 die hohe Anzahl an Tagen der GWL HM sowie HNa, HFa, SEa und NWa. Mit 24 Tagen (28. September bis 21. Oktober 1921) hatte die GWL HM die längste Andauer im 20. Jahrhundert (WERNER & GERSTENGARBE, 2010). Im Jahr 1921 gab es zudem längere zusammenhängende Zeiträume niederschlagsarmer GWL als 2018 (Abb. 2).

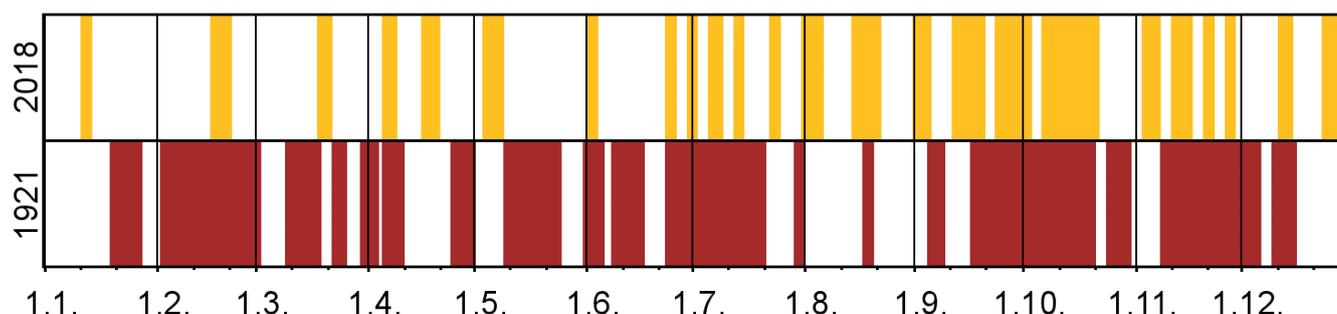
### 2.2 Lufttemperatur und Niederschlag

Eine deutschlandweite Auswertung zur Niederschlagsverteilung (GRUNOW, 1935) weist für Oktober und November 1920 großteils nur < 10 bis 25 % der mittleren Niederschlagshöhe (Reihe 1851/1920) aus. Von Februar bis Oktober 1921 fielen im Wesergebiet 50 bis 75 % der mittleren Niederschlagshöhe, im Oder-, Elbe- und Donaugebiet verbreitet 50 bis 75 % sowie 75 bis 100 %, am Rhein über weite Gebiete 25 bis 50 % sowie 50 bis 75 %. Für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland sind in Abbildung 3 die Jahressummen und in Abbildung 4 die monat-

**Tabelle 1**

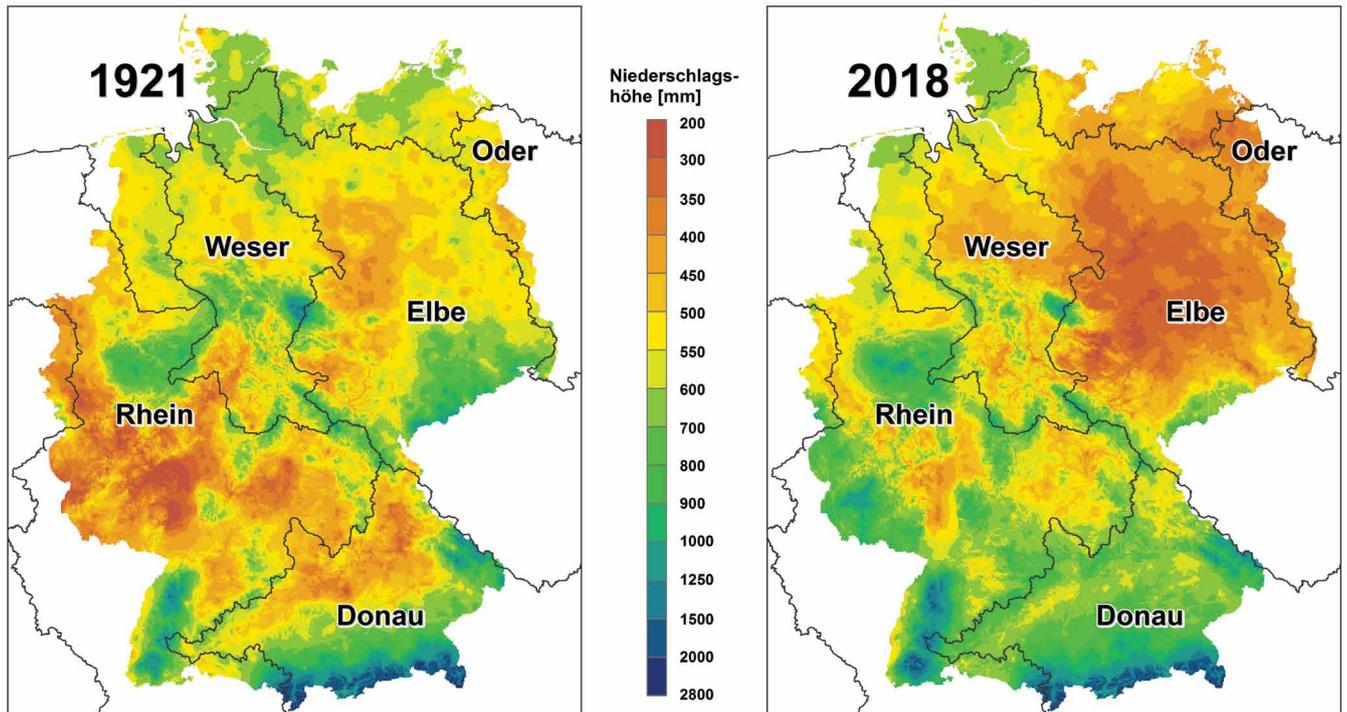
Niederschlagsarme Großwetterlagen: Anzahl der Tage in den Jahren 1921 und 2018 (GWL-Daten: WERNER & GERSTENGARBE, 2010; DWD, 2018). *Atmospheric circulation patterns with low precipitation depths: number of days during 1921 and 2018 (data: WERNER & GERSTENGARBE, 2010; DWD, 2018).*

Niederschlagsarme Großwetterlagen	Abk.	1921 [Tage]	2018 [Tage]
Hochdruckbrücke Mitteleuropa	BM	41	38
Hoch über Mitteleuropa	HM	58	14
Hoch Nordmeer-Island, antizyklonal	HNa	19	3
Hoch Britische Inseln	HB	6	0
Hoch Fennoskandien, antizyklonal	HFa	23	10
Hoch Nordmeer-Fennoskandien, antizyklonal	HNFa	0	3
Südwestlage, antizyklonal	SWa	3	9
Südostlage, antizyklonal	SEa	15	6
Südlage, antizyklonal	Sa	10	14
Nordwestlage, antizyklonal	NWa	31	15
Nordostlage, antizyklonal	NEa	10	11
Nordlage, antizyklonal	Na	0	7
<b>Summe</b>		<b>216</b>	<b>130</b>



**Abbildung 2**

Abfolge niederschlagsarmer Großwetterlagen (Tab. 1) in den Jahren 1921 und 2018. *Sequence of large-scale weather patterns with low precipitation depths (tab. 1) in 1921 and 2018.*



**Abbildung 3**

Jahressumme der monatlichen Niederschlagshöhe aus Rasterdaten von 1921 und 2018 für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland. Daten: DWD-CDC (2021).

*Annual total 1921 and 2018 of the grids of the monthly precipitation depth for the area of the Federal Republic of Germany. Data: DWD-CDC (2021).*

liche Verteilung der Niederschläge in den Jahren 1921 und 2018 dargestellt.

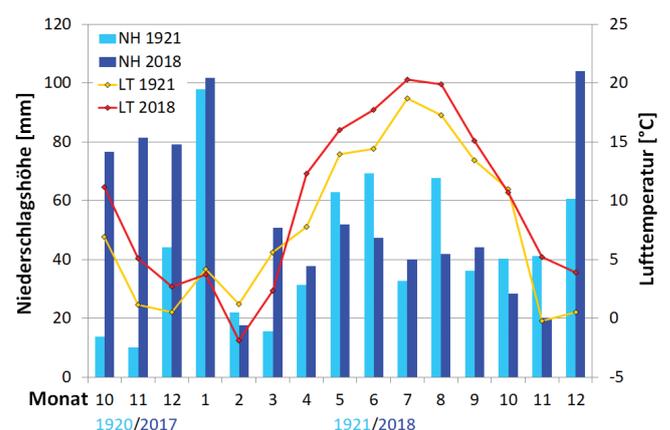
Die besondere Niederschlagsarmut im Rheingebiet im Jahr 1921 unterstreichen Jahressummen des Niederschlags (in Klammern Prozent des langjährigen Mittels) von 479 mm (62 %) in Kleve, 383 mm (57 %) in Trier und 246 mm (50 %) in Geisenheim (SASSENFELD, 1923). An den DWD-Messstationen Wiesbaden-Biebrich im Rheingebiet und Regengstau im Donaugebiet markiert das Jahr 1921 (Niederschlagsverlauf in Abb. 5) jeweils die mit Abstand niedrigste Jahresniederschlagssumme der gesamten ca. 120-jährigen Messreihen (DWD, 2020).

Abbildung 3 zeigt für das Jahr 1921 einen Streifen mit extrem niedrigem Jahresniederschlag vom Niederrhein bis ins Alpenvorland, während dieser im Jahr 2018 vorrangig östlich des Harzes vorkam. Die Jahressumme gibt jedoch keine Information über die zeitliche Verteilung der Niederschläge. Diese fielen im Januar und Dezember 2018 sowie auch in den Herbstmonaten 2017 reichlich, waren aber von Februar bis November 2018 – wie auch im Jahr 1921 – durchgehend gering (Abb. 4).

Bei einem Vergleich der deutschlandweiten Monatsmittel der Lufttemperaturen sind die hohen Werte im Frühjahr und Sommer 2018 hervorzuheben (Abb. 4), die die entsprechenden Werte von 1921 übertrafen. Die potenzielle Verdunstung dürfte damit 2018 höher als 1921 gewesen sein.

Einen Eindruck der extremen Witterung im Jahr 1921 nach damaliger Wahrnehmung vermittelt ein zeitgenössischer Bericht aus Basel (STRUB, 1923): "Als sehr warmes und außerordentlich tro-

ckenes Jahr trägt sich das Jahr 1921 in die Witterungsstatistik ein. Schon die drei letzten Monate des Jahres 1920, vor allem Oktober und November 1920, zeichneten sich durch außergewöhnliche Trockenheit aus. [...] Kein Jahr seit Beginn der Niederschlagsmessungen im Jahre 1864 war so trocken wie das Jahr 1921."



**Abbildung 4**

Mittlere monatliche Niederschlagshöhen (NH) und Lufttemperaturen (LT) in den Jahren 1921 und 2018 sowie in den vorangegangenen Herbstmonaten (Oktober bis Dezember) im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland. Daten: DWD-CDC (2022).

*Mean monthly precipitation depths (NH) and air temperatures (LT) in the years 1921 and 2018 and the preceding autumn months (October to December) in the area of the Federal Republic of Germany. Data: DWD-CDC (2022).*

Dort war der Januar 1921 der zweitwärmste der Messreihe Basel-Bernoullianum seit 1826, der Juli 1921 neben 1859 der wärmste und der Oktober 1921 schließlich der zweitwärmste. Vom 3. Februar bis 6. März 1921 (32 Tage) fiel kein messbarer Niederschlag, vom 9. Juli bis 10. August 1921 trat eine Hitzeperiode mit 21 heißen Tagen ( $T_{\max} \geq 30,0 \text{ °C}$ ) auf, vom 7. November bis 7. Dezember 1921 (31 Tage) gab es eine weitere Phase ohne Niederschlag.

### 2.3 Stauraum und Wasserbewirtschaftung

Niedrigwasserdurchflüsse können spürbar anthropogen beeinflusst sein. Hervorzuheben ist die Einrichtung und Bewirtschaftung von Talsperren, besonders solcher, die bestimmungsgemäß auch der Niedrigwasseraufhöhung dienen. Die Entwicklung dieser Stauraumkapazitäten ist für die Bewertung des Niedrigwasserjahres 1921 im Vergleich zur heutigen Situation (Niedrigwasserjahr 2018) ggf. zu berücksichtigen.

Im Wesergebiet dienen heute vor allem die Talsperren an Eder und Diemel sowie – zumindest in untergeordneter Funktion – auch die meisten Talsperren im Harz der Niedrigwasseraufhöhung (WSA HANN. MÜNDEN, 2014; HARZWASSERWERKE, 2020). Ihr Gesamtstauraum beträgt ca. 390 Mio. m<sup>3</sup> (von 460 Mio. m<sup>3</sup> Stauraum aller Talsperren im Weser-Einzugsgebiet gemäß LAWA, 1998). Die Edertalsperre mit dem bei weitem größten Stauraum (ca. 200 Mio. m<sup>3</sup>) ist seit 1914 in Betrieb. An der Oberweser (u. a. Pegel Hann. Münden) ist daher für 1921 bereits von einem zur Gegenwart annähernd vergleichbaren Talsperreneinfluss auszugehen.

Starken Einfluss haben heute die Talsperren im Elbegebiet. Der Gesamtstauraum größerer Speicher ( $> 0,3 \text{ Mio. m}^3$ ) beträgt 4.120 Mio. m<sup>3</sup>, wobei ca. 2.400 Mio. m<sup>3</sup> zumindest teilweise der Niedrigwasseraufhöhung dienen (IKSE, 2001, 2012). Hervorzuheben sind die Moldaukaskade (1.350 Mio. m<sup>3</sup> Gesamtstauraum) sowie die Talsperre Nechanice (270 Mio. m<sup>3</sup>) an der Eger (Ohře), die seit den 1950/60er Jahren in Betrieb sind. Dagegen waren die 1921 vorhandenen Stauräume (ca. 220 Mio. m<sup>3</sup>) gering, was insbesondere bei der Bewertung der Niedrigwasserverhältnisse an den oberen deutschen Elbepegeln (z. B. Dresden) zu beachten ist.

Die Talsperren im Odergebiet (jeweils mit  $> 5 \text{ Mio. m}^3$  Stauraum) haben heute einen Gesamtstauraum von ca. 1.100 Mio. m<sup>3</sup> (ca. 640 Mio. m<sup>3</sup> zumindest teilweise der Niedrigwasseraufhöhung dienend, IKSO, 2015). Im Jahr 1921 waren nach BACHMANN (1927) und POVODI LABE (2017) hingegen erst Talsperren mit insgesamt ca. 100 Mio. m<sup>3</sup> Stauraum in Betrieb, überwiegend zum Hochwasserschutz oder Kraftwerksbetrieb. Im Jahr 1921 gab es an der Oder somit deutlich schwächere Talsperreneinflüsse auf Niedrigwasser als heute.

Im Rhein-Einzugsgebiet beträgt die Summe des bewirtschafteten Speichervolumens derzeit ca. 3.240 Mio. m<sup>3</sup> (WILDENHAHN & KLAHOLZ, 1996; IKSR, 2018). Durch die Speicher in den Alpen (ca. 850 Mio. m<sup>3</sup>) wird im Sommer Wasser zurückgehalten, um es während der Niedrigwasserzeit im Winter zur Energieerzeugung wieder abzugeben. Winterliche Niedrigwasserdurchflüsse des Oberrheins (Pegel Basel) werden dadurch um 60 bis 120 m<sup>3</sup>/s erhöht (WEINGARTNER & PFISTER, 2007; BELZ et al., 2007; IKSR, 2018). Die weniger einheitliche Talsperrenbewirtschaftung im außeralpinen Bereich hat dagegen nur geringen Einfluss auf

die Niedrigwasserabflüsse des Rheins. Im Jahr 1921 gab es nennenswerte Stauräume nur in den Einzugsgebieten der Wupper (ca. 40 Mio. m<sup>3</sup>), der Ruhr (ca. 190 Mio. m<sup>3</sup>) sowie im Gebiet der Schweiz (ca. 55 Mio. m<sup>3</sup>) (BACHMANN, 1927; WILDENHAHN & KLAHOLZ, 1996), mit denen keine merkliche Niedrigwasseraufhöhung des Rheins bewirkt werden konnte.

Schließlich haben die im Donaugebiet oberhalb des Innzuflusses gelegenen Talsperren, die alle erst nach 1921 in Betrieb gingen, heute einen Gesamtstauraum von 375 Mio. m<sup>3</sup> (LAWA, 1998), wovon 172 Mio. m<sup>3</sup> (insbesondere 125 Mio. m<sup>3</sup> im Sylvensteinspeicher) zur Niedrigwasseraufhöhung beitragen. Deutlich mehr Stauraum bewirtschaftbarer Speicher ist mit ca. 900 Mio. m<sup>3</sup> gegenwärtig im Inn-Einzugsgebiet vorhanden (WOLF-SCHUMANN et al., 2013). Diese Speicher entstanden nach dem Jahr 1921, überwiegend in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts. Somit unterschied sich die Situation 1921 an der Donau von der heutigen, besonders unterhalb des Innzuflusses (Pegel Achleiten).

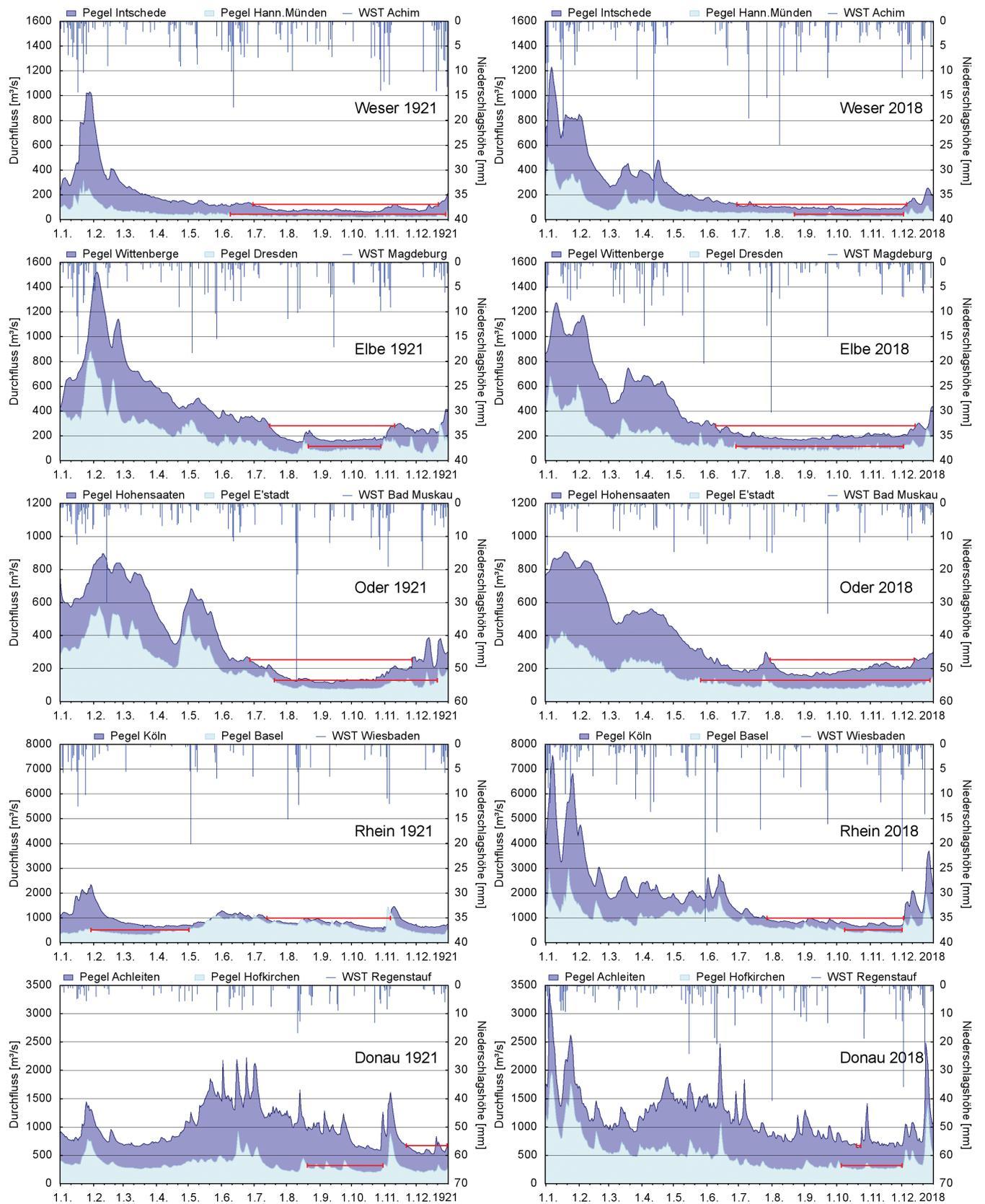
Zusammengefasst gab es im Jahr 1921 nur an der Weser bereits einen mit der Gegenwart vergleichbaren Einfluss einer größeren Talsperre auf die Niedrigwasserdurchflüsse. In den anderen großen Flussgebieten änderte sich die Situation in den folgenden Jahrzehnten durch den Bau zahlreicher Talsperren. Hervorzuheben ist der starke Einfluss der Moldaukaskade auf die Elbe.

### 2.4 Wasserführung und hydrologische Einordnung

Zur Analyse der Wasserführung der mitteleuropäischen Flüsse in den Jahren 1921, 2018 und weiteren Jahren wurden die täglichen Durchflüsse von je zwei wichtigen Pegeln ab dem Jahr 1901 untersucht (Datengrundlage WSV, 2021; Daten der Oderpegel erst ab November 1920). Infolge der warmen und trockenen Witterung ab Oktober 1920 kam es in den mitteleuropäischen Flussgebieten zu ausgeprägten und teils extremen Niedrigwasserphasen von jeweils mehreren Monaten Dauer. Auch wenn alle Flussgebiete betroffen waren, unterschieden sich die zeitlichen Abläufe. In Abbildung 5 werden für 1921 die Durchflussganglinien von je zwei Pegeln eines Flusses im Vergleich zum Jahr 2018 dargestellt. Ergänzend sind jeweils tägliche Niederschlagshöhen einer möglichst zentral gelegenen Wetterstation (DWD-CDC, 2020) enthalten. Zur Einordnung der Durchflussdynamik an den Pegeln dienen der mittlere jährliche Niedrigwasserabfluss bzw. -durchfluss (MNQ) und der mittlere jährliche Abfluss bzw. Durchfluss (MQ), jeweils im Zeitraum von 1961 bis 2020, dem Gesamtzeitraum der letzten beiden Klimareferenzperioden (Tab. 2).

Unterschiedliche Durchflussverhältnisse im Jahr 1921 sind zwischen den nördlichen Flussgebieten (Weser, Elbe, Oder) und den südlichen Flussgebieten des Rheins (Pegel Basel) und der Donau erkennbar. Am Rhein zeigt der Ganglinienvergleich für Basel und Köln als besonderes Phänomen, dass eine Abflussbildung im Zwischeneinzugsgebiet beider Pegel ab dem Spätwinter nahezu ausblieb, ergo die Wasserführung des Stoms von April bis November fast ausschließlich alpinen Ursprungs war.

In den nördlichen Flussgebieten ergaben sich bereits gegen Ende des Jahres 1920 Niedrigwasserlagen, die sich ostwärts abschwächten. Dabei wurde der MNQ an der Weser anhaltend unterschritten, während er an der Oder nur kurzzeitig oder annähernd erreicht wurde. In den folgenden Wintermonaten kam es in allen drei Flussgebieten wieder zu ansteigenden Durchflüssen (Abb. 5). An Elbe und Weser wurden dabei Durchflüsse bis



**Abbildung 5**  
 Tägliche Durchflussganglinien der Jahre 1921 und 2018 an je zwei Pegeln der betrachteten Flüsse mit maxD (max. ununterbrochene Unterschreitungsdauern im Jahr, siehe Text) als rote Linien auf MNQ-Niveau sowie Niederschlagshöhen ausgewählter Wetterstationen (WST).  
 Daily discharge hydrographs for the years 1921 and 2018 at each two selected gauges of the investigated rivers with maxD (maximum uninterrupted duration of undershoot during the year, see text) as red lines at the level of the mean annual minimum discharge as well as precipitation depths at selected weather stations (WST).

**Tabelle 2**

Ausgewählte Pegel mit Einzugsgebiet sowie mittlerem jährlichen Durchfluss (MQ) und mittlerem jährlichen Niedrigwasserdurchfluss (MNQ) im Zeitraum von 1961 bis 2020.

*Selected gauges with catchment area, mean annual discharge (MQ) and mean annual minimum discharge (MNQ) of the period from 1961 to 2020.*

Pegel	Gewässer	Einzugsgebiet [km <sup>2</sup> ]	MQ [m <sup>3</sup> /s]	MNQ [m <sup>3</sup> /s]
Hann. Münden	Weser	12.444	113	41,1
Intschede	Weser	37.720	314	121
Dresden	Elbe	53.096	320	114
Wittenberge	Elbe	123.532	679	279
Eisenhüttenstadt	Oder	52.033	294	129
Hohensaaten	Oder	109.567	515	252
Basel	Rhein	35.897	1.060	511
Köln	Rhein	144.232	2.140	982
Hofkirchen	Donau	47.496	636	315
Achleiten	Donau	76.660	1.400	668

zur zwei- bis dreifachen Höhe des MQ erreicht, an der Oder nur knapp 2MQ, jedoch folgte hier eine zweite Welle im April bzw. Mai. In der Folge kam es bei erneut anhaltend trockenen und sommerlichen Witterungsperioden zu mehr oder weniger kontinuierlichen Durchflussrückgängen (auf 50 bis 70 % des MNQ im August) sowie anschließend zu einem Verharren auf geringem Niveau bzw. an der Weser nur noch zu einem verlangsamten weiteren Durchflussrückgang. Erst gegen Ende des Jahres entspannten sich die Niedrigwasserlagen allmählich (Abb. 5), bevor es ab Januar 1922 zu deutlicheren Durchflussanstiegen kam. Damit zeigte das Jahr 1921 in diesen Flüssen einen im Grundsatz ähnlichen Verlauf wie 2018.

Im südlichen Teilgebiet des Rheins (bis Pegel Basel) und im Donauebiet war das Niedrigwasser im Herbst 1920 intensiver ausgeprägt mit einem Durchflussniveau zwischen 65 und 80 % des MNQ. Eine winterliche Erholung war nur schwach bzw. fand kaum statt (Pegel Basel, Abb. 5), sodass es im trockenen Spätwinter erneut Niedrigwasser gab. Die dabei erreichten Durchflüsse waren am Pegel Basel noch kleiner als im vorangehenden Herbst (ca. 60 % des MNQ). Etwas stärker gegenüber dem Herbst erholte sich die Donau, wo die Durchflüsse nur auf 80 % von MNQ (Pegel Hofkirchen) oder MNQ (Pegel Achleiten) zurückgingen. Im Frühjahr kam es an der Donau, besonders unterhalb des Innzuflusses, und am Rheinpegel Basel bis Anfang Juli trotz des sehr überwiegenden Auftretens von niederschlagsarmen GWL zu einem allmählichen Durchflussanstieg, offenbar maßgeblich durch glaziales und nivales Schmelzwasser. Gegen Ende dieses Anstiegs traten v. a. an der Donau (besonders in Achleiten) einzelne Durchflussspitzen auf, die auf kurze regional begrenzte Regenereignisse im Alpenraum zurückzuführen sind und keinen nachhaltigen Durchflussanstieg in Donau und Rhein bewirkten. Auch während des mit dem anhaltenden Auftreten niederschlagsarmer GWL ab Juli einsetzenden und sich bis zum Herbst fortsetzenden Durchflussrückgangs kam es an Rhein und Donau immer wieder zu kleineren Durchflussspitzen (v. a. Anfang November), die dem Rückgang zeitweise entgegenwirkten und ihn insgesamt abschwächten. Dennoch wurden im Herbst 1921 wieder ähnliche Niedrigwasserdurchflüsse wie im Frühjahr und im vorangegangenen Herbst erreicht (60 bis 80 % des MNQ).

Insbesondere wegen des Einflusses der südlichen Flussgebietsanteile unterschieden sich die Durchflussverhältnisse im

Niedrigwasserjahr 1921 an Rhein und Donau von denen des Jahres 2018, in dem nach feuchterem Frühjahr ein regelmäßiger Durchflussrückgang bis in den Herbst zu beobachten war. Im Jahr 1921 dagegen führten die anzunehmenden Beiträge glazialer und nivaler Komponenten alpiner Abflussregimes im späten Frühjahr bzw. Frühsommer zur Unterbrechung der Niedrigwasserphase. In einem wärmeren Klima dürfte sich der Einfluss dieser Komponenten abschwächen (STAHL et al., 2017).

Vor dem Hintergrund der teilweise unterschiedlichen Entwicklung des Niedrigwassers in den Jahren 1921 und 2018 boten sich am Rhein in beiden Jahren kuriose Bilder. So führten außergewöhnlich niedrige Wasserstände im Frühjahr 1921 dazu, dass die Burg Pfalzgrafenstein in der Flussmitte bei Kaub trockenen Fußes vom Ufer aus zu erreichen war (SASSENFELD, 1923). Ebenfalls am Mittelrhein, aber im Oktober 2018, war der Mäuseturm bei Bingen zu Fuß über trockengefallene Kies- und Schotterbänke begehbar (Abb. 6).



**Abbildung 6**

Spaziergang am 21. Oktober 2018 zum Binger Mäuseturm am Mittelrhein (Foto: K. Wendling).

*Walk on Oct. 21, 2018 to the Mäuseturm of Bingen on the Middle Rhine river (photo: K. Wendling).*

Um die Niedrigwasserjahre 1921 und 2018 langfristig einzuordnen, wurden Serien folgender Niedrigwasserkenngrößen gebildet, die sich auf die Kalenderjahre 1901 bis 2020 beziehen.

- NM7Q [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]: niedrigster über sieben Tage gemittelter Durchfluss pro Jahr.
- sumD [Tage]: Summe aller Unterschreitungsdauern des Schwellenwerts MNQ pro Jahr.
- maxD [Tage]: maximale ununterbrochene Unterschreitungsdauer von MNQ pro Jahr. Kurzzeitig unterbrochene Unterschreitungsphasen wurden durch ein Pooling mithilfe der Referenzgröße der gleitenden 10-tägigen Mittelwerte des Durchflusses vereinigt, sofern die gleitenden Mittelwerte während der gesamten Unterbrechung kleiner als MNQ blieben.

Zur bestmöglichen Gewährleistung der Unabhängigkeit der Kenngrößen bei über den Jahreswechsel hinausgehenden Niedrigwasserphasen gelten folgende Regeln: NM7Q-Werte werden für das betreffende Jahr beibehalten, wenn sie der niedrigste Wert dieser Phase sind oder von diesem durch einen Durchflussscheitel  $> \text{MNQ}$  getrennt sind. Andernfalls werden sie durch den nächstgrößeren unabhängigen NM7Q-Kandidaten aus dem betreffenden Jahr ersetzt. Die Kenngröße maxD wurde ggf. dem Jahr mit dem größeren Daueranteil der Unterschreitungsphase zugeordnet. Die Kenngröße sumD resultiert nur aus Tagen im jeweiligen Kalenderjahr.

Ferner wurden Streudiagramme der Serien "NM7Q vs. maxD" (Abb. 7) und "NM7Q vs. sumD" (Abb. 8) jeweils für den Zeitraum 1901 bis 2020 erstellt, in denen die Jahre 1921 und 2018 (sowie weitere Jahre mit stark ausgeprägtem Niedrigwasser) bezeichnet sind. Mit Kreuzen markiert sind Jahre, in denen extreme Werte (v. a. NM7Q) vermutlich durch eisbedingten Rückstau im Gewässernetz beeinflusst wurden und daher gesondert zu bewerten sind. Diese Einstufung erfolgte nach Untersuchung der Durchflussganglinie und verfügbarer Temperaturdaten (KACHELMANNWETTER, 2021). An der Elbe und der Weser wurden auch unterschiedliche Einflüsse von Talsperren berücksichtigt, da sich stark veränderte Einflüsse (Inbetriebnahmen der Moldaukaskade und der Edertalsperre) zeitlich relativ gut abgrenzen ließen, während sie in den anderen Flussgebieten mit einer Vielzahl von Zwischenzuständen allmählicher hinzukamen (Kap. 2.3). Zu erwähnen sind schließlich Streueffekte beim Auftreten jahresübergreifender Niedrigwasserphasen, da die verschiedenen Kenngrößen bei den gewählten (oder auch alternativ denkbaren) Zuordnungsregeln nicht immer der gleichen Phase entstammen.

An der Weser ist mit der Inbetriebnahme der Edertalsperre im Jahr 1914 kein wesentlicher Effekt anhand des Streuverhaltens der Wertepaare in den Abbildungen 7 und 8 erkennbar, sodass das Jahr 1921 pauschal gegenüber dem Gesamtzeitraum ab 1901 eingeordnet wird. Dabei verdeutlichen die Streudiagramme die extreme Ausprägung des Jahres 1921 sowohl hinsichtlich der erreichten Niedrigwasserdurchflüsse (Rang 2 der NM7Q an den Pegeln Hann. Münden und Intschede) als auch hinsichtlich der Dauer unterhalb von MNQ (Rang 1 der sumD beider Pegel sowie der maxD von Hann. Münden, Rang 2 der maxD von Intschede). Eine herausragende Stellung, unter anderem im Vergleich zum

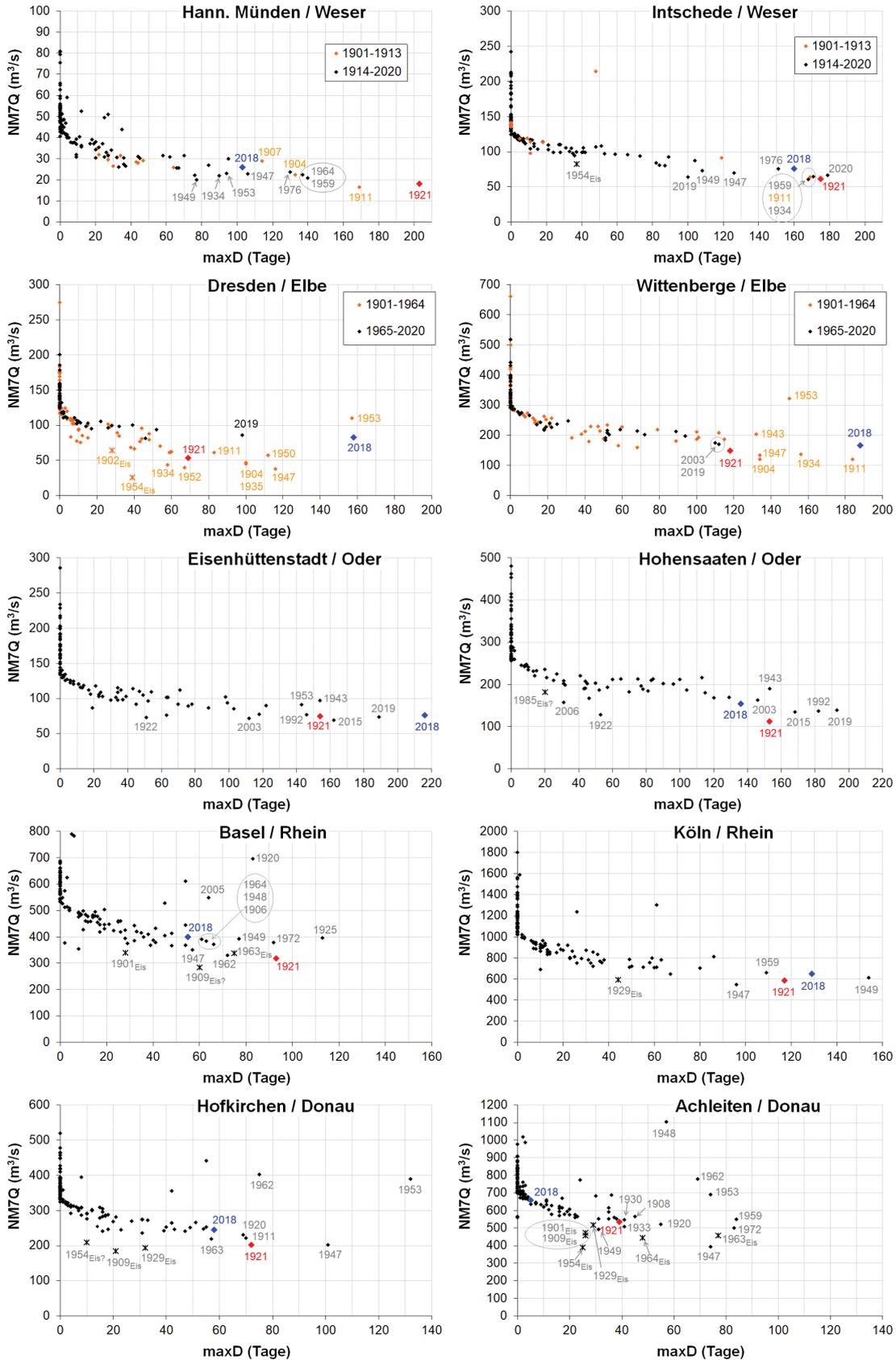
Jahr 2018, nehmen die Dauerkenngößen des Jahres 1921, insbesondere am Pegel Hann. Münden ein.

Gegenüber der Weser ist an der Elbe, besonders am Pegel Dresden, ein Einfluss der Talsperren in den Abbildungen 7 und 8 nachvollziehbar (unterschiedliche NM7Q bei ähnlichen Dauerkenngößen). Daher ist das Jahr 1921 den Serien 1901 bis 1964 (vor Fertigstellung der Moldaukaskade) zuzuordnen. In diesen Serien nimmt das Niedrigwasser 1921 an den Pegeln Dresden und Wittenberge für NM7Q die Ränge 5 und 6 ein (ohne eisbeeinflusstes Niedrigwasser 1954), für maxD jeweils den Rang 7. Bei sumD erreicht das Jahr 1921 aufgrund weiterer Unterschreitungstage im Zuge der nur allmählichen Erholung im Herbst Rang 5 in Dresden und Rang 3 in Wittenberge. Das Jahr 2018 rangiert bei sumD und maxD trotz stärkerem Talsperreneinfluss und besonders in Dresden höherem NM7Q noch vor dem Jahr 1921. Insgesamt war 1921 an der Elbe ein stark ausgeprägtes, jedoch kein ausgesprochen extremes Niedrigwasserjahr.

An der Oder traten 1921 extreme Niedrigwasserdurchflüsse auf. So liegt der NM7Q 1921 am Pegel Eisenhüttenstadt auf Rang 5 der kleinsten NM7Q von 1921 bis 2020 und ist am Pegel Hohensaaten der deutlich kleinste Wert (NM7Q 2018 jeweils Rang 6). Auch bei maxD (beide Pegel) und sumD (nur Hohensaaten) gehört 1921 zu den vier bis fünf Jahren mit den längsten Durchflussdauern unter MNQ. Somit zählt das Niedrigwasserjahr 1921 an der Oder, besonders am unteren Pegel Hohensaaten, zu den extremsten Jahren seit Beginn der Messreihe im Jahr 1920. Im Jahr 2018 traten am Pegel Hohensaaten ähnliche Dauern (sumD und maxD) wie 1921 auf, während die Dauern am Pegel Eisenhüttenstadt trotz heute stärkerem Talsperreneinfluss die längsten aller Jahre ab 1921 waren.

Am Rhein hatte der Verlauf des Niedrigwasserjahres 1921 eine andere Charakteristik als an Weser, Elbe und Oder, insbesondere durch die Unterbrechung der Niedrigwasserphase im Sommer. Trotzdem ergaben sich extreme Niedrigwasserdurchflüsse. So nimmt der NM7Q 1921 am Pegel Köln den zweiten und am Pegel Basel (ohne den eisbeeinflussten Wert von 1909) den ersten Rang ein. Auch die maxD 1921 liegen mit Rang 3 bzw. 2 weit vorne. Der weitaus extremste Charakter ergibt sich jedoch bei sumD, da die getrennten Unterschreitungsphasen hier addiert werden. Bei sumD übertrifft 1921 alle anderen Jahre sowohl in Basel als auch in Köln bei weitem. Ferner zu beachten ist die ausgeprägte Niedrigwasserphase im Herbst 1920. Im Vergleich zu 2018 fällt das Jahr 1921 in Basel für alle hier betrachteten Kenngrößen deutlich extremer aus, in Köln nur für sumD. Dabei hat das Jahr 2018 in Köln ebenfalls extreme Eigenschaften und belegt die Ränge 2 (maxD) bzw. 4 (sumD sowie NM7Q unter Ausschluss des eisbeeinflussten Jahres 1929). Am Pegel Basel gehört das Jahr 2018 keineswegs zu den am stärksten ausgeprägten Niedrigwasserjahren, wobei sich dies aufgrund der herbstlichen Niedrigwasserphase nicht durch den Einfluss der alpinen Speicherbewirtschaftung erklären lässt (Kap. 2.3).

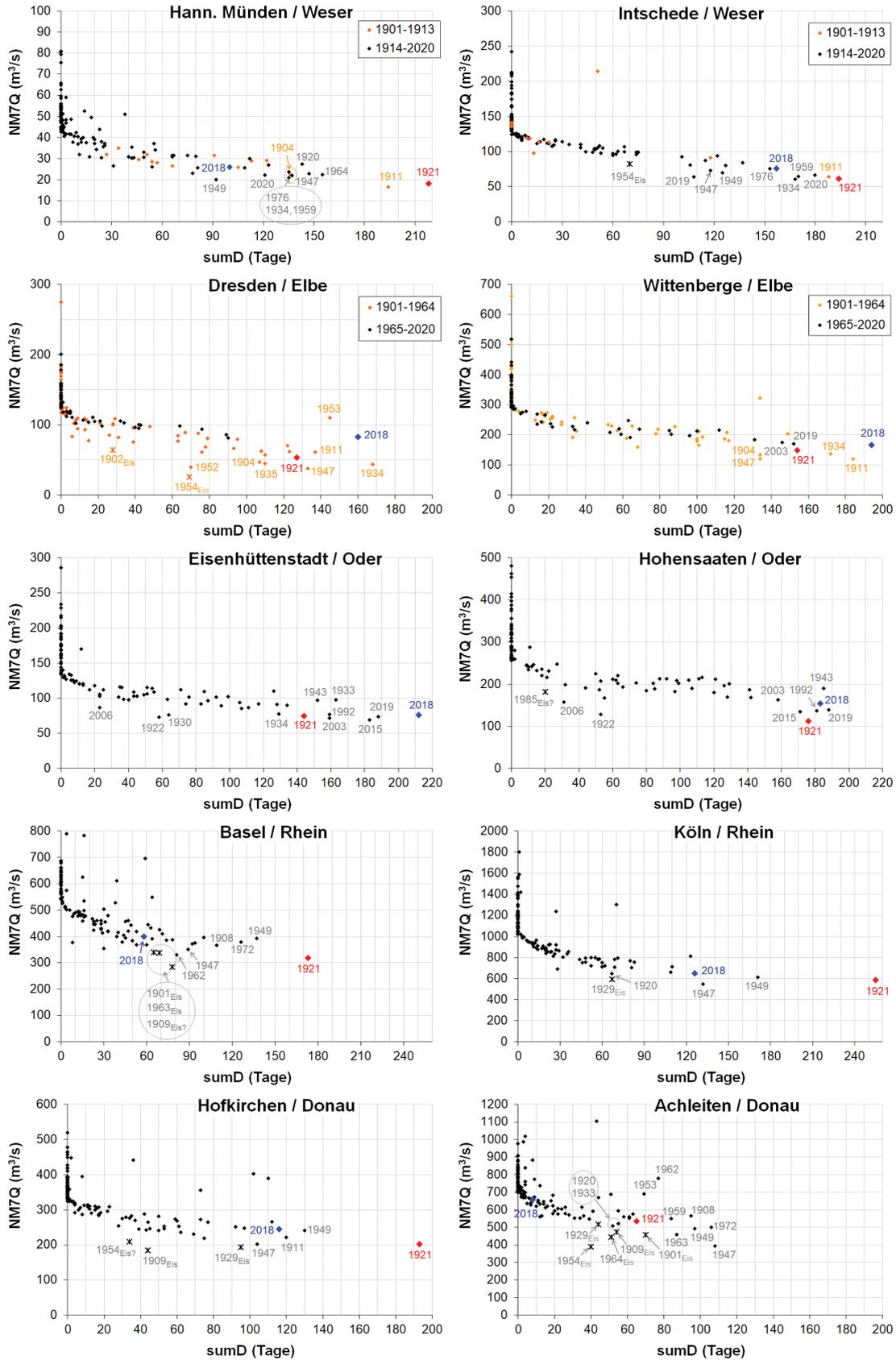
Am Donauegel Hofkirchen ergibt sich langfristig eine ähnliche Einordnung des Niedrigwasserjahres 1921 wie am Rheinpegel Basel. So nimmt es sowohl in der NM7Q- als auch (sehr deutlich) in der sumD-Serie jeweils den ersten Rang ein, wobei für NM7Q die eisbeeinflussten Jahre 1929 und 1909 ausgeschlossen werden. Durch die Unterbrechung der Niedrigwasserphase im Frühjahr und zu Beginn des Sommers nimmt maxD nur den vierten



**Abbildung 7**

Niedrigwasserkenngrößen NM7Q vs. maxD (s. Text) der Jahre 1901 bis 2020 für die genannten Pegel und Flüsse. Jahre mit extremen Ausprägungen sind gekennzeichnet, bei vermutlichem Eiseinfluss durch ein Kreuz.

*Low-flow indices NM7Q vs. maxD in the period 1901-2020 for the mentioned gauges and rivers. Years with extreme values are marked, in cases of a likely ice influence by a cross.*



**Abbildung 8**

Niedrigwasserkenngößen NM7Q vs. sumD (s. Text) der Jahre 1901 bis 2020 für die genannten Pegel und Flüsse. Jahre mit extremen Ausprägungen sind gekennzeichnet, bei vermutlichem Eiseinfluss durch ein Kreuz.  
 Low-flow indices NM7Q vs. sumD in the period 1901-2020 for the mentioned gauges and rivers. Years with extreme values are marked, in cases of a likely ice influence by a cross.

Rang ein. Insgesamt war das Jahr 1921 in Hofkirchen deutlich extremer als das Jahr 2018, das nur bei sumD den vierten Rang und bei NM7Q und maxD keinen vorderen Rang belegt. Zu diesem Unterschied zwischen 1921 und 2018 trugen die heute vorhandenen Talsperren bei, jedoch gegenüber dem Einfluss der über viele Monate trockenen Witterung im Jahr 1921 nicht in entscheidendem Maße (Kap. 2.3; BLFU, 2021). Weniger extrem ist die Einordnung des Jahres 1921 am Pegel Achleiten. Hier ergaben sich Ränge zwischen 7 (NM7Q, eisbeeinflusste Werte ausgeschlossen) und 13 (maxD). Die Gründe liegen in der v. a. durch den Innzufluss bedingten Unterbrechung der Niedrigwasserphasen (Abb. 5). Andererseits ist für beide Donauegel zu erwähnen, dass sich auch Ende 1920 eine ausgeprägte Niedrigwasserphase ereignete. Das Jahr 2018 war am Pegel Achleiten hingegen unauffällig.

Die Abbildungen 7 und 8 verdeutlichen, dass in den Jahren 1921 und 2018 jeweils alle (fünf) großen deutschen Flussgebiete von extremen Niedrigwasserlagen betroffen waren. Es zeigt sich zudem, dass auch in anderen Jahren extreme, über mehrere Flussgebiete ausgedehnte Niedrigwasserlagen auftraten. Hervorzuheben sind die Niedrigwasserjahre 1911, 1934, 1949 und 1959 mit jeweils drei sowie insbesondere das Niedrigwasserjahr 1947 mit vier betroffenen Flussgebieten. Bekannte Niedrigwasserjahre aus der jüngeren Vergangenheit (2003, 2015, 2019) waren räumlich weniger stark ausgeprägt.

### 3 Wasserbeschaffenheit

#### 3.1 Wassertemperatur

Nach FORSTER (1894) spiegelt im Großen und Ganzen der jährliche Gang der Temperatur eines fließenden Gewässers den Gang der Lufttemperatur wider. Der Tagesgang der Wassertemperatur in Flüssen liegt aufgrund der hohen Wärmekapazität des Wassers meist innerhalb der täglichen Schwankung der Lufttemperatur (Eistage ausgenommen). Hohe Wassertemperaturen sind daher in Mitteleuropa in den Monaten Juni, Juli und August erwartbar. Niedrigwasser begünstigt die Erwärmung des Wassers, ist jedoch nicht der bestimmende Einflussfaktor (SCHWANDT et al., 2019). Die Gleichzeitigkeit von Niedrigwasserverhältnissen und den

höchsten Wassertemperaturen wird nachfolgend für die Jahre 1921 und 2018 an Messstellen von Rhein, Donau und Elbe geprüft (Tab. 3). Für Weser und Oder lagen keine vergleichbaren Datensätze vor. Es ist zu berücksichtigen, dass die Wassertemperatur auch durch Einleitung von Abwasser, insbesondere von Kühlwasser thermischer Kraftwerke sowie durch flussbauliche Maßnahmen wie den Bau von Staustufen, erheblich beeinflusst wird (WEBB & NOBILIS, 1995; ZAVARSKY & DÜSTER, 2020).

Die Aufgabe von Messstellen bzw. die Beendigung der Publikation von Messdaten bedingten bei der Zusammenstellung in Tabelle 3 in einigen Fällen die Nutzung nahegelegener Messstellen:

- Karlsruhe/Maxau: 1921 am Pegel Maxau (Rhein-km 362,3) (LFG, 1943; BWS, 1933), 2018 an der Gütemessstation Karlsruhe (Rhein-km 359,2) (LUBW, 2020)
- Düsseldorf: 1921 am Wasserwerk Düsseldorf-Flehe (Rhein-km 731,4) werktäglich, 2018 Messboje am Kraftwerk Düsseldorf-Lausward (Rhein-km 739,5) (STADTWERKE DÜSSELDORF, 1921, 2021)
- Lobith: 1921 am Pegel Lobith (Rhein-km 862,2), 2018 an der Messstelle Lobith Haven (Rhein-km 863,9) (RIJKSWATERSTAAT, 2020)
- Linz: 1921 und 2018 am Pegel Linz (Donau-km 2135,2) (VIA DONAU, 2020)
- Dresden: 1921 am Wasserwerk Saloppe (Elbe-km 51,9 rechtes Ufer) (STADT DRESDEN, 1922), 2018 am Pegel Dresden (Elbe-km 55,6 linkes Ufer) (WSV, 2021).

Für 2018 wurde aus den vorliegenden kontinuierlichen Messungen der Messwert zur korrespondierenden Messzeit im Jahr 1921 herangezogen.

An allen betrachteten Messstellen waren der höchste Tageswert und das größte Monatsmittel der Wassertemperatur im Jahr 2018

**Tabelle 3**  
 Maximale Wassertemperaturen (Tageswerte/Monatsmittel) in Grad Celsius für die Jahre 1921 und 2018 in Rhein, Donau und Elbe an ausgewählten Messstellen (HT = Tageswert zur Messzeit, MT = Monatsmittel aus Tageswerten; Quellenangaben siehe Text).  
*Maximum water temperature (scheduled measurements/monthly mean) in degrees Celsius for 1921 and 2018 in Rhine, Danube and Elbe on selected measuring points (HT = daily value at scheduled time, MT = monthly mean from daily values; references see text).*

Fluss	Messstelle		1921	Messzeit	2018	Messzeit
Rhein	Karlsruhe/Maxau	HT	23,5 (Juli öfter)	7 – 8 Uhr	26,3 (08.08./09.08.)	7 Uhr
		MT	20,5 (Juli)		24,7 (August)	
	Düsseldorf	HT	25,0 (29.07.)	?	26,8 (04.08.)	9 Uhr
		MT	21,9 (Juli)		24,2 (Juli)	
	Lobith	HT	23,8 (29.07.)	8 Uhr	26,2 (28.07.)	8 Uhr
		MT	21,1 (Juli)		23,7 (Juli)	
Donau	Linz	HT	19,5 (29.07.)	10 Uhr	23,1 (08.08.)	10 Uhr
		MT	17,6 (Juli)		20,8 (August)	
Elbe	Dresden	HT	23,9 (August)	6 Uhr	26,9 (02.08.)	6 Uhr
		MT	19,7 (August)		23,2 (August)	

\*) keine Angabe; Vermutung anhand der angegebenen Lufttemperatur: ca. 9 Uhr

höher als 1921. Dies wird vor allem den 2018 gegenüber 1921 höheren Lufttemperaturen (Abb. 4) und insbesondere am Rhein auch höheren Kühlwassereinleitungen (ZAVARSKY & DÜSTER, 2020) zugeschrieben.

Am Rhein in Karlsruhe-Maxau, Düsseldorf und Lobith wies der Juli 1921 das höchste Monatsmittel und den Tag mit der höchsten Wassertemperatur zur Messzeit auf. Im Jahr 2018 war es in Lobith wiederum der Juli, jedoch der August an der Gütemessstation Karlsruhe. In Düsseldorf lag 2018 der Tag mit der höchsten Wassertemperatur im August, jedoch hatte der Juli 2018 das höchste Monatsmittel der Wassertemperatur. Die hohen Wassertemperaturen waren zwar bei niedriger Wasserführung, jedoch nicht in den Phasen extrem niedriger Durchflüsse (Abb. 5) zu beobachten.

Auch am Pegel Linz an der österreichischen Donau traten der Tag mit der höchsten Wassertemperatur und das höchste Monatsmittel im Juli 1921 bzw. im August 2018 nicht gleichzeitig mit der niedrigsten Wasserführung (typischerweise im Spätherbst und Winter) auf.

An der Elbe in Dresden lagen 1921 sowohl der Tag mit der höchsten Wassertemperatur, das höchste Monatsmittel der Wassertemperatur als auch die niedrigste Wasserführung des Jahres im August. Im Jahr 2018 wurden der Tag mit der höchsten Wassertemperatur und das höchste Monatsmittel wiederum bei sehr niedriger Wasserführung im August registriert (HÜBNER & SCHWANDT, 2020b), das NM7Q aber im September. Gegenüber dem Zustand im Jahr 1921 ist für das Jahr 2018 unter anderem der in den 1930er Jahren erfolgte weitere Ausbau von Stautufen im tschechischen Abschnitt der Elbe (IKSE, 2005) als erwärmungsfördernd zu betrachten.

Ein Abflussregime mit sommerlichen nivalen und glazialen Schmelzwasserbeiträgen aus (alpinen) Hochlagen verhinderte an den betrachteten Messstellen an Rhein und Donau das Zusammentreffen von Niedrigwasser und hohen Wassertemperaturen. Die Elbe mit lediglich Mittelgebirgen im Einzugsgebiet führt dagegen häufiger schon ab Juli Niedrigwasser bei gleichzeitig hohen Wassertemperaturen.

### 3.2 Wasseranalysen und Belastungssituation

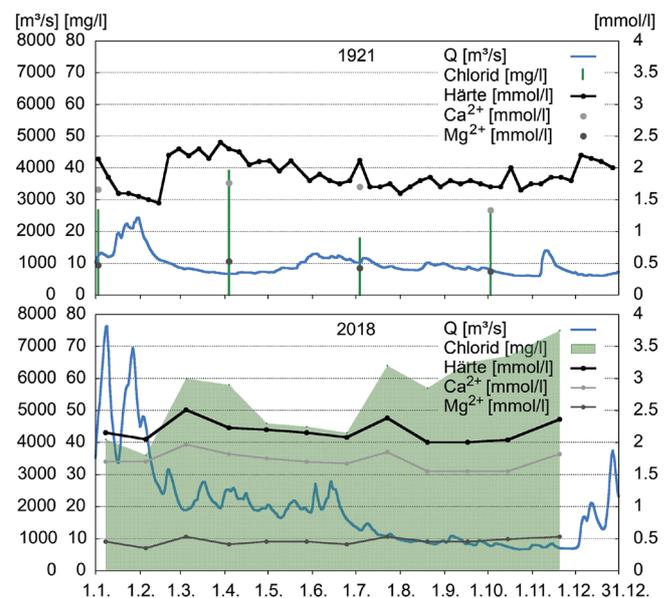
Die Wasserbeschaffenheit ist in Niedrigwasserphasen generell durch weniger Verdünnungswasser und eine Aufkonzentration löslicher Substanzen geprägt. Dadurch wird die stoffliche Belastungssituation aus geogenem Hintergrund und anthropogenen Einträgen erhöht, sofern letztere unverändert bleiben.

Anfang des 20. Jahrhunderts wurde eine überschaubare Kenngrößenzahl zur Charakterisierung der Wasserbelastung durch Salze (vor allem Natriumchlorid), Härtebildner (Calcium und Magnesium), leicht abbaubare organische Substanz (Kaliumpermanganatverbrauch [KPMV]) sowie durch Sauerstoffmangel (Sauerstoffgehalt) untersucht, flankiert von summarischen Kenngrößen wie Abdampfdruckstand und Glühverlust. Ein Teil dieser Kenngrößen wird im Rahmen des Gewässergütemonitorings auch heute noch gemessen und hier für vergleichende Betrachtungen genutzt. Zur Donau konnten für das Jahr 1921 keine Messreihen chemischer Kenngrößen recherchiert werden.

#### 3.2.1 Rhein

Im Wasserwerk Düsseldorf-Flehe erfolgten 1921 wöchentliche Analysen der Wasserhärte und des KPMVs sowie alle drei Monate eine umfangreiche chemische Analyse des Rheinwassers (zusätzlich u. a. Calcium-, Magnesium- und Chloridkonzentration) (STADTWERKE DÜSSELDORF, 1921). Das Monitoring der Rheinmessstelle Düsseldorf-Flehe, u. a. zu Chlorid und Härte, erfolgte im Jahr 2018 in annähernd monatlichem Turnus (LAND NRW, 2021). Für Härte und Chlorid zeigt sich 1921 ein weitgehend inverser Zusammenhang zur Wasserführung (Abb. 9). Dieser ist auch im Sommer und Herbst 2018 für Chlorid deutlich ausgeprägt, bei der Härte jedoch nicht vorhanden. Das allgemeine Konzentrationsniveau von Chlorid lag 2018 höher als 1921. Der in STADTWERKE DÜSSELDORF (1921) ausgewiesene erhöhte KPMV in den Niedrigwasserphasen 1921 deutet auf eine erhebliche Belastung des Rheins mit sauerstoffzehrender, leicht abbaubarer organischer Substanz hin.

Mit der Erlaubnis zur Einleitung geklärter Abwässer in den Rhein wurde die Stadt Mannheim zu regelmäßigen Rheinwasseruntersuchungen von Mannheim bis Worms verpflichtet, die ab 1907 durch das Städtische Untersuchungsamt ausgeführt wurden (CANTZLER & SPLITTGERBER, 1916). Im Jahr 1921 fanden am 12. April und am 25. Oktober Probenahmen an insgesamt zwölf Entnahmestellen statt. Beide Termine fallen in ausgeprägte Niedrigwasserphasen, daher werden ausgewählte Ergebnisse bei Mannheim-Ludwigshafen und Worms aufgeführt (Tab. 4). Zwischen diesen beiden Messstellen erfolgten diverse Abwässereinleitungen (städtische Abwässer Ludwigshafen, Abwasser BASF, Mannheimer Kläranlage, Zellstofffabrik Waldhof) und der Zufluss des Neckars, der im Oktober 1921 ebenfalls extremes Niedrigwasser führte. Der Sauerstoffgehalt lag an allen zwölf



**Abbildung 9**

Chloridkonzentration und Wasserhärte des Rheins in Düsseldorf im Jahr 1921 (STADTWERKE DÜSSELDORF, 1921) und 2018 (LAND NRW, 2021) sowie Durchfluss am Pegel Düsseldorf. Chloride concentration and water hardness of the Rhine in Düsseldorf during 1921 (STADTWERKE DÜSSELDORF, 1921) and 2018 (LAND NRW, 2021) as well as discharge at the Düsseldorf gauge.

**Tabelle 4**

Untersuchungsergebnisse des Rheinwassers (Flussmitte) auf der Strecke von Mannheim bis Worms (STADT MANNHEIM, 1922).  
*Analytical results of water from the Rhine (midstream) on the route from Mannheim to Worms (STADT MANNHEIM, 1922).*

12.04.1921	Härte °dH [mmol/l]	Glühverlust mg/l	Chlorid mg/l	Kaliumpermanganatverbrauch mg/l
Oberhalb Rheinbrücke Ludwigshafen-Mannheim	9,8 [1,75]	46,4	11,5	22,7
Wasserentnahmestelle Worms	14,3 [2,55]	60,4	12,0	20,4
25.10.1921				
Oberhalb Rheinbrücke Ludwigshafen-Mannheim	9,0 [1,60]	45,0	10,0	13,2
Wasserentnahmestelle Worms	10,6 [1,89]	34,0	18,0	15,3

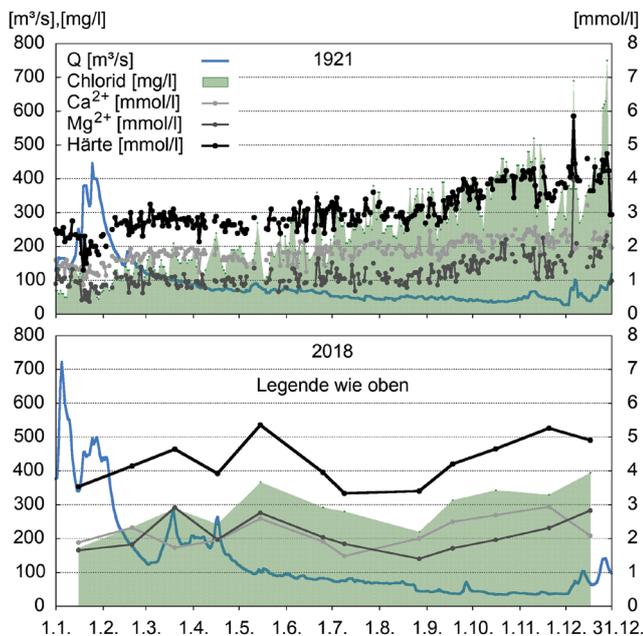
Messstellen oberhalb kritischer Werte. Die Zunahme der Härte und der Chloridkonzentration auf der Fließstrecke war sicherlich in erster Linie eine Folge der unmittelbaren Abwassereinleitungen in den Rhein. Der hohe Glühverlust am 12. April 1921 weist in Kombination mit dem KPMV auf eine Belastung durch leicht abbaubare organische Substanz hin.

**3.2.2 Weser**

Bei extrem niedriger Wasserführung im Sommer/Herbst 1921 kam es im Wesergebiet zu einem deutlichen Anstieg der Gewässerbelastung durch Einleitung salziger und harter Abwässer der Kali-Industrie. Die durchschnittliche Chloridkonzentration der Weser bei Hoya stieg von 266 mg/l im Juli 1921 auf 411 mg/l im Dezember. Der Mittelwert der Wasserhärte betrug dort im Juli 2,96 mmol/l (16,6 °dH) und im Dezember 4,12 mmol/l (23,1°dH). (AU HILDESHEIM, 1922). Aus den von Bremen initiierten Untersuchungen zum Schutz des aus der Weser entnommenen

Trinkwassers (TJADEN, 1922) wurden im Oktober 1921 an der Messstelle Dörverden (wenige Kilometer stromab von Hoya) für Chlorid und Härte in Spannweite und Mittelwert gut mit den vorgenannten Werten übereinstimmende Messergebnisse erzielt.

Trotz des verdünnenden Einflusses der Fulda und weiterer Weserzuflüsse wurden die vom Reichsgesundheitsrat festgelegten Grenzwerte für die Weser bei Dörverden (Chlorid: 171 mg/l; Härte: 16 °dH [2,85 mmol/l]) von Juli (Chlorid) bzw. von Mitte September (Härte) bis Ende Dezember 1921 dauerhaft überschritten (Abb. 10). Im ganzen Jahr 1921 traten Grenzwertüberschreitungen an 245 (Chlorid) bzw. 180 Tagen (Härte) auf (AU HILDESHEIM, 1922). An der Werra wurden die vom Reichsgesundheitsrat gesetzten Grenzen "in geradezu unerträglicher Weise überschritten" (TJADEN, 1922). Die höchste 1921 (Dezember) in der Werra in Hann. Münden gemessene Chloridkonzentration lag beim Fünffachen des Grenzwerts, bei der Härte wurde der Grenzwert um das Zweifache überschritten (BARCH, o. J.). Die leichte Erholung der Wasserführung Anfang und Ende Dezember 1921 wurde offensichtlich für die vermehrte Ableitung von Kaliabwässern genutzt und brachte Chlorid- und Härtespitzen in Werra und Weser. Die vom NLWKN (2021) in monatlichen Stichproben gemessenen Werte des Jahres 2018 in Abbildung 10 können hinsichtlich der Konzentrationsspitzen nicht mit den täglichen Werten von 1921 verglichen werden. Das Belastungsniveau mit Härtebildnern entsprach jedoch 2018 fast ganzjährig dem Niedrigwasserniveau von 1921. Bei Chlorid führte fehlendes Verdünnungswasser von September bis Dezember 2018 zu steigenden Konzentrationen. Das allgemeine Belastungsniveau der Weser ist auch für Chlorid im Jahr 2018 eher höher als niedriger als im Jahr 1921.

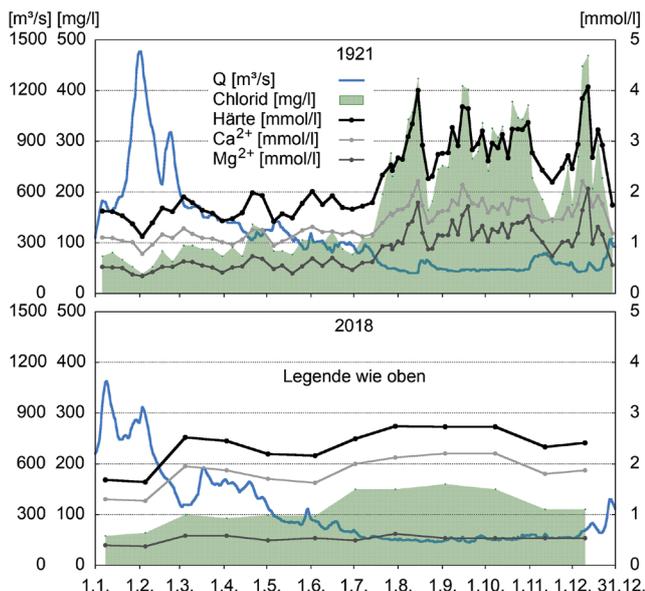


**Abbildung 10**

Chloridkonzentration und Wasserhärte der Weser im Jahr 1921 (Hoya, BARCH, o.J.) und 2018 (Drakenburg, NLWKN, 2021) sowie Durchfluss am Pegel Vlotho.  
*Chloride concentration and water hardness of the Weser during 1921 (Hoya, BARCH, without year) and 2018 (Drakenburg, NLWKN, 2021) as well as discharge at the Vlotho gauge.*

**3.2.3 Elbe**

Im Dresdner Wasserwerk Saloppe fand jedes Quartal eine umfangreiche Analyse des Elbewassers statt, jedoch nicht im August 1921 zur Zeit der niedrigsten Wasserführung. Die Analyse vom 26. September 1921 weist einen unkritischen Sauerstoffgehalt von 9,2 mg/l aus, bei einem relativ hohen Abdampfückstand von 264,4 mg/l und einem KPMV von 27,9 mg/l (DREWAG, 1921). Der hohe Abdampfückstand resultierte sicherlich auch aus Abwassereinleitungen der Cellulose-, Papier- und chemischen Fabriken in Pirna und Heidenau, wenige Kilometer oberhalb von Dresden. Eine dortige Elbe-Bereisung am 5. August 1921 durch die Landesstelle für öffentliche Gesundheitspflege hinterließ folgenden Eindruck: "Die Elbe bot an dieser Stelle zur Zeit der Besichtigung einen sehr unerfreulichen Eindruck, infolge des niederen Wasserstandes lagen viele Einflußrohre der Fabrikwasseranlagen frei und verschmutzten die Elbe in wesentlichem Maße. [...] Das ein-



**Abbildung 11**

Chloridkonzentration und Wasserhärte der Elbe in Magdeburg, rechtes Ufer im Jahr 1921 (STADT MAGDEBURG, 1921,1922) und 2018 (LHW SACHSEN-ANHALT, 2020) sowie Durchfluss am Pegel Magdeburg-Strombrücke. Chloride concentration and water hardness of the Elbe in Magdeburg, right river bank during 1921 (STADT MAGDEBURG, 1921,1922) and 2018 (LHW SACHSEN-ANHALT, 2020) as well as discharge at the Magdeburg-Strombrücke gauge.

fließende Abwasser erzeugte einen starken Schaum und es war ein ungefähr 8 m breiter Schaumstreifen entstanden, der sich kilometerweit am Ufer entlang zog." (HSTA, o. J.).

Da das Wasserwerk Magdeburg-Buckau Wasser direkt aus der Elbe am rechten Ufer entnahm, war die Untersuchungsfrequenz der chemischen Analysen recht hoch (bis zu neun Proben pro Monat für 1921 – STADT MAGDEBURG, 1921/1922). Im Jahr 2018 erfolgten durch das Land Sachsen-Anhalt monatliche Probenahmen am rechten Ufer der Elbe in Magdeburg (LHW SACHSEN-ANHALT, 2020).

Während der extremen Niedrigwasserphase im Sommer bzw. Herbst 1921 kam es vor allem durch die Abwässer der Kali- und Steinsalzindustrie im Saalegebiet zu einer starken Zunahme der Konzentration von Chlorid und Härtebildnern der Elbe in Magdeburg. Im Jahr 2018 war dieser Konzentrationsanstieg deutlich geringer und erreichte außer bei Calcium nicht das Konzentrationsniveau von 1921 (Abb. 11). Dies ist sicherlich auch der nach 1990 erfolgten Stilllegung von Kaliwerken zuzuschreiben. Gleichwohl war das Chlorid- und Härteniveau 2018 insgesamt noch recht hoch. Der linksseitige Zufluss der Saale oberhalb von Magdeburg bewirkt bekanntermaßen für Chlorid und Härte einen erheblichen Konzentrationsgradienten zwischen dem linken und rechten Ufer. Im Jahr 2018 wurden an der Messstelle Magdeburg links mit bis zu 520 mg/l Chlorid und 6,5 mmol/l Härte weit höhere Werte als am rechten Ufer gemessen (LHW SACHSEN-ANHALT, 2020; HÜBNER & SCHWANDT, 2020a/b).

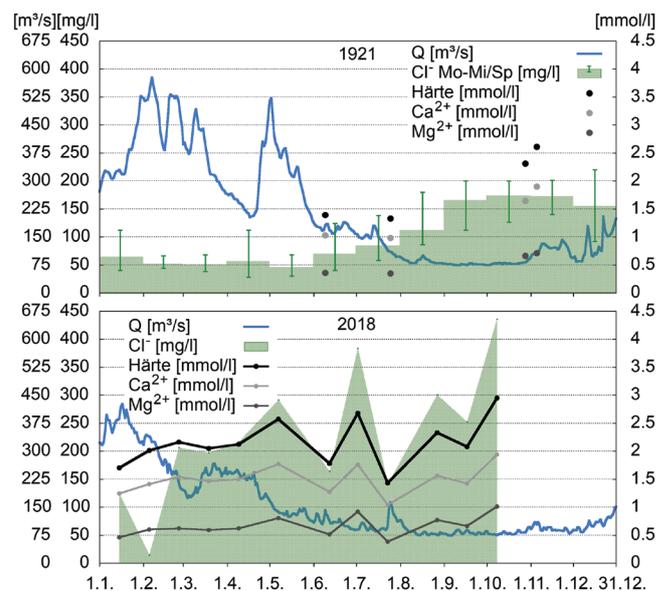
Von Ende Juli bis Weihnachten 1921 wurden am rechten Ufer in Magdeburg extrem hohe Werte für Abdampfdruckstand (bis

1.150 mg/l), Glühverlust (bis 175 mg/l) und KPMV (bis 52 mg/l) registriert, die mit der Zuckerrübenkampagne und entsprechend starken Einleitungen leicht abbaubarer organischer Substanz zeitlich gut übereinstimmen. Demgegenüber wurden dort 2018 maximal 55 mg/l abfiltrierbare Stoffe, organische Kohlenstoffgesamtgehalte (TOC) bis zu 9,3 mg/l sowie minimale Sauerstoffgehalte von 8,4 mg/l gemessen (LHW SACHSEN-ANHALT, 2020) – was auf weit geringere Konzentrationen leicht abbaubarer organischer Substanz als 1921 hinweist.

**3.2.4 Oder**

Analysen zur Wasserbeschaffenheit während des Niedrigwassers 1921 sind für die Oder in Wroclaw (Breslau) dokumentiert (LÜHRIG, 1924). Die Stadt Breslau hatte ein besonderes Interesse an der Reinhaltung des Oderwassers, da sie einen großen Teil ihres Trinkwassers aus Uferfiltration entlang des linken Oderufers bezog. In Abbildung 12 sind für das Jahr 1921 der Verlauf der mittleren monatlichen Chloridkonzentration, die Spannweite täglicher Chloridwerte sowie die Wasserführung (hilfsweise am Pegel Eisenhüttenstadt) dargestellt. Die mittlere Chloridkonzentration der Oder stieg von Mai bis September 1921 mit abnehmender Wasserführung stark an. Die höchsten Chlorid-Monatsmittelwerte traten jedoch im Oktober und November bei bereits wieder zunehmender Wasserführung auf. Höchstwerte von 200 mg/l Chlorid und darüber wurden von 1907 (Beginn der täglichen Messungen) bis 1924 in keinem anderen Jahr erreicht. Auch der Jahresdurchschnitt der Chlorid-Konzentration 1921 übertraf mit 100 mg/l alle anderen Jahre im vorgenannten Zeitraum (LÜHRIG, 1924).

Ergebnisse für weitere Kenngrößen liegen für 1921 nur als einzelne Stichproben vor. Die Proben vom 28. Oktober bzw. 5. November 1921 zeigen – gegenüber sonstigen Ergebnissen im



**Abbildung 12**

Chloridkonzentration und Wasserhärte der Oder in Breslau im Jahr 1921 (LÜHRIG, 1924) und 2018 (IKSO, 2021) sowie Durchfluss am Pegel Eisenhüttenstadt. Chloride concentration and water hardness of the Oder in Breslau 1921 (LÜHRIG, 1924) and 2018 (IKSO, 2021) as well as discharge at the Eisenhüttenstadt gauge.

Zeitraum 1918 bis 1924 – ein (sehr) hohes Niveau verschiedener Wasserinhaltsstoffe (z. B. Abdampfrückstand: 641 bzw. 642 mg/l, Glührückstand: 553 bzw. 548 mg/l, Glühverlust: 88 bzw. 94 mg/l, Calcium: 1,65 bzw. 1,90 mmol/l, Magnesium: 0,66 bzw. 0,71 mmol/l, KPMV: 42 bzw. 41 mg/l). Der sehr hohe Glührückstand weist in Verbindung mit der Schilderung einer bräunlich-gelben Wasserfärbung (LÜHRIG, 1924) auf reichlich Salze und Tonminerale im Wasser hin, der Glühverlust in Kombination mit dem hohen KPMV auf (leicht abbaubare) organische Substanz.

Im Jahr 2018 stieg die Chloridkonzentration (monatliche Stichproben bei Wrocław (Breslau) – IKSO, 2021) bei abnehmender Wasserführung stark an und erreichte ein höheres Konzentrationsniveau als 1921.

#### 4 Weitere Auswirkungen des Niedrigwassers

##### 4.1 Wasserversorgung

Probleme bei der Wasserversorgung im Trockenjahr 1921 traten im Rheingebiet in besonderer Schärfe auf: Die Ruhrtalsperren (Stauraum 191 Mio. m<sup>3</sup>) waren im Frühjahr 1921 nach schwacher Erholung von der Trockenheit im vorangehenden Herbst (Kap. 2.4) nur zu zwei Drittel gefüllt (Höchststand am 19. Februar) und erreichten ihren Tiefststand im Dezember 1921. Die Wasserversorgung im Ruhrgebiet konnte mit Mühe aufrechterhalten werden. Kritisch wurde eine Woche im Dezember bei scharfem Frost, als die Abgabe aus Staubecken im Oberlauf der Ruhr zurückgehalten wurde (LINK, 1922; OFFERGELD, 1922). Am 14. April 2018 hatten die Ruhrtalsperren einen Füllstand von 94 % des Gesamtstauinhalts (472 Mio. m<sup>3</sup>) erreicht, der durch die anhaltende Trockenheit der nachfolgenden Monate bis auf 43 % am 2. Dezember sank. Vorgeschriebene Mindestabflüsse an Pegeln wurden mit Ausnahmegenehmigungen temporär reduziert, die Wasserversorgung war jederzeit gewährleistet (RUHRVERBAND, 2019, 2020).

Die Stadt Barmen (Wuppertal) konnte 1921 nur durch starke Beanspruchung des alten Grundwasserwerks Volmarstein ein Versagen ihrer Wasserversorgung (überwiegend Talsperrenwasser) verhindern. Mit Einschränkungen des Wasserverbrauchs für Industrie und Haushalte (stundenweise Sperrung, Druckminderung im Leitungsnetz) wurde versucht, die Versorgung zu sichern (OFFERGELD, 1922). Die Trinkwassertalsperren des Wupperverbandes erreichten im Dezember 2018 ihr Jahresminimum, waren mit rund 40 Mio. m<sup>3</sup> jedoch noch besser gefüllt als im Oktober des Folgejahres 2019 (WUPPERVERBAND, 2020).

Bei den Uferfiltration nutzenden Wasserwerken am Niederrhein war je nach Entfernung der Brunnen vom Rhein eine schnelle oder langsame Beeinflussung des Grundwasserspiegels feststellbar. Das Minimum des Grundwasserspiegels wurde Ende 1921 bzw. Anfang 1922 erreicht. Der Wiederanstieg des Grundwassers auf normale Spiegelhöhe erfolgte beim Wasserwerk Bergisch-Gladbach (3,75 km Rheinentfernung) erst 16 bis 17 Monate nach dem tiefsten Rheinpegelstand (RUTSATZ, 1925).

##### 4.2 Schifffahrt

"Insgesamt ist das Jahr 1921 [...] das ungünstigste gewesen, das die Rheinschifffahrt je erlebt hat." konstatierte SCHLEICHERT (1922). Infolge des Niedrigwassers gelang es den großen Schleppkähnen selbst mit geringer Belastung höchstens bis in die Gegend von Oberwesel vorzudringen. Schon von Bornhofen ab war der Rhein mit ankernden Kähnen verstopft, die kilometerweit oft zu 15 bis 20 nebeneinander zum Leichtern lagen (BELLINGHAUSEN, 1922). Zahlreiche Schiffsunfälle machten zeitraubende und kostspielige Leichterungen notwendig und verursachten außerordentlich hohe Reparaturkosten. Hinzu kamen Kriegsnachwirkungen (Gebietsabtretungen, Abtretung eines Teils der Binnenschifffahrtsflotte gemäß Versailler Vertrag sowie die Rheinlandbesetzung), ein Streik der Maschinisten und Heizer im Juli 1921 und eine starke Konkurrenz durch günstige Eisenbahnfrachttarife (SCHLEICHERT, 1922). Der nach der Volksabstimmung in Oberschlesien 1921 ausgebrochene Polenaufrüstung brachte monatelang die Hütten- und Kohleindustrie – wichtige Auftraggeber der Oder-Frachtschifffahrt – zum Stillstand (FABIAN, 1927). Der starke Rückgang der Beförderungsleistung (Tab. 5) in Deutschland gegenüber 1920 ergibt sich vor allem aus Rückgängen im Rhein- und Odergebiet.

Während der langen Niedrigwasserphase 2018 konnten Schiffe auf dem Rhein streckenweise zwei Drittel weniger laden. Vermehrt waren Schiffe mit geringen Tiefgängen unterwegs. Deutliche Rückgänge der transportierten Gütermengen führten in der chemischen Industrie und bei der Versorgung mit Kraftstoffen zu Engpässen und Einschränkungen (WEINOLDT, 2019). Der Rückgang der Beförderungsleistung (Tab. 5) in Deutschland gegenüber 2017 resultierte vor allem aus Transportminderungen im Rheingebiet, wobei das Donaugebiet prozentual den stärksten Rückgang zu verzeichnen hatte. Durch Einbeziehung der Unterelbe und des Elbe-Seitenkanals in die statistische Betrachtung des Elbegebietes werden geringe Transportleistungen auf Ober- und Mittelelbe überdeckt. Eine direkte Vergleichbarkeit der Angaben in Tabelle 5 ist hinsichtlich des Betrachtungsraums,

**Tabelle 5**

Beförderungsleistung der Binnenschifffahrt (Güterverkehr) in Mrd. Tonnenkilometern für Deutschland in den jeweiligen Grenzen sowie für einzelne Flussgebiete in den Jahren 1921 (STATISTISCHES REICHSAMT, 1923) und 2018 (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2019) sowie den Vorjahren. *Service by inland waterway transport (cargo) in billion ton kilometers for Germany in the respective borders and for individual river basins during 1921 (STATISTISCHES REICHSAMT, 1923) and 2018 (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2019) and the previous years.*

Jahr	Deutschland	Rhein	Weser	Elbe	Oder	Donau
1920	11,4	6,32	0,15	1,53	1,57	0,03
1921	8,8 (- 22,8 % zu 1920)	5,16	0,14	1,39	0,56	0,02
2017	55,5	43,95	0,71	2,15	0,19	1,52
2018	46,9 (- 15,5 % zu 2017)	37,12	0,68	2,14	0,15	1,00

des Ausbaus der Wasserstraßen und der eingesetzten Schiffe jeweils nur mit dem Vorjahr gegeben.

## 5 Schlussfolgerungen

Nach dem bereits sehr niederschlagsarmen Herbst 1920 war das Kalenderjahr 1921 in weiten Teilen Europas außergewöhnlich trocken. Anhaltende niederschlagsarme Großwetterlagen dominierten im Jahr 1921 in Deutschland an 216 Tagen. An einigen Messstationen im Rhein- und Donaugebiet wurde 1921 der mit Abstand niedrigste Jahresniederschlag der gesamten Messreihe registriert. Die Trockenphasen verteilten sich zudem über das gesamte Jahr, betrafen mit Ausnahme des Januars auch die ersten Monate des Jahres und begrenzten damit, besonders an Donau und Rhein, die für eine Erholung des Wasserhaushalts wichtige Grundwasserneubildung. Die damit bereits zu Beginn des Jahres und noch stärker zu Beginn des Sommers vorhandenen Defizite im Wasserhaushalt der Flussgebiete wurden aufgrund anhaltend unterdurchschnittlicher Niederschläge auch im weiteren Jahresverlauf nicht kompensiert und verschärften sich weiter.

Im Vergleich dazu traten 2018 nach vorangehend feuchtem Winter – und damit einhergehender Grundwasserneubildung – trockene Wetterlagen weniger häufig (an 130 Tagen) und erst im Herbst vorrangig in längeren Phasen auf. Die damit zu Beginn des Sommers günstigere hydrologische Ausgangslage trug verbreitet (Rhein, Donau oberhalb Innzufluss, Weser) und wesentlich dazu bei, dass sich die Niedrigwassersituation im weiteren Verlauf des Jahres 2018 trotz höherer Lufttemperaturen weniger stark entwickelte als im Jahr 1921. Auch beendeten die hohen Niederschläge im Dezember 2018 das Niedrigwasser vielerorts eher als im Verlauf des Jahres 1921.

Ein weiterer Unterschied zwischen diesen beiden Niedrigwasserjahren ist der im Jahr 1921 in den meisten Flussgebieten geringere Einfluss von Talsperren, insbesondere an der Elbe. Auch ein bei Niedrigwasser stützender Einfluss von gereinigtem Abwasser (RIEDEL et al., 2021) war 1921 sicherlich schwächer als 2018.

Infolge dieser Rahmenbedingungen gab es 1921, wengleich mit teils unterschiedlichen Jahresverläufen, stark ausgeprägte Niedrigwasserphasen in allen großen Flussgebieten Mitteleuropas. Dies gilt sowohl für die erreichten Durchflussminima als auch für die Niedrigwasserdauern. Am stärksten betroffen waren im Ganzen der Rhein und die Donau (oberhalb des Innzuflusses) sowie die Weser. An diesen Flüssen traten 1921 die – oft bei Weitem – längsten MNQ-Unterschreitungsdauern des Durchflusses (sumD) der vergangenen 120 Jahre auf. Auch die Durchflussminima (NM7Q) an Rhein, Weser und Donau gehören zu den niedrigsten Werten in diesem Zeitraum, wie auch an der Oder, wo allerdings Vergleichswerte erst ab 1921 vorliegen.

Das Niedrigwasserjahr 2018 betraf ebenfalls alle großen Flüsse in Deutschland, überbot das Ausmaß des Jahres 1921 hinsichtlich der Dauern von maxD und sumD aber nur an der Elbe und am Oderpegel Eisenhüttenstadt deutlich. Unterschreitungsdauern in zumindest ähnlicher Größenordnung traten 2018 am Oderpegel Hohensaaten, am Weserpegel Intschede und am Rheinpegel Köln (hier nur maxD) auf (Abb. 7 und 8). Bei den Durchflussminima erreicht im Jahr 2018 nur der NM7Q des Oderpegels Eisenhüttenstadt annähernd das niedrige Niveau des NM7Q 1921.

Jedoch ist oftmals zu berücksichtigen, dass der NM7Q 2018 durch Talsperrenbetrieb, wie es ihn im Jahr 1921 noch nicht in vergleichbarem Ausmaß gab, aufgehört wurde. Auch andere bekannte Niedrigwasserjahre des Zeitraums 1901 bis 2020 (1911, 1934, 1947, 1949, 1959) erreichten nicht die extreme, ganz Mitteleuropa umfassende Ausdehnung des Niedrigwasserjahres 1921, das seit Beginn des 20. Jahrhunderts ohnegleichen ist.

An der Elbe mit ihrem pluvialen Abflussregime fielen Niedrigwasser und hohe Wassertemperaturen in den Jahren 1921 und 2018 zeitlich zusammen. Dies gilt nicht für Rhein und Donau mit nivalen und glazialen sommerlichen Schmelzwasserzuflüssen aus dem Hochgebirge. An allen betrachteten Messstellen waren der höchste Tageswert und das größte Monatsmittel der Wassertemperatur 2018 höher als 1921. Dies kann vor allem höheren Lufttemperaturen und insbesondere am Rhein auch Kühlwasser-einleitungen zugeschrieben werden.

Durch die fehlende Verdünnung traten während des Niedrigwassers 1921 solche lokalen und regionalen Belastungsschwerpunkte besonders hervor, die von Einleitungen organischer Substanz sowie von salzigen und harten Abwässern verursacht waren. In Rhein, Elbe und Oder wurden außergewöhnlich hohe Werte des KPMV und des Glühverlustes gemessen. Im dicht besiedelten Rheintal, in dem – wie auch andernorts – Kläranlagen aber noch weitgehend fehlten oder nur unzureichend wirksam waren, ist dies wahrscheinlich in erster Linie auf kommunale Abwassereinleitungen zurückzuführen. In der Elbe bei Magdeburg spielten im Herbst 1921 vermutlich Einleitungen aus der Zuckerrübenindustrie die größte Rolle für die Belastung mit sauerstoffzehrender organischer Substanz.

Das bereits im Jahr 1921 an Weser und Elbe (stromab der Saale-mündung) bestehende Problem der Versalzung und Verhärtung des Flusswassers durch Einleitungen der Kali-Industrie führte beim Niedrigwasser zu hohen Konzentrationsspitzen und war 2018 insbesondere an der Weser immer noch akut. Im Jahr 2018 lag das Konzentrationsniveau von Härtebildnern an der Weser und das von Chlorid an Rhein und Oder höher als 1921. Es wird deutlich, dass die häufige Probenahme an einzelnen Untersuchungsstellen wie im Jahr 1921 die Identifikation von Konzentrationsspitzen ermöglicht, die bei lediglich monatlicher Probenahme nach heutigen Routinemessprogrammen nicht erfassbar sind. Bei extremen Niedrigwasserphasen ist eine Verkürzung der Probenahmeintervalle auf höchstens 14 Tage empfehlenswert, wie beim praxiserprobten "Messprogramm für hydrologische Extremereignisse an der Elbe" (FGG ELBE, 2016).

Auswirkungen auf die Wasserversorgung waren 1921 wie 2018 regional spürbar. Die Zunahme des Talsperrenvolumens sowie die Etablierung von Fernwasserversorgungen und Versorgungsverbänden und nicht zuletzt der höhere Niederschlag im Winter 2017/18 trugen im Jahr 2018 zu einer etwas weniger angespannten Lage der Wasserversorgung bei. Der ökologische Mindestwasserabfluss wurde gegenüber der Versorgungssicherheit nachrangig behandelt.

Die Schifffahrt war in den Jahren 1921 und 2018 vom Niedrigwasser stark betroffen. Die Randbedingungen sind jedoch nicht direkt vergleichbar. Der Rückgang der Beförderungsleistung betraf 1921 vor allem Rhein und Oder, 2018 besonders Rhein und Donau.

Für eine Betrachtung langanhaltender trockener Zustände bietet sich das Niedrigwasserjahr 1921 besonders an großen Flüssen als Modell- bzw. Referenzjahr für weiterführende gewässerkundliche Untersuchungen an, etwa

- als Plausibilisierungsbezug bei der Rekonstruktion historischer Niedrigwasserereignisse;
- zur Abschätzung der natürlichen Spannweite von Niedrigwasserereignissen im Rahmen der Naturalisierung von Abflussdaten;
- zur Absicherung von Niedrigwasser-Extremwertstatistiken durch zeitliche Informationserweiterung gekoppelt mit hydrologischer Interpretation;
- zur Plausibilisierung extremer Niedrigwasserphasen in Zukunftsprojektionen;
- bei der Simulation von Szenarien minimaler Verdünnung von Abwasser bzw. flussgebietsrelevanten Schadstoffen;
- zur Veranschaulichung beim Vergleich von Niedrigwasserstatistiken oder -szenarien mit diesem real aufgetretenen Extremjahr;
- als Beitrag zur wasserwirtschaftlichen Planung für extreme Trockenphasen hinsichtlich der Verfügbarkeit und Nutzung stark begrenzter Wasserressourcen, unter anderem mit der entsprechenden Steuerung von Talsperren und weiteren Speichern.

Ermöglicht wird dies durch einen guten Fundus von Messdaten, der durch die Erschließung und Digitalisierung weiterer Datenquellen noch vergrößert werden kann.

## Conclusions

Following an autumn with very little precipitation, the calendar year 1921 was exceptionally dry in large parts of Europe. Persistent, low-precipitation atmospheric conditions dominated in Germany on 216 days in 1921. At some weather stations in the Rhine and Danube catchment, by far the lowest annual precipitation totals of the entire series of measurements were recorded in 1921. Dry weather periods were spread over the entire year and, with the exception of January, also affected the first months of the year. Hence, they limited groundwater recharge, which is important for a recovery of the water balance. This was especially the case on the Danube and Rhine rivers. Deficits in the water balance, thus occurring in the river basins already at the beginning of the year and still more at the beginning of the summer, were not compensated and became even worse in many places during the further course of the year, due to persistently below-average precipitation depths.

In comparison in the year 2018 with a preceding wet winter (and corresponding groundwater recharge), dry weather conditions occurred less frequently (on 130 days), and in longer periods mainly in autumn. Hence, the hydrological situation at the beginning of the summer was more favorable and contributed widely (Rhine, Danube above the Inn tributary, Weser) and significantly to a less strong development of the low flow situation in the

further course of 2018 than in 1921, despite higher air temperatures. Moreover, high precipitation in December 2018 also ended the low flow phase in many places earlier than in the course of 1921.

Another difference between these two low flow years is the weaker influence of reservoirs in most river basins in 1921, especially in the Elbe basin. The sustaining influence of treated wastewater on low flow (RIEDEL et al., 2021) is also likely to have been weaker in 1921 than in 2018.

As a result of these conditions, there were pronounced phases of low flow in all major river basins in Central Europe in 1921 (albeit with different annual courses in some cases). This applies both to the minimum flow rates achieved and to the durations of low flow. Overall, the Rhine and Danube (upstream of the Inn tributary) and the Weser were most severely affected. In 1921, the longest annual total duration of discharge below MNQ (sumD) of the last 120 years occurred on these rivers - often by far. The flow minima (NM7Q) on the Rhine, Weser and Danube are also among the lowest values in this period, as is the case on the Oder, related to the period since 1921.

The low flow year 2018 also affected all major rivers in Germany, but significantly exceeded the extent of the year 1921 in terms of its duration parameters maxD and sumD only at the Elbe river and at the Oder gauge Eisenhüttenstadt. Durations of at least similar magnitude like in 1921 were also achieved at the Oder gauge Hohensaaten, the Weser gauge Intschede and the Rhine gauge Cologne (here only maxD) (Fig. 7 and 8). Regarding discharge minima, only the NM7Q 2018 of the Eisenhüttenstadt gauge came close to the NM7Q 1921. However, it must be taken into account that NM7Q 2018 was often increased by reservoir operation (not in place in 1921). Other well-known low flow years in the period 1901 to 2020 (1911, 1934, 1947, 1949, 1959) also did not reach the extreme and vast extent of the low flow year 1921 which concerned the entire area of Central Europe and remained unique since the beginning of the 20th century.

On the Elbe with its pluvial discharge regime, low water and high water temperatures coincided in 1921 and 2018. This does not apply to the Rhine and Danube with their nival and glacial summer meltwater inflows from high mountain ranges. The highest daily and the largest monthly mean of the water temperature in 2018 were higher than those of 1921 at all measuring points examined. This is mainly attributed to higher air temperatures and, especially on the Rhine, cooling water discharges.

Due to the lack of dilution of wastewater, discharges with easily degradable organic matter as well as of salty and hard wastewater, aggravated local and regional focal points of pollution during the low flow period in 1921. Exceptionally high levels of potassium permanganate consumption and ignition loss were measured in the Rhine, Elbe and Oder. In the densely populated Rhine Valley, where – as elsewhere – sewage treatment plants were still largely absent or only insufficiently effective, this is probably primarily due to municipal wastewater discharges. In the autumn of 1921, discharges from the sugar beet industry presumably played the major role in the pollution with oxygen-consuming organic matter in the Elbe near Magdeburg. The problem of salinisation and hardening of river water due to discharges from the potash industry, which already existed in 1921 on the Weser

and Elbe (below the Saale confluence), led to high concentration peaks during the low flow and was still acute in 2018, particularly on the Weser. In 2018, the concentration level of hardness formers on the Weser and that of chloride on the Rhine and Oder were higher than in 1921. The high frequency of sampling at individual monitoring sites in 1921 enables the identification of concentration peaks that cannot be detected in present-day monthly sampling by routine measurement programs. During extreme low flow phases, it is advisable to shorten the sampling intervals to a maximum of 14 days, as is the case with the tried and tested "Measurement program for extreme hydrological events on the Elbe" (FGG ELBE, 2016).

Effects on the water supply were noticeable regionally in 1921 and 2018. The increased reservoir volumes as well as the establishment of long-distance water supplies and supply networks and, last but not least, the higher rainfall in winter 2017/2018 contributed to a less tense water supply situation in 2018. The ecological minimum streamflow was of less concern than the security of water supply.

Shipping was strongly affected by the low water levels in 1921 and 2018. However, the conditions were not directly comparable in these two years. The decline in transport performance mainly affected the Rhine and Oder in 1921 and the Rhine and Danube in 2018.

Considering long-lasting dry conditions and in particular large rivers, the low flow year 1921 is an appropriate model or reference year for further hydrological investigations, such as

- a plausible reference when reconstructing historical low flow events;
- the estimation of the natural range of low flow events in the context of the naturalization of discharge data;
- the validation of low flow extreme value statistics by temporal information expansion coupled with hydrological reasoning;
- the verification of plausibility of extreme low flow phases in simulated future projections;
- the simulation of scenarios of minimal dilution of wastewater or pollutants relevant to river basins;
- the illustration of low flow statistics or scenarios compared to the reality of this extreme year;
- a contribution to water management planning for extreme dry phases with regard to the availability and use of severely limited water resources, including the corresponding control of reservoirs and other storages.

This is made possible by a substantial pool of measured data, which can be increased by the search and digitization of further data sources.

### **Erklärung zur Datenverfügbarkeit**

Die Daten, auf denen die Erkenntnisse dieser Studie beruhen, sind im Literatur- und Quellenverzeichnis referenziert. Daten Dritter können ggf. nur mit deren Zustimmung auf ordnungsgemäße Anfrage durch die Verfasser bereitgestellt werden.

### **Danksagung**

Die Autoren danken Libor Elleder und Klaus Wendling für die Erlaubnis zur Publikation der Fotos, Cathleen Kunzer, Simone Andernach und Claudia Werner für zahlreiche Literaturbeschaffungen sowie vielen weiteren Personen und Institutionen für die Bereitstellung von Daten und Archivmaterial.

### **Anschriften der Verfasser**

Dr. Daniel Schwandt

Dr. Gerd Hübner

Referat G1 Grundsatzfragen der qualitativen Gewässerkunde

Dr. Martin Helms

Jörg Uwe Belz

Wilfried Wiechmann

Referat M1 Hydrometrie und Gewässerkundliche Begutachtung

Bundesanstalt für Gewässerkunde

Am Mainzer Tor 1, 56068 Koblenz

schwandt@bafg.de

huebner@bafg.de

helms@bafg.de

belz@bafg.de

wiechmann@bafg.de

### **Literatur- und Quellenverzeichnis**

AU (Abwasser-Untersuchungsstelle) HILDESHEIM (1922): Jahresbericht der Abwasser-Untersuchungsstelle in Hildesheim über das Jahr 1921/22. Bundesarchiv R 154 / 12521 (unveröffentlicht).

BACHMANN, C. (1927): Die Talsperren in Deutschland. Wasser und Gas, 17. Jg., Nr. 22, 15.8.1927, Berlin.

BARCH – Bundesarchiv Berlin (o. J.): R 154 / 12265: Verkehr mit der Abw.-Untersuchungsstelle der Regierung in Hildesheim (Enthalten die Untersuchungsergebnisse der Weser, Leine, Innerste, Aller, Schunter und Oker). 1921 – 1925 (unveröffentlicht).

BELLINGHAUSEN, H. (1922): Geologisch-Geographischer Führer durch die Umgebung von Coblenz. Krabbensche Buchdruckerei, Coblenz.

BELZ, J.U., BRAHMER, G., BUITEVELD, H., ENGEL, H., GRABHER, R. et al. (2007): Das Abflussregime des Rheins und seiner Nebenflüsse im 20. Jahrhundert – Analyse, Veränderungen, Trends. Schriftenreihe der KHR, Bd. I-22, Koblenz und Lelystad.

BLANCHARD, R. (1922): La sécheresse en Dauphiné (1920 – 1921). Revue de géographie alpine, 10, n° 1, 181-199.

BLfU – Bayerisches Landesamt für Umwelt (2021): Niedrigwasser 2018 und 2019 – Analysen und Auswirkungen für Bayern. Bayerisches Landesamt für Umwelt. Augsburg.

BROOKS, C.E.P. & J. GLASSPOOLE (1922): The drought of 1921. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 48, 139-68.

BWSD – Badische Wasser- und Straßenbaudirektion Karlsruhe (1933): Jahrbuch des Hydrographischen Bureaus 1930 und 1931. Karlsruhe.

CANTZLER, A. & A. SPLITTGERBER (1916): Die Ergebnisse von Rheinwasseruntersuchungen aus den Jahren 1907 bis 1913 auf der Strecke von Mannheim bis Worms. Vereinsschriften des Vereins für Wasser- und Gaswirtschaft e. V., Deutscher Kommunal-Verlag, Berlin-Friedenau.

- COOK, E.R., SEAGER, R., KUSHNIR, Y., BRIFFA, K.R., BÜNTGEN, U. et al. (2015): Old World megadroughts and pluvials during the Common Era. *Science Advances* 1 (10), e1500561. DOI: 10.1126/sciadv.1500561.
- DUBAND, D., SCHOENEICH, P. & V.A. STANESCU (2004): Exemple de l'étiage 1921 en Europe (Italie, France, Roumanie, Suisse, ...): climatologie et hydrologie. *La houille blanche*, No. 5: 18-29.
- DWD (Deutscher Wetterdienst) (2018): Monatlicher Klimastatus Deutschland [Januar – Dezember] 2018. [https://www.dwd.de/DE/leistungen/pbfb\\_verlag\\_monat\\_klimastatus/monat\\_klimastatus.html](https://www.dwd.de/DE/leistungen/pbfb_verlag_monat_klimastatus/monat_klimastatus.html) (letzter Abruf: 27.10.2021).
- DWD-CDC (Deutscher Wetterdienst – Climate Data Center) (2020): Tägliche Stationsmessungen Niederschlagshöhe in mm. <https://cdc.dwd.de/portal/> (letzter Abruf: 11.12.2020).
- DWD-CDC (Deutscher Wetterdienst – Climate Data Center) (2021): Jahressumme der Raster der monatlichen Niederschlagshöhe für Deutschland unter Berücksichtigung der Klimatologie, Version v1.0. [https://opendata.dwd.de/climate\\_environment/CDC/grids\\_germany/annual/precipitation/](https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/annual/precipitation/) (letzter Abruf: 27.10.2021).
- DWD-CDC (Deutscher Wetterdienst - Climate Data Center) (2022): Regional gemittelte monatliche Niederschlagshöhen und Lufttemperaturen. [https://opendata.dwd.de/climate\\_environment/CDC/regional\\_averages\\_DE/monthly/](https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/regional_averages_DE/monthly/) (letzter Abruf: 11.3.2022).
- DREWAG – Dresdner Gas-, Wasser- und Elektrizitätswerke AG (1921): Laboratorium der Wasserwerke, Entnahmestelle: Elbe bei Saloppe 1921 (unveröffentlicht).
- ECKARDT, W.R. (1922): Über die Ursachen der Trockenheit 1920/21 und deren wirtschaftliche Folgen am Niederrhein und im Ruhrgebiet. *Wirtschaftliche Nachrichten aus dem Ruhrbezirk* 3 (15): 718-722, Essen.
- ELLEDER, L., KAŠPÁREK, L., ŠIROVÁ, J. & T. KABELKA (2020): Low water stage marks on hunger stones: verification for the Elbe from 1616 to 2015. *Climate of the Past*, 16, 1821-1846. DOI: 10.5194/cp-16-1821-2020.
- ERFURT, M., GLASER, R. & V. BLAUHUT (2019): Changing impacts and societal responses to drought in southwestern Germany since 1800. *Regional Environmental Change*, 19, 2311-2323. DOI: 10.1007/s10113-019-01522-7.
- FABIAN, W. (1927): Die obere und mittlere Oder als Schifffahrtsstraße. In: *Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft*. Bd. 8, 1925, Hamburg, S. 45-60.
- FGG (Flussgebietsgemeinschaft) ELBE (2016): Messprogramm für hydrologische Extremereignisse an der Elbe. [https://www.fgg-elbe.de/files/Download-Archive/Messprogramme/fggelbe/MP\\_Extremereignisse\\_Fortschreibung\\_01\\_09\\_2016\\_Anlage\\_2angepasst\\_01\\_2019.pdf](https://www.fgg-elbe.de/files/Download-Archive/Messprogramme/fggelbe/MP_Extremereignisse_Fortschreibung_01_09_2016_Anlage_2angepasst_01_2019.pdf) (letzter Abruf: 27.10.2021).
- FORSTER, A. (1894): Die Temperatur fließender Gewässer Mitteleuropas. In: PENCK, A. (Hrsg.): *Geographische Abhandlungen*. Band V, Heft 4. Verlag Ed. Hölzel, Wien.
- GRUNOW, J. (1935): Die Wasserklemmen der Norddeutschen Ströme in den Jahren 1891-1930. – *Forschungen zur Deutschen Landes- und Volkskunde* 31 (2), 74 S., Stuttgart.
- GLASER, R. & M. KAHLE (2020): Reconstructions of droughts in Germany since 1500 – combining hermeneutic information and instrumental records in historical and modern perspectives. *Climate of the Past*, 16, 1207-1222. DOI: 10.5194/cp-16-1207-2020.
- HANEL, M., RAKOVEC, O., MARKONIS, Y., MÁCA, P., SAMANIEGO, L. et al. (2018): Revisiting the recent European droughts from a long-term perspective. *Nature, Scientific Reports* 8:9499. DOI: 10.1038/s41598-018-27464-4.
- HARZWASSERWERKE (2020): Infomaterial (Flyer mit Informationen zu den Talsperren). <https://www.harzwasserwerke.de/infoservice/infomaterial/> (letzter Abruf: 4.10.2021).
- HSTA – Sächsisches Hauptstaatsarchiv Dresden (o. J.): 10762 Amtshauptmannschaft Pirna Nr. 3335: Verfahren der Elbeverunreinigung, 2. Bericht der Landesstelle für Öffentliche Gesundheitspflege Dresden, 26.9.1921, S. 31-36 (unveröffentlicht).
- HÜBNER, G. & D. SCHWANDT (2018): Extreme low flow and water quality – a long-term view on the River Elbe. *Erdkunde – Archive for Scientific Geography*, Bonn 72 (3): 235-251. DOI: 10.3112/erdkunde.2018.03.05.
- HÜBNER, G. & D. SCHWANDT (2020a): Wasserbeschaffenheit beim Elbe-Niedrigwasser 2018 – ein Langzeitvergleich. In: *Deutsche Gesellschaft für Limnologie (DGL) (Hrsg.): Ergebnisse der Jahrestagung 2019 (Münster)*, S. 344-350.
- HÜBNER, G. & D. SCHWANDT (2020b): Wasserbeschaffenheit der Elbe während des extremen Niedrigwassers von Juli bis Dezember 2018, FGG Elbe (Hrsg.): *Fachberichte Hochwasser/Niedrigwasser*. [https://www.fgg-elbe.de/files/Download-Archive/Fachberichte/Hochwasser\\_Niedrigwasser/Elbe\\_Niedrigwasserbericht\\_2018\\_Stand\\_2020\\_05-08.pdf](https://www.fgg-elbe.de/files/Download-Archive/Fachberichte/Hochwasser_Niedrigwasser/Elbe_Niedrigwasserbericht_2018_Stand_2020_05-08.pdf) (letzter Abruf: 27.10.2021).
- INFORMATIONSPLATTFORM UNDINE (o. J.): Rhein: Das Niedrigwasser der Jahre 1920/21 ([https://undine.bafg.de/rhein/extremereignisse/rhein\\_nw1920\\_21.html](https://undine.bafg.de/rhein/extremereignisse/rhein_nw1920_21.html)); Weser: Das Niedrigwasser von Juli bis Dezember 1921 ([https://undine.bafg.de/weser/extremereignisse/weser\\_nw1921.html](https://undine.bafg.de/weser/extremereignisse/weser_nw1921.html)); Oder: Das Niedrigwasser im Sommer / Herbst 1921 ([https://undine.bafg.de/oder/extremereignisse/oder\\_nw1921.html](https://undine.bafg.de/oder/extremereignisse/oder_nw1921.html)) (letzter Abruf: 27.10.2021).
- IKSE – Int. Kommission zum Schutz der Elbe (2001): Bestandsaufnahme des vorhandenen Hochwasserschutzes im Einzugsgebiet der Elbe. Magdeburg.
- IKSE – Int. Kommission zum Schutz der Elbe (Hrsg.) (2005): Die Elbe und ihr Einzugsgebiet. Ein geographisch-hydrologischer und wasserwirtschaftlicher Überblick. Magdeburg.
- IKSE – Int. Kommission zum Schutz der Elbe (2012): Abschlussbericht über die Erfüllung des "Aktionsplans Hochwasserschutz der Elbe" 2003-2011. Magdeburg.
- IKSO – Int. Kommission zum Schutz der Oder gegen Verunreinigung (2015): Bewirtschaftungsplan für die internationale Flussgebietseinheit Oder im Bewirtschaftungszeitraum 2016–2021. Breslau.
- IKSO – Int. Kommission zum Schutz der Oder (Hrsg.) (2021): IMS-Odra (Internationale Monitoring-Stationen im Odergebiet) <http://geoportal.mkoo.pl/IKSO/client/gisclient/index.html?applicationId=5279> (letzter Abruf: 27.10.2021).
- IKSR – Int. Kommission zum Schutz des Rheins (2018): Bestandsaufnahme zu den Niedrigwasserverhältnissen am Rhein. IKSR-Bericht Nr. 248. Koblenz.
- KACHELMANNWETTER (2021): <https://kachelmannwetter.com/de/messwerte/durchschnittstemperatur.html> (letzter Abruf: 06.10.2021).
- LAND NRW (2021): Fachinformationssystem ELWAS-WEB, Messstelle 000309, Düsseldorf-Flehe, Rhein, Daten des Jahres 2018. <https://www.elwasweb.nrw.de> (letzter Abruf: 27.10.2021).
- LAWA – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (1998): Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken in der Bundesrepublik Deutschland mit mehr als 0,3 hm<sup>3</sup> Speicherraum. Kulturbuchverlag, Berlin.
- LHW (Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft) SACHSEN-ANHALT (2020): Gewässerkundlicher Landesdienst, Zahlentafeln Fließgewässer 2018, MEL07. [https://lhw.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik\\_und\\_Verwaltung/Landesbetriebe/LHW/neu\\_PDF/5.0\\_GLD/Gew\\_Daten\\_2018/MEL07\\_Wasser\\_EP\\_2018.pdf](https://lhw.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/Landesbetriebe/LHW/neu_PDF/5.0_GLD/Gew_Daten_2018/MEL07_Wasser_EP_2018.pdf) (letzter Abruf: 27.10.2021).

- LINK, E. (1922): Die Talsperren des Ruhrgebiets. Zeitschrift des Deutschen Wasserwirtschafts- und Wasserkraft-Verbandes E. V., Heft 6, Juni 1922, S. 99-102.
- LfG – Landesanstalt für Gewässerkunde und Hauptnivelements beim Generalinspektor für Wasser und Energie (1943): Jahrbuch für die Gewässerkunde des Deutschen Reichs. Abflußjahr 1939. Berlin.
- LUBW – Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (2020): Wassertemperatur 2018 Messstation Karlsruhe, Rhein.
- LÜHRIG, H. (1924): Ueber die Beschaffenheit des Wassers der Oder bei Breslau und einiger ihrer Nebenflüsse. Mitteilung aus dem chemischen Untersuchungsamt der Stadt Breslau. Wasser und Gas 15 (1), S. 1-19, Berlin.
- MÜHLENS, P. (1923): Die russische Hunger- und Seuchenkatastrophe in den Jahren 1921 – 1922. Zeitschrift für Hygiene, Bd. 99, S. 1-45.
- NLWKN – Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (2021): Landesdatenbank für wasserwirtschaftliche Daten. <http://www.wasserdaten.niedersachsen.de> (letzter Abruf: 27.10.2021).
- OFFERGELD, L. (1922): Wasservorratsbewegung in den Trinkwassertalsperren. Das Gas- und Wasserfach, Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung, 65. Jg., H. 43, S. 681-686.
- POVODI LABE (2017): Dams in the Czech Republic.
- RIEDEL, T., NOLTE, CH., AUS DER BEEK, T., LIEDTKE, J., SURES, B. et al. (2021): Niedrigwasser, Dürre und Grundwasserneubildung – Bestandsaufnahme zur gegenwärtigen Situation in Deutschland, den Klimaprojektionen und den existierenden Maßnahmen und Strategien. Texte 174/2021, Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau.
- RIJKSWATERSTAAT (2020): Abfrage Wassertemperatur Lobith. <https://waterinfo.rws.nl/> (letzter Abruf: 11.12.2020).
- RUHRVERBAND (2019): Ruhrwassermenge 2018. <https://www.talsperrenleitzentrale-ruhr.de/informationen/veroeffentlichungen/> (letzter Abruf: 27.10.2021).
- RUHRVERBAND (2020): Ruhrwassermenge 2019. <https://www.talsperrenleitzentrale-ruhr.de/informationen/veroeffentlichungen/> (letzter Abruf: 27.10.2021).
- RUTSATZ, E. (1925): Beiträge zur Hydrologie des Rheintals. Das Gas- und Wasserfach, Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung, 68. Jg., H. 49, S. 767-772, H. 50, S.786-791, H. 51, S.805-810.
- SASSENFELD, M. (1923): Trockenheit des Jahres 1921 im Rheingebiet. Meteorologische Zeitschrift, Bd. 40, S. 93.
- SCHWANDT, D., HÜBNER, G., ZAVARSKY, A. & K. FRICKE (2019): Wassertemperatur des Rheins bei Koblenz im Sommer 2018. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 63 (1), S.60-63.
- SCHLEICHERT, H. (1922): Die deutsche Rheinschiffahrt im Jahre 1921. In: ZEITLER, R. (Hrsg.): Wasserstraßen-Jahrbuch 1922, München, S. 51-56.
- SCHRIER, G. van der, ALLAN, R., OSSÓ, A., SOUSA, P.M., VYVER, H. van de et al. (2021): The 1921 European drought: Impacts, reconstruction and drivers. *Climate of the Past*, 17, 2201–2221. DOI: 10.5194/cp-17-2201-2021.
- STADT DRESDEN (1922): Monatsberichte des Statistischen Amtes der Stadt Dresden. Nr.1, Januar 1922, 45. Jg., S.14 (Wasserwerke).
- STADT MAGDEBURG (1921): Verwaltungsbericht der städtischen Gas- und Wasserwerke Magdeburg für 1920. Stadtbibliothek Magdeburg: Ter P 10.1 Magdeburg (unveröffentlicht).
- STADT MAGDEBURG (1922): Verwaltungsbericht der städtischen Gas- und Wasserwerke Magdeburg für 1921. Stadtbibliothek Magdeburg: Ter P 10.1 Magdeburg (unveröffentlicht).
- STADT MANNHEIM (1922): Chemische u. bakteriologische Untersuchungen des Rhein- und Neckarwassers u. der Abwässer der Kläranlage; Sauerstoffprüfungen im Rheinwasser. Stadtarchiv Mannheim: Chemisches Untersuchungsamt, 56/1961 u. 32/1984 (Lfd.-Nr. 324), Blatt 113/114 (unveröffentlicht).
- STADTWERKE DÜSSELDORF (1921): Wasserwerk Flehe, Archiv, Laborbuch der bakteriologischen und chemischen Untersuchungen für das Jahr 1921. (unveröffentlicht).
- STADTWERKE DÜSSELDORF (2021): Wassertemperatur 2018 Messboje Heizkraftwerk Lausward.
- STAHL, K., WEILER, M., FREUDIGER, D., KOHN, I., SEIBERT, J. et al. (2017): Abflussanteile aus Schnee- und Gletscherschmelze im Rhein und seinen Zuflüssen vor dem Hintergrund des Klimawandels. Synthesenbericht. Schriftenreihe der KHR, Bd. I-25, Lelystad.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (2019): Verkehr. Güterverkehrsstatistik der Binnenschiffahrt. Dezember 2018 ... [Januar 2017]. Fachserie 8 Reihe 4. [https://www.statistischebibliothek.de/mir/servlets/MCRFileNodeServlet/DEHeft\\_derivate\\_00043795/2080400181124\\_akt06062019.pdf](https://www.statistischebibliothek.de/mir/servlets/MCRFileNodeServlet/DEHeft_derivate_00043795/2080400181124_akt06062019.pdf) (letzter Abruf: 27.10.2021).
- STATISTISCHES REICHSAMT (1923): Verkehr der deutschen Binnenwasserstraßen im Jahre 1921, Erster Teil. Statistik des Deutschen Reichs, Band 306, I, Berlin.
- STRUB, W. (1923): Die Witterung im Jahre 1921. In: Statistisches Amt des Kantons Basel-Stadt (Hrsg.), Statistisches Jahrbuch des Kantons Basel-Stadt 1921, Erster Jahrgang, Basel, S. 298-300.
- TJADEN, H. (1922): Der gegenwärtige Stand der Flußverunreinigung durch die Abwässer der Kaliindustrie und die Wasserversorgung der Stadt Bremen. Bremen.
- VIA DONAU – Österreichische Wasserstraßen-Gesellschaft (2020): Wassertemperatur Linz, Donau.
- WACHTER, H. (1934): Der Sommer 1934 im Vergleich mit 1911 und 1921. Das Wetter 51: (12): 405-407, Leipzig.
- WEBB, B. & F. NOBILIS (1995): Long term water temperature trends in Austrian rivers. *Hydrological Sciences Journal*, 40:1, 83-96. DOI: 10.1080/02626669509491392.
- WEINGARTNER, R. & C. PFISTER (2007): Wie außerordentlich war das Niedrigwasser im Winter 2005/06? – Eine hydrologisch-historische Betrachtung des Rheinabflusses in Basel. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 51(1), S. 22-26.
- WEINOLD, C. (2019): Niedrigwasser beeinträchtigt die Rheinschiffahrt. In: Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (Hrsg.): Die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung 2018, Bonn, S. 56-57.
- WERNER, P.C. & F.-W. GERSTENGARBE (2010): Katalog der Großwetterlagen Europas (1881–2009) nach Paul Hess und Helmut Brezowsky. 7. Auflage. PIK Report 119, Potsdam.
- WILDENHAHN, E. & U. KLAHOLZ (1996): Große Speicherseen im Einzugsgebiet des Rheins. Bericht Nr. II-10 der KHR. Koblenz, Lelystad.
- WOLF-SCHUMANN, U., BUCHHOLZ, O., DORP, M., HELLBACH, C., BÜRVENICH, T. et al. (2013): Aufbau eines WHM LARSIM-Mitteleuropamodells. Projektbericht. Hydrotec, Aquantec, Aachen, Karlsruhe. (unveröffentlicht).
- WSA HANN. MÜNDEN (2014): Festschrift – 100 Jahre Edertalsperre. Druckschrift des Wasser- und Schifffahrtsamts Hann. Münden.
- WSV – Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (2021): Wassertemperatur/Durchfluss von Pegeln an Bundeswasserstraßen, bereitgestellt durch die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG).
- WUPPERVERBAND (2020): Jahresbericht 2019. Wuppertal
- ZAVARSKY, A. & L. DÜSTER (2020): Anthropogenic influence on the Rhine water temperatures. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24, 5027-5041. DOI 10.5194/hess-24-5027-2020.

Sergiy Vorogushyn, Heiko Apel, Matthias Kemter & Annegret H. Thieken

# Analyse der Hochwassergefährdung im Ahrtal unter Berücksichtigung historischer Hochwasser

## Analysis of flood hazard in the Ahr Valley considering historical floods

Die Hochwasserkatastrophe im Juli 2021 in Westdeutschland erfordert eine kritische Diskussion über die Abschätzung der Hochwassergefährdung, Aktualisierung von Hochwassergefahrenkarten und Kommunikation von extremen Hochwasserszenarien. In der vorliegenden Arbeit wurde die Extremwertstatistik für die jährlichen maximalen Spitzenabflüsse am Pegel Altenahr im Ahrtal mit und ohne Berücksichtigung historischer Hochwasser berechnet und verglichen. Die Schätzung der Wiederkehrperiode für das aktuelle Hochwasser mittels Generalisierter Extremwertverteilung (GEV) unter Berücksichtigung historischer Hochwasser schwankt zwischen etwa 2.600 und über 58.700 Jahren (90%-Konfidenzintervall) mit einem Median bei etwa 8.600 Jahren, wogegen die Schätzung, die nur auf der systematisch gemessenen Abflusszeitreihe von 74 Jahren basiert, theoretisch eine Wiederkehrperiode von über 100 Millionen Jahren ergeben würde. Die Berücksichtigung der historischen Hochwasser führt zu einer dramatischen Änderung der Hochwasserquantile, die für eine Gefahrenkartierung zugrunde gelegt werden. Die Anpassung der GEV an die Zeitreihe mit historischen Hochwassern zeigt dennoch, dass das GEV-Modell möglicherweise die Grundgesamtheit der Hochwasser im Ahrtal nicht adäquat abbilden kann. Es könnte sich im vorliegenden Fall um eine gemischte Stichprobe handeln, in der die extremen Hochwasser im Vergleich zu kleineren Ereignissen durch besondere Prozesse hervorgerufen werden. Somit könnten die Wahrscheinlichkeiten von extremen Hochwassern deutlich größer sein, als aus dem GEV-Modell hervorgeht. Hier sollte in Zukunft die Anwendung einer prozessbasierten Mischverteilung untersucht werden.

Der Vergleich von amtlichen Gefahrenkarten zu Extremhochwassern (HQextrem) im Ahrtal mit den Überflutungsflächen vom Juli 2021 zeigt eine deutliche Diskrepanz in den betroffenen Gebieten und die Notwendigkeit, die Grundlagen zur Erstellung der Extremszenarien zu überdenken. Die hydrodynamisch-numerischen Simulationen von 1.000-jährlichen Hochwassern (HQ1000) unter Berücksichtigung historischer Ereignisse und des größten historischen Hochwassers 1804 können die Gefährdung des Juli-Hochwassers 2021 deutlich besser widerspiegeln, wenngleich auch diese beiden Szenarien die Überflutungsflächen unterschätzen. Besondere Effekte wie die Verklausung von Brücken und die geomorphologischen Änderungen im Flussschlauch führten zu noch größeren Überflutungsflächen im Juli 2021, als die Simulationsergebnisse zeigten. Basierend auf dieser Analyse wird eine einheitliche Festlegung von HQextrem bei Hochwassergefahrenkartierungen in Deutschland vorgeschlagen, die sich an höheren Hochwasserquantilen im Bereich von HQ1000 orientiert. Zusätzlich sollen simulationsbasierte Rekonstruktionen von den größten verlässlich dokumentierten historischen Hochwassern und/oder synthetische Worst-Case-Szenarien in den Hochwassergefahrenkarten gesondert dargestellt werden. Damit wird ein wichtiger Beitrag geleistet, um die potenziell betroffene Bevölkerung und das Katastrophenmanagement vor Überraschungen durch sehr seltene und extreme Hochwasser in Zukunft besser zu schützen.

**Schlagwörter:** Extremwertstatistik, historische Hochwasser, Gefahrenkarten, Überflutungssimulation, Ahr

The flood disaster in July 2021 in western Germany calls for a critical discussion on flood hazard assessment, revision of flood hazard maps and communication of extreme flood scenarios. In the presented work, extreme value analysis was carried out for annual maximum peak flow series at the Altenahr gauge on the river Ahr. We compared flood statistics with and without considering historical flood events. An estimate for the return period of the recent flood based on the Generalized Extreme Value (GEV) distribution considering historical floods ranges between about 2600 and above 58700 years (90% confidence interval) with a median of approximately 8600 years, whereas an estimate based on the 74-year long systematically recorded flow series would theoretically exceed 100 million years. Consideration of historical floods dramatically changes the flood quantiles that are used for the generation of official flood hazard maps. The fitting of the GEV to the time series with historical floods reveals, however, that the model potentially inadequately reflects the flood population. In this case, we might face a mixed sample, in which extreme floods result from very different processes compared to smaller floods. Hence, the probabilities of extreme floods could be much larger than those resulting from a single GEV model. The application of a process-based mixed flood distribution should be explored in future work.

The comparison of the official HQextrem flood maps for the Ahr Valley with the inundation areas from July 2021 shows a striking discrepancy in the affected areas and calls for revision of design values used to define extreme flood scenarios. The hydrodynamic simulations of a 1000-year return period flood considering historical events and of the 1804 flood scenario compare much better to the flooded areas from July 2021, though both scenarios still underestimated the flood extent.

Particular effects such as clogging of bridges and geomorphological changes of the river channel led to considerably larger flooded areas in July 2021 compared to the simulation results. Based on this analysis, we call for a consistent definition of HQextrem for flood hazard mapping in Germany, and suggest using high flood quantiles in the range of a 1,000-year flood. Flood maps should additionally include model-based reconstructions of the largest, reliably documented historical floods and/or synthetic worst-case scenarios. This would be an important step towards protecting potentially affected population and disaster management from surprises due to very rare and extreme flood events in future.

**Keywords:** Extreme value statistics, historical floods, flood hazard mapping, inundation simulation, Ahr River

## 1 Einleitung

Das Hochwasser im Juli 2021 hat die Bundesländer Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen schwer getroffen und insgesamt über 180 Tote sowie Schäden in Milliardenhöhe verursacht. Das Ahrtal war besonders betroffen und verzeichnete insgesamt 134 Tote; zwei Personen werden noch vermisst (DKKV, 2022). Historische Hochwasser im Ahrtal haben auch in der Vergangenheit zu zahlreichen Toten sowie erheblichen Schäden geführt, wie Fotos aus dem Jahr 1910 eindrucksvoll dokumentieren (Abb. 1).

Neben den operativen Hochwasservorhersagen stellen die aktuellen Gefahrenkarten, die im Rahmen der europäischen Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (HWRM-RL, 2007) erstellt wurden, bei solchen extremen Ereignissen eine entscheidende Stütze bei der Katastrophenbewältigung dar. Die Hochwasservorhersagen in Deutschland beschränken sich derzeit größtenteils auf die Vorhersage von Abflüssen und Wasserständen an einzelnen Pegeln. Die Gefahrenkarten zeigen, welche Gebiete oder z. B. kritische Infrastrukturen bei einem bestimmten Abfluss in welchem Ausmaß (Überflutungshöhe) überflutet werden.

Die Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Europäischen Rates (HWRM-RL, 2007) verpflichtet die Mitgliedstaaten der Europäischen Union zur Erstellung von Hochwassergefahren- und -risikokarten für große Teile ihrer Fließgewässer. Im Zuge der Umsetzung dieser Richtlinie und in Anlehnung an Empfehlungen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA, 2018) werden in Deutschland seit 2013 Hochwassergefahrenkarten für (1) Hochwasser mit hoher Wahrscheinlichkeit (~10 bis 20 Jahre), (2) Hochwasser mit mittlerer Wahrscheinlichkeit (Wiederkehrperiode von 100 Jahren) und (3) Hochwasser mit niedriger Wahrscheinlichkeit (Wiederkehrperiode  $\geq 200$  Jahre) oder Szenarien von Extremereignissen erstellt und veröffentlicht sowie alle sechs Jahre aktualisiert. Unter Szenarien von Extremereignissen werden solche verstanden, die beispielsweise von Versagen von Hochwasserschutzanlagen oder Verklausung von Brücken ausgehen (LAWA, 2018). In der Praxis werden Szenarien von Versagen von Hochwasserschutzanlagen mit Hochwasserwiederkehrperioden von

über 200 Jahren kombiniert und als sogenannte "Gefahrenkarten HQextrem" dargestellt. Die Festlegung von Wiederkehrperioden für Extremhochwasser (HQextrem) in Deutschland ist jedoch uneinheitlich (PETROW & THIEKEN, 2015). Während zum Beispiel in Brandenburg<sup>1</sup> und Sachsen-Anhalt (LHW, 2014) die Wiederkehrperiode von 200 Jahren (HQ200) angenommen wird, wird in Sachsen<sup>2</sup> teilweise HQ300 verwendet. In Niedersachsen wird HQextrem mit einem Multiplikationsfaktor von HQ100 abgeleitet ( $HQ_{extrem} = 1.6 * HQ_{100}$ )<sup>3</sup>. Auch in Rheinland-Pfalz werden verschiedene Faktoren genutzt. Konkret im Ahr-Einzugsgebiet wird ein Faktor von 1,26 verwendet<sup>4</sup>. Das Hochwasserregionalisierungsverfahren, das in Baden-Württemberg verwendet wird, ergibt die Jährlichkeit für HQextrem in der Größenordnung von ca. 1.000 Jahren (LUBW, 2015).

Wie bereits mehrfach untersucht, ist die Abschätzung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten insbesondere im Bereich der höheren Quantile sehr sensitiv zu der Länge der verwendeten Zeitreihe (z. B. HU et al., 2020). Insbesondere kann die Berücksichtigung historischer Extremereignisse die Abschätzung von Hochwasserjährlichkeiten deutlich beeinflussen (DWA, 2012). Für die Erstellung von Hochwasserszenarien bei der Gefahrenkartierung ist die Berücksichtigung von historischen Hochwassern jedoch nicht explizit vorgeschrieben (LAWA, 2018). Lediglich empfiehlt das aktuelle DWA-Merkblatt zur Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten (DWA, 2012) unter anderem die temporäre Informationserweiterung zur Verbesserung von Hochwasserabschätzungen durch Einbeziehung historischer Informationen und stellt einen entsprechenden methodischen Rahmen vor. Eine systematische Berücksichtigung von historischen Hochwassern in der Extremwertstatistik für die Hochwassergefahrenkartierung scheint in Deutschland bisher nicht umfassend stattzufinden. Das kann an umfangreichen, räumlich verstreuten

- 1 <https://mluk.brandenburg.de/mluk/de/umwelt/wasser/hochwasserschutz/hochwasserrisikomanagementrichtlinie/gefahren-und-risikokarten/#>
- 2 <https://www.wasser.sachsen.de/hochwassergefahrenkarte-11915.html>
- 3 [https://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/themen/wasser/hochwasser\\_amp\\_kustenschutz/hochwasserrisikomanagement\\_richtlinie/hochwassergefahren\\_und\\_hochwasserrisikokarten/hochwasserkarten-121920.html](https://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/themen/wasser/hochwasser_amp_kustenschutz/hochwasserrisikomanagement_richtlinie/hochwassergefahren_und_hochwasserrisikokarten/hochwasserkarten-121920.html)
- 4 Ch. Iber (Landesamt für Umwelt, persönliche Kommunikation, 18. Januar 2022)



**Abbildung 1**

Fotos von der Flutkatastrophe im Ahrtal am 13. Juni 1910 (Sammlung Dr. M. Deutsch, Erfurt).  
Photos of the flood disaster in the Ahr Valley on June 13<sup>th</sup>, 1910 (Collection of Dr. M. Deutsch, Erfurt).

und unsicheren Informationen zu Hochwasserhöchstständen (Hochwassermarken) liegen, die mit einem erheblichen Aufwand erfasst und in Spitzenabflüsse umgerechnet werden müssten. Zudem wurden Flussläufe und Einzugsgebiete durch technische Maßnahmen (Begradigungen, Bau von Speichern wie Talsperrn und Rückhaltebecken) verändert, dass die Übertragbarkeit der historischen Abflüsse auf die Gegenwart in vielen Gebieten fragwürdig ist. Dennoch könnte die Berücksichtigung historischer Informationen trotz erheblicher Unsicherheiten bei der Schätzung von Spitzenabflüssen die Abschätzung der Hochwasserquantile erheblich beeinflussen und insbesondere bei relativ kurzen gemessenen Zeitreihen die Plausibilität erhöhen (DWA, 2012; SCHUMANN, 2007). Es ist davon auszugehen, dass die historischen Hochwasserinformationen das Bewusstsein für Hochwasserrisiko erhöhen und die Überraschungseffekte, wie sie beispielweise bei der Hochwasserkatastrophe im Juli 2021 aufgetreten sind, minimieren würden.

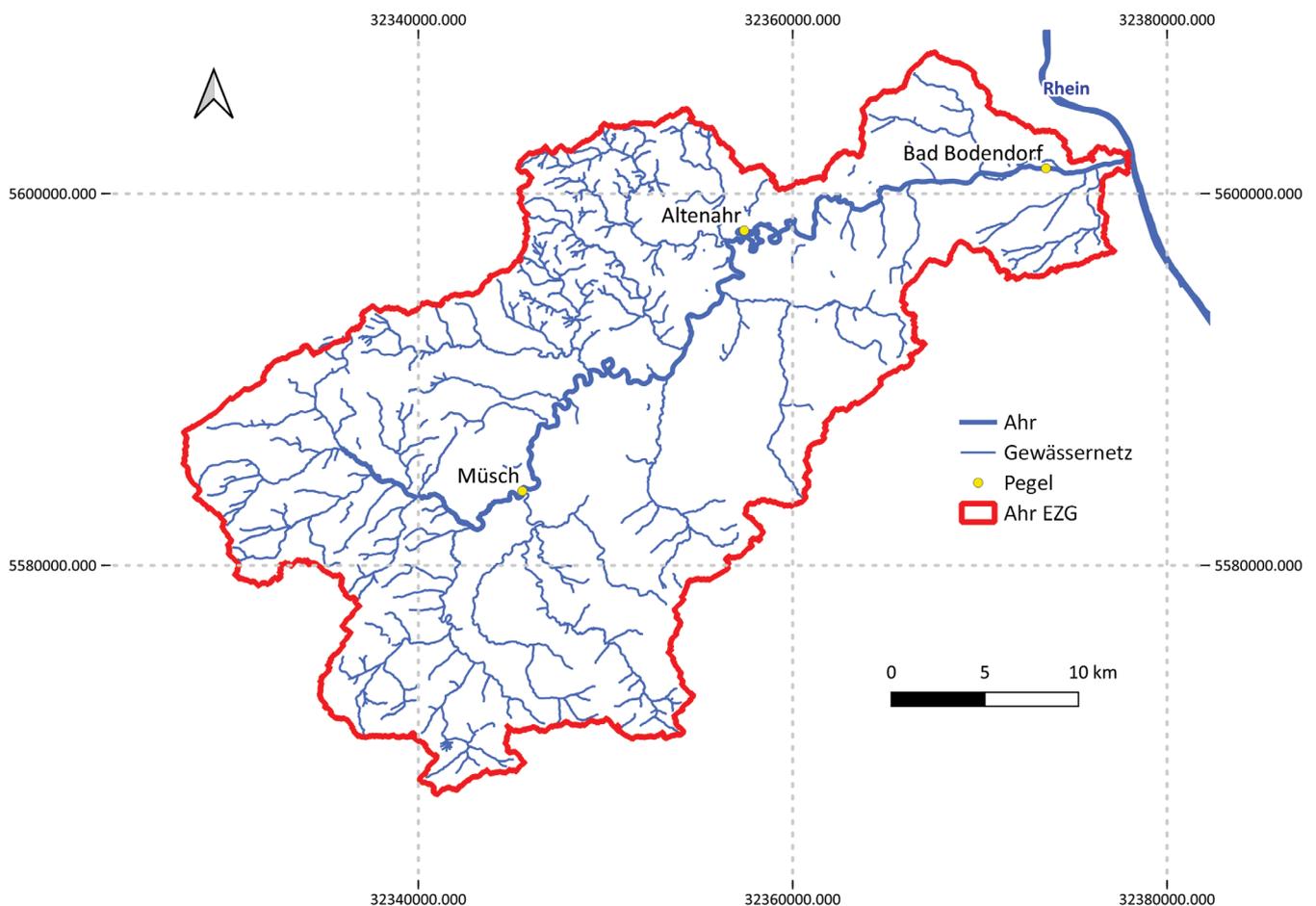
Es erscheint daher wichtig, die statistische Grundlage für die Abschätzung der Hochwassergefährdung kontinuierlich zu aktualisieren und zu verbessern und, wo sinnvoll und möglich, historische Hochwasser in die Abschätzung der Hochwasserquantile einzubeziehen. Im Nachgang der Hochwasserkatastrophe 2021 stellt diese Arbeit eine Abschätzung der Hochwassergefährdung

im unteren Ahrtal unter Berücksichtigung historischer Hochwasser vor. Basierend darauf werden Empfehlungen zur Aktualisierung von Gefährdungskarten abgeleitet und diskutiert.

## 2 Datengrundlage

Das Einzugsgebiet der Ahr hat eine Fläche von ca. 900 km<sup>2</sup> und entwässert das Mittelgebirge der Ahr-Eifel in den Rhein bei Sinzig (Abb. 2).

Die 86 km lange Ahr ist mehrfach bepegelt, mit Pegeln in Müsch, Altenahr und Bad Bodendorf bei Sinzig. Dazu kommen weitere Wasserstandspegel an den Zuflüssen. Für die Analyse der Hochwasserstatistik im Ahrtal wurden vom Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz bereitgestellte Abflusswerte am Pegel Altenahr im Zeitraum von 1946 bis 2019 (geprüfte Tagesmittelwerte) (Abb. 3) und von 1991 bis 2019 (geprüfte 15-Minuten-Werte) herangezogen. Die Einzugsgebietsgröße am Pegel Altenahr beträgt 746 km<sup>2</sup>. Diese Messdaten wurden durch die rekonstruierten Abflusswerte der historischen Hochwasser nach ROGGENKAMP & HERGET (2014) ergänzt. Diese Abschätzung basiert auf historischen Hochwassermarken und auf der Rekonstruktion von historischen Querprofilen. Dabei wurden die in Tabelle 1 zusammengefassten Abflusswerte inklusive der abgeschätzten Unsi-



**Abbildung 2**  
Das Ahr-Einzugsgebiet, das Gewässernetz und die Pegellage.  
*The Ahr catchment, river network and location of gauges.*

**Tabelle 1**

Übersicht von abgeschätzten Spitzenabflüssen für historische Hochwasser am Pegel Altenahr (ROGGENKAMP & HERGET, 2014). \*Die Spitzenabflüsse für das Hochwasser 1804 wurden hier vom Standort Dernau (ca. 10 km flussabwärts) durch eine 10%-Reduktion abgeschätzt. Diese Reduktion entspricht dem Verhältnis zwischen den Abflüssen bei Altenahr und Dernau für andere historische Hochwasser.  
*Overview of the estimated peak flows for historical floods at Altenahr gauge (ROGGENKAMP & HERGET, 2014). \*Peak flows for the 1804 flood were computed here from an estimation at Dernau (c. 10 km downstream) using a 10% reduction factor. This corresponds to the peak discharge ratio at these locations for other historical floods.*

Hochwasser	Minimum	Mittelwert	Maximum
21. Juli 1804	850* m <sup>3</sup> /s	1.090* m <sup>3</sup> /s	1.440* m <sup>3</sup> /s
24. Juni 1888	230 m <sup>3</sup> /s	280 m <sup>3</sup> /s	360 m <sup>3</sup> /s
13. Juni 1910	410 m <sup>3</sup> /s	500 m <sup>3</sup> /s	630 m <sup>3</sup> /s
16. Januar 1918	190 m <sup>3</sup> /s	240 m <sup>3</sup> /s	300 m <sup>3</sup> /s
11. Januar 1920	140 m <sup>3</sup> /s	170 m <sup>3</sup> /s	220 m <sup>3</sup> /s

cherheiten berücksichtigt. Die Unsicherheiten stammen aus der Variation der Rauigkeitsbeiwerte während der Rekonstruktion (ROGGENKAMP & HERGET, 2014).

Die Abschätzung des Spitzenabflusses für das Ereignis im Jahr 1804 liegt allerdings nur für den Ort Dernau wenige Kilometer flussabwärts vom Pegel Altenahr vor. Die Abflusswerte für den Pegel Altenahr wurden daher aus dem Verhältnis zwischen den rekonstruierten Abflüssen für das Ereignis in 1910 (ROGGENKAMP & HERGET, 2014) abgeschätzt und betragen etwa 90 % der Abflussspitze bei Dernau.

Abbildung 3 zeigt, dass der Großteil der maximalen Jahresabflüsse Winterereignisse waren. Jedoch sind die größten historischen Hochwasser sowie das größte gemessene Hochwasser (2016) im Sommer aufgetreten.

Zum jetzigen Zeitpunkt liegt keine verlässliche Abschätzung des Spitzenabflusses für das Hochwasser im Juli 2021 vor. Die Pegel Müsch und Altenahr wurden durch die Hochwasserwelle vor dem Erreichen des Höchststands vollständig zerstört. Eine erste Rekonstruktion durch ROGGENKAMP & HERGET (2022) anhand von Hochwassermarken geht von einem Spitzenabfluss

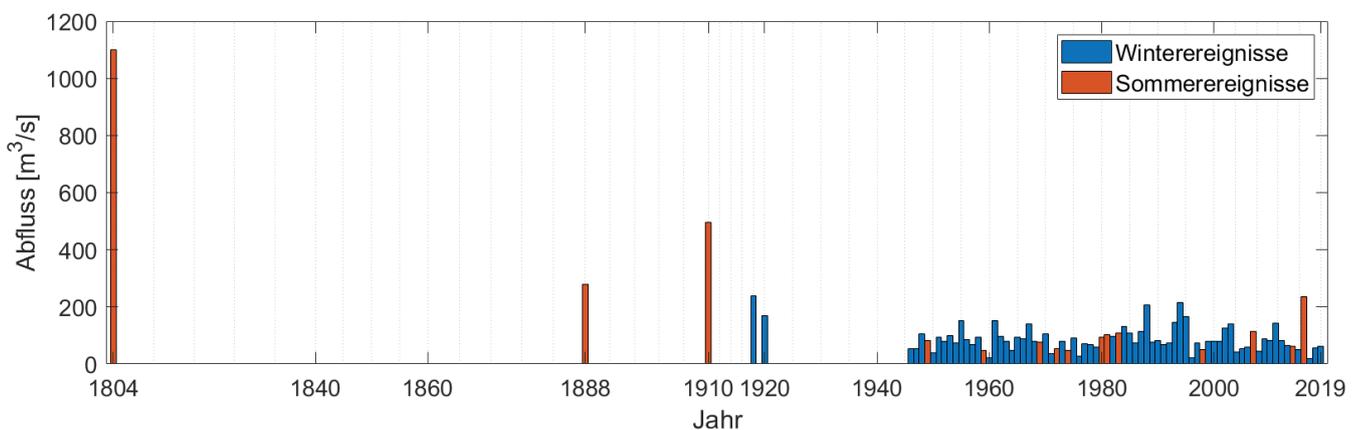
zwischen 1.000 und 1.200 m<sup>3</sup>/s am Pegel Altenahr aus, was etwa dem höchsten historischen rekonstruierten Abfluss im Jahr 1804 entspricht. In dieser Arbeit nehmen wir für den Spitzenabfluss beim Juli-Hochwasser 2021 den gleichen Wert von 1.090 m<sup>3</sup>/s wie beim Hochwasser 1804 an.

Um die Abflüsse am Pegel Altenahr in die Wasserstände umzurechnen, wurde eine Wasserstand-Abfluss-Beziehung am Pegel Altenahr aufgestellt, die sich auf aktuelle Abfluss- und Wasserstandsmessungen im Zeitraum von 2016 bis 2019 stützt. Die Berechnung der Hochwassergefährdung, konkret von Überflutungsflächen und räumlich verteilten Wassertiefen, mit einem hydrodynamisch-numerischen Modell (Kap. 3.2) erfolgte auf der Grundlage des Digitalen Geländemodells (DGM) mit einer Auflösung von 10 x 10 m vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG).

### 3 Methoden

#### 3.1 Extremwertstatistik

Die Extremwertstatistik am Pegel Altenahr wurde auf Basis von jährlichen maximalen Abflüssen in den hydrologischen Jahren (vom 1. November bis 31. Oktober des Folgejahres) aus den o. g.



**Abbildung 3**

Maximale jährliche Spitzenabflüsse der systematisch gemessenen und historischen Hochwasser am Pegel Altenahr aufgeteilt nach Winter- (November bis April) und Sommerereignissen (Mai bis Oktober).  
*Annual maximum peak discharge of systematically measured and historical floods at Altenahr gauge split into winter (November to April) and summer (May to October) events.*

Zeitreihen abgeleitet. Aufgrund der relativ geringen Einzugsgebietsgröße ist es zunächst erforderlich, die Spitzenabflüsse für das jeweilige Jahr aus den vorliegenden Tagesmittelwerten abzuschätzen. Dabei wurde eine Regression ( $R^2 = 0,94$ ) zwischen jährlichen Maxima der Tagesmittelwerte und den entsprechenden Spitzenabflusswerten im Zeitraum 1991 bis 2019 im Zeitfenster von  $\pm 2$  Tagen gebildet und anschließend zur Berechnung von Spitzenabflüssen der Jahre 1946 bis 1990 eingesetzt. Die Berechnung von empirischen Wahrscheinlichkeiten (Plotting Positions) erfolgte mittels Weibull-Formel (MAKKONEN, 2006). Zur Berechnung der Jährlichkeiten wurde die Generalisierte Extremwertverteilung (GEV) an die systematisch beobachteten jährlichen Spitzenabflusswerte mittels Methode der L-Momente angepasst (DWA, 2012). GEV wird im Ahrtal für die Ermittlung von Hochwasser-Quantilen vom Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz eingesetzt.

Die Berücksichtigung von historischen Hochwasserabflüssen (Tab. 1) und deren Unsicherheiten in der Extremwertstatistik erfolgte in Anlehnung an die Methode von BOMERS et al. (2019), der ein Bootstrap-Verfahren zugrunde liegt. Dabei werden die gemessenen Zeitreihen durch wiederholtes Ziehen der Spitzenabflüsse aus dem beobachteten Zeitraum und Auffüllen von Lücken im historischen Zeitraum künstlich verlängert. Dieses Verfahren beruht auf der Annahme, dass sich die Variabilität der Abflüsse im historischen Zeitraum – abgesehen von den historischen Ereignissen – nicht ändert. Die dadurch verlängerte Zeitreihe besteht somit aus (1) synthetisch generierten, (2) historischen und (3) gemessenen jährlichen Spitzenabflüssen. Die Abflusswerte, die im Bootstrap-Verfahren gezogen werden, liegen dabei unter einem zuvor gewählten Schwellenwert. DWA (2012) empfiehlt den Schwellenwert bei dem niedrigsten historischen Hochwasserabfluss festzulegen, was einer "Wahrnehmungsgrenze" für historische Ereignisse entspricht. Im Unterschied zu DWA (2012) empfehlen BOMERS et al. (2019), den Anfang der verlängerten Zeitreihe nicht auf das Jahr des ältesten historischen Hochwassers festzulegen, weil dies die Abschätzung von Jährlichkeiten systematisch verzerrt. Nach SCHENDEL & THONGWICHIAN (2017) wird die Länge der Zeitreihe  $M$  über das älteste Hochwasser hinaus verlängert und beträgt aufgerundet auf die ganze Jahreszahl:  $M = L + (L + N - 1)/k$ , wobei  $L$  die Anzahl der Jahre zwischen dem ältesten historischen Hochwasser und dem Beginn der systematischen Messungen darstellt.  $N$  ist die Länge der Messzeitreihe und  $k$  ist die Anzahl der Hochwasser sowohl in der historischen Reihe als auch in der Messreihe, die den gewählten Schwellenwert überschreiten. Dieser Schwellenwert ändert sich bei jeder Bootstrap-Ziehung je nach gezogenen historischen Abflüssen aus dem Wertebereich.

Die Bootstrap-Methode erlaubt, sowohl die Stichprobenunsicherheit, die durch das zufällige Ziehen entsteht, in der Abschätzung der Hochwasserjährlichkeiten als auch die Unsicherheiten, die mit der Abschätzung historischer Abflusswerte verbunden sind, zu berücksichtigen. Bei Letzteren wurde eine Gleichverteilung zwischen den in der Tabelle 1 angegebenen Randwerten angenommen. Dabei wurde bei allen fünf historischen Hochwassern (Tab. 1) das gleiche Quantil in einer Iteration gezogen, was einer kohärenten Annahme der Rauigkeit entspricht. Für die vorliegende Analyse wurden 10.000 Bootstrap-Iterationen durchgeführt. Es sollte beachtet werden, dass je nach Annahme der historischen Hochwasserabflüsse

im Unsicherheitsbereich unterschiedliche Schwellenwerte bei jeder Bootstrap-Iteration für die o. g. "Wahrnehmungsgrenze" festgelegt werden. Dies beeinflusst die Länge der erweiterten Abflusszeitreihe, die sich zwischen 228 und 260 Jahren bewegt. Die Unsicherheiten, die dadurch entstehen, sind jedoch in dem Konfidenzintervall abgebildet.

### 3.2 Hydrodynamisch-numerisches Modell RIM2D

Für die Abschätzung der Hochwassergefährdung wurde für die Fließstrecke unterhalb des Pegels Altenahr bis zu Mündung in den Rhein das rasterbasierte zweidimensionale hydrodynamisch-numerische Modell RIM2D auf Basis des DGM10 aufgebaut. Die Größe der Simulationsdomäne beträgt ca. 140 km<sup>2</sup> und beinhaltet beinahe 1,5 Mio. Gitterzellen. Der Flussschlauch wurde im Modell nur soweit berücksichtigt, wie er im DGM10 abgebildet ist. Es wird hier davon ausgegangen, dass diese Vereinfachung bei der Simulation von extremen Abflüssen in dem relativ seichtem Ahr-Fluss keinen entscheidenden Einfluss auf die Simulationsergebnisse hat. Dies wurde durch eine Sensitivitätsanalyse mit dem RIM2D-Modell an der unteren Ahr bestätigt (APEL et al., 2022, in Begutachtung). In RIM2D wird die vereinfachte Flachwassergleichung ohne konvektive Beschleunigung (BATES et al., 2010; DE ALMEIDA et al., 2012) mit der expliziten Finite-Differenzen-Methode numerisch gelöst. Das Modell ist auf NVIDIA-Grafikprozessoren (GPUs) parallelisiert und liefert Informationen zu Überflutungsflächen und maximalen Überflutungstiefen sowie Fließgeschwindigkeiten als Gefährdungsindikatoren.

RIM2D wird mit der Wasserstandsganglinie am Pegel Altenahr als obere Randbedingung angetrieben. Die Wasserstände wurden aus der W/Q-Beziehung abgeleitet, die anhand von Abfluss- und Wasserstandsmessungen in den Jahren 2016 bis 2019 aufgestellt wurde ( $R^2 = 0,995$ ). Der ausgewählte Zeitraum beinhaltet auch den größten systematisch gemessenen Abfluss vor Juli 2021 von 236 m<sup>3</sup>/s (gemessen am 2. Juni 2016). In RIM2D werden die Wassertiefen in jedem Zeitschritt auf die Gewässerzellen am Pegel Altenahr aufgeprägt. Als untere Randbedingung wird die Normaltiefe am Rand der Simulationsdomäne angenommen, was einem Wasserspiegelgradienten gleich dem Geländegradienten am Modellrand entspricht. Weitere laterale Zuflüsse entlang der Strecke wurden nicht berücksichtigt, sollten aber im Vergleich zum Abfluss im Hauptstrom relativ gering sein. Die räumlich verteilten Rauigkeitsbeiwerte nach Manning wurden entsprechend der Landnutzung nach CORINE (2018) wie folgt mit Standardwerten parametrisiert: bebauter Raum: 0,02; Wald: 0,05; alle übrigen Flächen: 0,03.

Für das Hochwasser im Juli 2021 wurde das Modell RIM2D mithilfe der vom Landesumweltamt Rheinland-Pfalz kartierten Überflutungsflächen und gemeldeten Hochwassermarken validiert. Die erzielten hohen Übereinstimmungen der Überflutungsflächen und auch mit den Hochwassermarken belegen die Validität des Modells und der Simulationen (APEL et al., 2022, in Begutachtung).

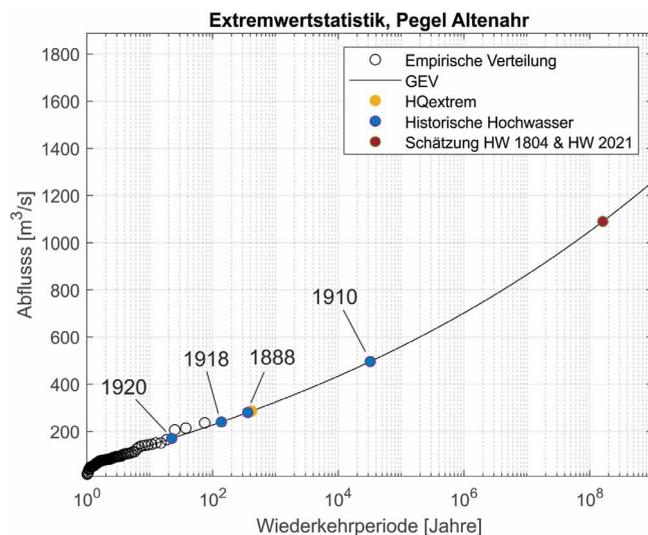
## 4 Ergebnisse

Die Hochwasserstatistik nach Anpassung einer Generalisierten Extremwertverteilung (GEV) an die 74-jährige beobachtete Zeitreihe von Spitzenabflusswerten ist in Abbildung 4 dargestellt. Die historischen Hochwasser wurden bei der Anpassung zunächst

nicht berücksichtigt, sind aber in die angepasste Verteilung eingeordnet.

Es wird zunächst deutlich, dass das GEV-Modell eine sehr gute Anpassung an die beobachteten Spitzenabflüsse liefert. Die entsprechenden Quantile sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Es ist davon auszugehen, dass jeweils ähnliche Abflusswerte von HQ100 und HQextrem für die Erstellung von amtlichen Gefahrenkarten zugrunde gelegt wurden. Der Ausschnitt um die Stadt Bad Neuenahr-Ahrweiler in Abbildung 5 zeigt eine relativ geringe Gefährdung von bebauten Flächen für das amtliche HQextrem-Szenario<sup>5</sup>. Der Vergleich mit den im Juli 2021 auf-

5 <https://hochwassermanagement.rlp-umwelt.de>



**Abbildung 4**

Anpassung der Generalisierten Extremwertverteilung (GEV) an die beobachteten jährlichen Spitzenabflüsse am Pegel Altenahr (1946 bis 2019). Die historischen Hochwasserabflüsse sowie die Schätzungen von HQextrem und dem Hochwasser 2021 sind in die Verteilung eingeordnet. *Generalized Extreme Value distribution fitted to the empirical plotting positions of the observed annual maximum instantaneous peak flows at Altenahr gauge (1946 to 2019). The historical flood flows as well as the estimation of the HQextrem and the flood in 2021 are indicated.*

**Tabelle 2**

Geschätzte Abflüsse für ausgewählte Jährlichkeiten am Pegel Altenahr mit und ohne Berücksichtigung historischer Hochwasser. Abschätzung der Jährlichkeiten für HQextrem, Hochwasser 1804 und für die vorläufige Schätzung des Spitzenabflusses im Juli 2021. Die Jährlichkeit von HQextrem bezieht sich auf den abgeleiteten Abfluss für HQextrem. *Estimation of discharges for selected flood quantiles at Altenahr gauge with and without consideration of historical floods. Estimation of return periods for HQextrem, 1804 flood are based on the provisional estimate of peak flow in July 2021. The return period for HQextrem corresponds to the computed discharge value for HQextrem.*

	GEV (1946 bis 2019) ohne historische Hochwasser	GEV mit historischen Hochwassern (5- bis 95-Perzentil)
HQ100	227 m <sup>3</sup> /s	315 (269, 365) m <sup>3</sup> /s
HQextrem (1,26 * HQ100)	286 m <sup>3</sup> /s	397 (339, 460) m <sup>3</sup> /s
HQ1000	322 m <sup>3</sup> /s	609 (465, 795) m <sup>3</sup> /s
HQextrem (GEV)	419 Jahre	221 (80, 985) Jahre
HW1804/HW2021	> 10 <sup>8</sup> Jahre	8.663 (2.645, 58.731) Jahre

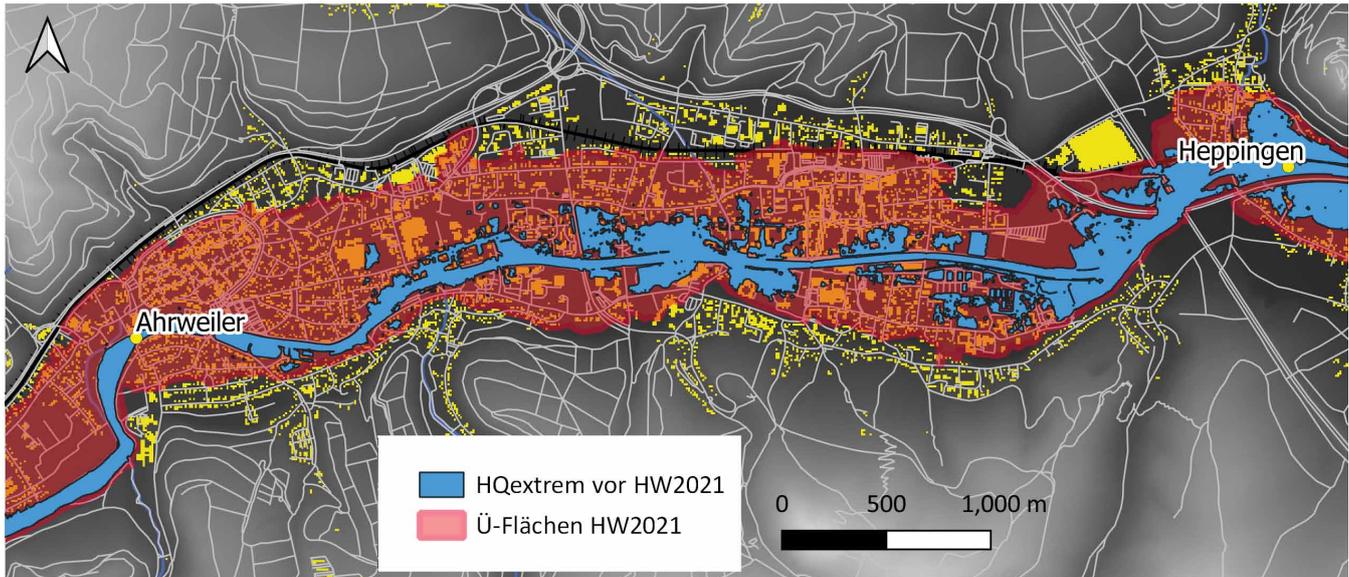
getreten Überflutungsflächen deutet auf eine Unterschätzung der Hochwassergefahr hin.

Die angepasste Verteilung hat einen relativ geringen Shape-Parameter ( $\xi = 0,06$ ). Die theoretisch abgeschätzte Jährlichkeit für das Hochwasser 2021 (HW2021) würde laut diesem Modell bei etwa 100 Millionen Jahren liegen. Die aufgezeichneten historischen Hochwasser (mediane Schätzung) zeigen jedoch, dass es in den letzten 218 Jahren inklusive des Hochwassers vom Juli 2021 bereits drei Ereignisse gab (1804, 1910, 2021), die über dem abgeschätzten HQextrem lagen, dessen Abfluss einer Wiederkehrperiode von 419 Jahren entspricht (Tab. 2). Es kann somit davon ausgegangen werden, dass die in Abbildung 4 dargestellte Verteilung die Statistik der Grundgesamtheit nicht verlässlich abbildet.

Die Berücksichtigung von historischen Hochwassern und deren Unsicherheiten ergibt eine andere Extremwertverteilung mit deutlich höherem Shape-Parameter (Abb. 6). Der Median des Shape-Parameters liegt bei  $\xi = 0,26$  und streut je nach Stichprobe im Bootstrap-Verfahren zwischen etwa 0,1 und 0,4. Das deutet auf eine Verteilung mit einem schweren Rand hin. Als solche bezeichnet man eine Verteilung, deren Rand langsamer abfällt als der Rand einer exponentiellen Verteilung; die Wahrscheinlichkeiten von Extremen sind dabei größer als bei der exponentiellen Verteilung. Demzufolge resultieren aus dieser Verteilung deutlich höhere Abflussschätzungen für HQ100, HQextrem und HQ1000 sowie deutlich geringere Wiederkehrperioden für HQextrem, d. h. für das größte historische Hochwasser 1804 und das Hochwasser 2021 (Tab. 2). Bemerkenswerterweise halbiert sich nahezu die (mediane) Wiederkehrperiode von HQextrem von 419 auf 221 Jahre, und die untere Grenze des 90%-Konfidenzintervalls fällt mit 80 Jahren sogar unter die Marke der 100-jährlichen Wiederkehrperiode.

Die geschätzten Jährlichkeiten für das Hochwasser 2021 reduzieren sich deutlich, liegen dennoch in einem vier- bis fünfstelligen Bereich (Tab. 2). Trotz der synthetischen Erweiterung der Abflusszeitreihe im Bootstrap-Verfahren auf über 200 Jahre sind deutliche Abweichungen der angepassten GEV von den historischen Hochwassern im Extrembereich zu beobachten (Abb. 6). Die synthetischen Stichproben werden stark von vielen kleineren Hochwassern dominiert, sodass die extremen Ausreißer nicht durch die angepasste GEV getroffen werden.

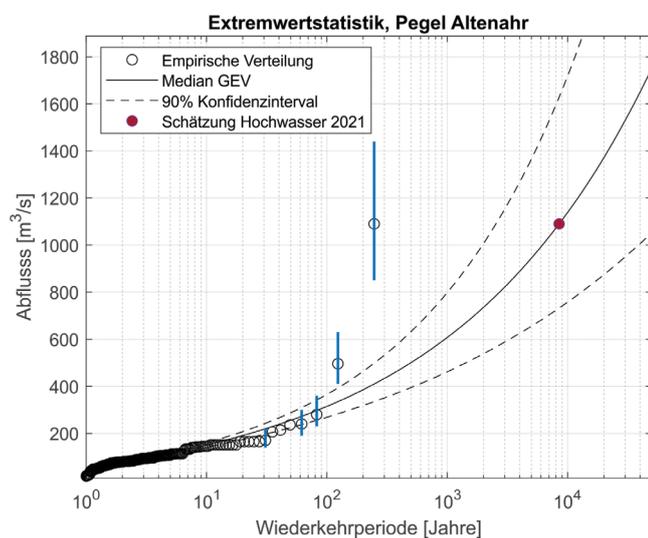
Um die Hochwassergefährdung im Unterlauf des Pegels Altenahr abzuschätzen, wurde das hydrodynamisch-numerische Modell RIM2D zum einen mit der medianen Schätzung von HQ1000 (609 m<sup>3</sup>/s = 5,46 m Wasserstand Pegel Altenahr) und zum anderen mit dem höchsten geschätzten historischen Spitzenabfluss im Jahr 1804 von 1.090 m<sup>3</sup>/s angetrieben, was einem Wasserstand am Pegel Altenahr von 7,29 m entspricht. Die Ermittlung von Wasserständen entsprechend der Abflusswerte erfolgte mit der in Kapitel 3.2 eingeführten W/Q-Beziehung. Für die Ableitung der Randbedingung für die Simulation wurde die Abflussganglinie des bisher höchsten systematisch gemessenen Hochwasserereignisses vom 2. Juni



**Abbildung 5**

Ausschnitt der Hochwassergefahrenkarte für HQextrem (amtliche Schätzung vor dem Hochwasser 2021, Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz) bei der Stadt Bad Neuenahr-Ahrweiler. Ausdehnung von Überflutungsflächen beim Hochwasser 2021.  
 Section of flood hazard map for HQextrem (official estimation prior to July 2021 flood, Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz) at the town of Bad Neuenahr-Ahrweiler. Inundation area during the 2021 flood.

2016 als Grundlage genommen, auf den Spitzenabfluss normiert und anschließend auf die Wasserstände des HQ1000 und den Spitzenabfluss von 1804 bzw. von 2021 hochskaliert. Mit der Annahme der Abflussganglinie von 2016 wird auf die Daten-



**Abbildung 6**

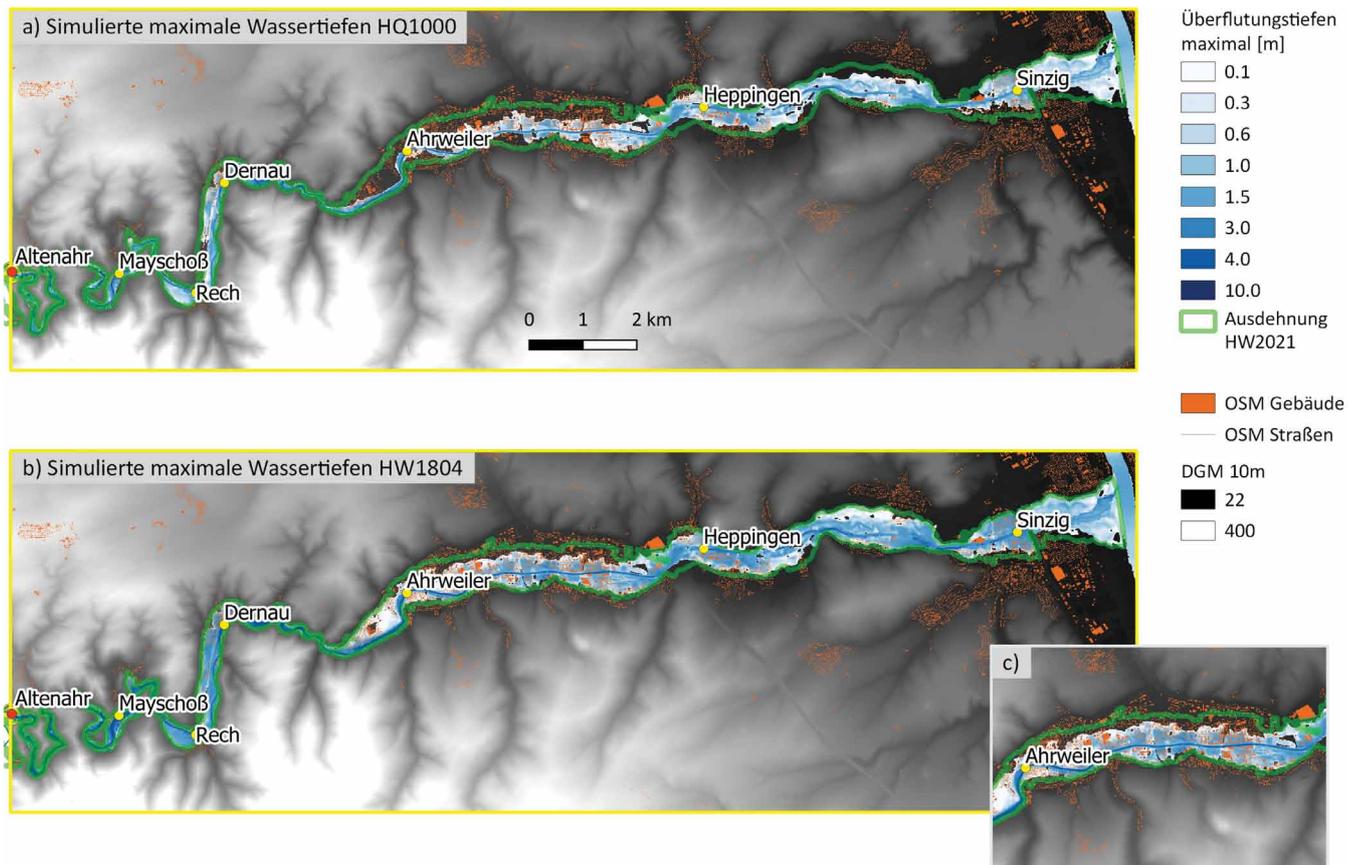
Anpassung der Generalisierten Extremwertverteilung (GEV) an die synthetisch erweiterte Abflusszeitreihe am Pegel Altenahr unter Berücksichtigung historischer Hochwasser. Blaue Balken stellen die Unsicherheiten der Schätzung von Abflüssen bei fünf historischen Hochwassern dar. Die Schätzung des Hochwassers im Juli 2021 ist in die Verteilung eingeordnet.

Generalized Extreme Value distribution fitted to the empirical plotting positions of the synthetically extended peak flows at Altenahr gauge considering historical floods. Blue bars show the uncertainty in estimation of peak flows for five historical events. The estimation of the 2021 flood flow is indicated.

grundlage zurückgegriffen, wie die vor dem Hochwasser 2021 zur Verfügung stand. Im Weiteren wird deshalb vom Hochwasser-szenario HW1804 gesprochen und nicht vom HW2021, weil die Hydrographen Form des synthetischen Szenarios nicht der Hochwasserwelle im Juli 2021 entspricht, wohl aber dessen Spitzenabfluss.

Abbildung 7 zeigt die simulierten Überflutungsflächen und maximalen Überflutungstiefen für HQ1000 und HW1804 (Hochwasser 1804). Beide Simulationen zeigen im Vergleich zum bislang geltenden HQextrem (Abb. 5) wesentlich größere überflutete Bereiche und höhere Überflutungstiefen. Der Ausschnitt in Abb. 7c zeigt den gleichen Flussabschnitt wie in Abb. 5. Erwartungsgemäß ist das Ausmaß der Überflutung des HW1804 größer als beim HQ1000. In beiden Fällen sind die Ortschaften im mäandrierenden und tief eingeschnittenen Abschnitt der Ahr zwischen Altenahr und Bad Neuenahr-Ahrweiler stark betroffen und zu großen Teilen überflutet. Die Wasserstände der Ahr erreichen hier im Falle des HW1804 die 10-m-Marke über der Geländeoberfläche, was auch beim HW2021 beobachtet wurde und zu einer enormen Gefährdung in bewohnten Bereichen geführt hat. Weiterhin sind auch große Teile der Stadt Bad Neuenahr-Ahrweiler und alle unterstrom gelegenen Kommunen stark betroffen. Das modellierte HW1804 erreicht dabei fast die kartierte Ausbreitung des HW2021.

Der Unterschied ist einerseits durch unterschiedliche Hydrographenfülle zu erklären. Des Weiteren konnten APEL et al. (2022) mithilfe einer rekonstruierten Wasserstandsganglinie am Pegel Altenahr, welche die während des Hochwassers beobachteten Verklausungen der Brücken berücksichtigt, zeigen, dass durch die dadurch höheren Wasserstände die Überflutungsflächen und auch Hochwassermarken mit demselben Modellaufbau sehr gut simuliert werden konnten. Dieser Effekt ist durch die direkte Abschätzung der Wasserstände aus der aktuellen W/Q-Beziehung



**Abbildung 7**

Hydrodynamisch-numerische Simulation von Überflutungstiefen für ein Hochwasserszenario (a) HQ1000 = 609 m<sup>3</sup>/s und (b) HW1.804 = 1.090 m<sup>3</sup>/s am Pegel Altenahr und der Vergleich mit kartierten Überflutungsflächen des HW2021 (Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz). Vergrößerung in c) zeigt den Überflutungsbereich in der Stadt Bad Neuenahr-Ahrweiler für das modellierte HW1804.

*Hydrodynamic simulation of inundation depths for a flood scenario with peak flow of (a) HQ1000 = 609 m<sup>3</sup>/s and (b) HW1804 = 1090 m<sup>3</sup>/s at Altenahr gauge and comparison with the mapped inundation extent of the 2021 flood (Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz). The inset in c) shows inundation area in the town Bad Neuenahr-Ahrweiler for the simulated 1804 flood.*

Altenahr nicht berücksichtigt und wurde auch bei der Rekonstruktion des HW1804 nicht in Betracht gezogen.

## 5 Diskussion

Die Ausweisung von Überschwemmungsgrenzen für das HQ100 hat im Wasserhaushaltsgesetz (WHG) eine klar definierte Funktion: die amtliche Festsetzung von Überschwemmungsgebieten. Das WHG regelt weiterhin die Bebauung und Nutzung in festgesetzten Überschwemmungsgebieten. Zusätzlich überschwemmte Flächen aus den Hochwassergefährdungskarten für HQextrem werden im WHG als Risikogebiete bezeichnet, in denen Maßnahmen der Bauvorsorge umgesetzt werden sollen. Sie dienen im Allgemeinen als Grundlage für die kommunale Planung (z. B. Siedlungsplanung, Bauvorsorge), Gefahrenabwehr und Katastrophenschutz (z. B. Evakuierungsplanung) sowie individuelle Gefahrenabschätzung (LAWA, 2018). Derzeit existiert in Deutschland keine einheitliche Festlegung für Quantile, die für die Abschätzung der Hochwassergefährdung durch HQextrem eingesetzt werden. Diese schwanken zwischen HQ200 (z. B. in Brandenburg und Sachsen-Anhalt) und über HQ1000 in Baden-Württemberg (LUBW, 2015). Die Hochwasserereignisse vom Juli 2021 haben gezeigt, dass die Hochwassergefahrenkarten für HQextrem eine wichtige Funktion haben, die darin besteht,

die betroffene Bevölkerung und das Katastrophenmanagement möglichst vor Überraschungen durch Extremereignisse zu schützen, indem diese Bereiche rechtzeitig evakuiert werden. Unerwartete Katastrophenszenarien reduzieren die Handlungsfähigkeit vom Katastrophenmanagement und können zu desaströsen Konsequenzen führen (MERZ et al., 2015). Unter diesem Gesichtspunkt erscheint eine einheitliche Vorgehensweise für die Festlegung von HQextrem sinnvoll, die sich eher an höheren Quantilen z. B. HQ1000 orientiert. Insbesondere im Ahrtal legt die Häufigkeit von historischen Hochwassern jenseits des derzeit verwendeten HQextrem nahe, dass sich das HQextrem eher an höheren Quantilen orientieren sollte. Zusätzlich erscheint es sinnvoll, entweder Modellstudien zum maximal möglichen Hochwasser durchzuführen oder historisch aufgetretene Extremereignisse sorgfältiger auszuwerten und ihre (vermutlich) maximale Ausdehnung in Gefahrenkarten als Zusatzinformation einzuzeichnen. Denn im Fall des Pegels Altenahr zeigt die Extremwertstatistik anhand von systematisch gemessenen Abflussdaten, dass selbst die Wahl von extrem hohen Quantilen (HQ1000 oder HQ10000) den Abfluss und die Überflutungsflächen des aktuellen 2021-Ereignisses sowie bei einigen historischen Ereignissen unterschätzen würde. Zwar sind die wahren Wiederkehrperioden dieser Ereignisse unbekannt, dennoch ist klar, dass selbst die Wahl der o. g. Quantile nicht vor allen Überraschungen schützen kann.

Die Berücksichtigung von historischen Hochwassern in der Extremwertstatistik ist generell und insbesondere im Ahrtal von entscheidender Bedeutung, um Unsicherheiten am oberen Ende der Verteilung zu reduzieren. Es muss jedoch beachtet werden, dass man bei der angewandten Methode die Stationarität der Zeitreihe annimmt. Diese Annahme kann jedoch verletzt sein, wenn die historischen Hochwasser sehr weit in der Vergangenheit bzw. in Zeitperioden liegen, die durch besondere klimatische Bedingungen gekennzeichnet sind. Daher sollte z. B. geprüft werden, ob historische Ereignisse in den sogenannten hochwasserreichen oder hochwasserarmen Perioden liegen (BLÖSCHL et al., 2020; MERZ et al., 2016; SCHMOCKER-FACKEL & NAEF, 2010) und wie die rezente Periode dazu im Verhältnis steht. Zudem wirkt sich der anthropogene Klimawandel bereits auf die Hochwasserentstehung in europäischen Flüssen aus und wird dies auch in der Zukunft tun (BLÖSCHL et al., 2019). Vor diesem Hintergrund gehen die Überlegungen zur Novellierung des DWA-Merkblatts M-552 zur Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten in die richtige Richtung<sup>6</sup>. Darin wird vorgeschlagen, einen stärkeren Fokus auf die Hochwasserstatistik basierend auf Hochwassertypen zu legen und die Zeitreihen systematisch auf Instationaritäten zu prüfen. Es lohnt sich also ein kritischer Blick auf die Auswahl der zu berücksichtigten historischen Ereignisse.

Die vorgestellte Analyse zeigt, dass selbst unter Berücksichtigung von historischen Hochwassern und deren Unsicherheiten das 90%-Konfidenzintervall des HQ1000 die Abflussschätzung für die Hochwasser der Jahre 1804 und 2021 nicht beinhaltet. Es ist anzumerken, dass die angepasste GEV eine deutliche Abweichung von empirischen Wahrscheinlichkeiten im Randbereich aufweist. Sowohl der Abfluss von 1804 als auch von 1910 liegen außerhalb des 90%-Konfidenzintervalls. Einerseits können die wahren Jährlichkeiten dieser Ereignisse deutlich größer sein, als durch die empirischen Wahrscheinlichkeiten dargestellt, auf der anderen Seite könnte es sich bei diesen sehr extremen Ereignissen um Ereignisse handeln, die einer anderen Grundgesamtheit angehören als die kleineren Hochwasser. Das heißt, es sind Ereignisse, die durch besondere meteorologische und hydrologische Prozesse hervorgerufen werden, z. B. durch eine sehr seltene Wettersituation bzw. durch eine besondere Art der Abflussbildung, die zu höheren Abflussbeiwerten führt. In diesen Fällen wäre die Annahme der Homogenität der Stichprobe verletzt und die Anpassung einer Verteilung unzulässig. Es würde sich um eine gemischte Stichprobe handeln, an die eine Mischverteilung anzupassen wäre. Dies erfordert jedoch eine prozessbasierte oder saisonbedingte Identifikation von unterschiedlichen Stichproben, die ausreichende Längen haben sollten. Die entsprechenden Methoden zur Anwendung der saisonalen Extremwertstatistik werden z. B. in DWA (2012), SCHUMANN (2005) und FISCHER et al. (2016) vorgestellt. Somit könnten die Wahrscheinlichkeiten von extremen Ereignissen deutlich höher sein, als aus der GEV hervorgeht. Die saisonale Analyse von Hochwassern im Ahrtal zeigt, dass der größere Teil der Jahresmaxima im Winterhalbjahr auftritt (Abb. 3). Die historischen Extreme treten jedoch sowohl im Winter als auch im Sommer auf, wobei die allergrößten Ereignisse in 1804, 1888 und 1910 sowie das Ereignis im Juli 2021 Sommerereignisse waren. Es gilt daher, die meteorologischen und hydrologischen Prozesse besser zu verstehen, die zu solchen

seltene und besonderen Extremen und somit zum schweren Rand der Verteilung führen.

Wie geht man mit solchen Ausnahmeereignissen um und wie sind diese in den Hochwassergefahrenkarten zu berücksichtigen? Neben der Festlegung eines höheren Quantils, z. B. HQ1000 für die Hochwassergefahrenkarten von HQextrem, empfiehlt sich die Kennzeichnung von potenziellen Überflutungsflächen des größten verlässlich dokumentierten historischen Hochwassers oder eines realistischen synthetischen Worst-Case-Szenarios. Diese zusätzliche Information kann z. B. in Form von Konturlinien auf den Gefahrenkarten dargestellt werden. In Gebieten, wo historische Hochwasser die Abschätzung von HQ1000 deutlich übersteigen, wie im Ahrtal, kann diese Information eine wesentliche Stütze im extremen Katastrophenfall werden, insbesondere für Evakuierungsentscheidungen, die in diesen Fällen Menschenleben retten. Die gleiche Funktion erfüllt die Darstellung von Überflutungsflächen bei Worst-Case-Szenarien, die sich z. B. durch simulierte Maximierung, Ausdehnung oder räumliche Verschiebung von Niederschlagsfeldern, durch Annahmen zum Versagen von Hochwasserschutzanlagen oder zur Verklauung von Durchlässen ergeben können. Auch Szenarien, die zur extremen Abflussbildung führen, z. B. durch einen Infiltrations- oder Sättigungsüberschuss oder durch eine verstärkte Abflusskonzentration in Folge der Erosionsprozessen, verdienen eine besondere Beachtung. In diesem Zusammenhang ist in Mittelgebirgsregionen die Identifizierung und Ausweisung von Hochwasserentstehungsgebieten, die das Wasserhaushaltsgesetz ermöglicht, zu prüfen.

Das in dieser Arbeit beispielhaft simulierte Szenario des maximalen abgeschätzten historischen Spitzenabflusses vom HW1804 zeigt eine deutlich stärkere Gefährdung im Bereich der Stadt Bad Neuenahr-Ahrweiler als die aktuelle amtliche Gefahrenkarte für HQextrem (Abb. 5 und Abb. 7). Hier hatten auch die meisten Hochwassertodesopfer im Kreis Ahrweiler ihren Wohnsitz (69 von 134, d. h. 51,5 %). Dies unterstreicht die Bedeutung von Extremszenarien für das Katastrophenmanagement.

Die Simulation für das HW1804 übersteigt auch die Überflutungsflächen vom neu geschätzten HQ1000 unter Berücksichtigung historischer Hochwasser und kommt am nächsten an die beobachteten Überflutungsflächen vom Juli 2021. Es zeigt sich, dass die Berechnung und die Gefahrendarstellung von extremen historischen Hochwassern sinnvoll sein können, um die Überraschungseffekte durch aktuelle Ereignisse zu reduzieren. Und dennoch wurden die während des Hochwassers 2021 beobachteten Überflutungsflächen durch die HW1804-Modellsimulation etwas unterschätzt. Verschiedene Faktoren wie die Annahme des Spitzenabflusses und der Ganglinie, die Rauigkeitsparametrisierung sowie vor allem die Verklauung von Brücken und lokale Sedimentumlagerungen spielen dabei eine Rolle. Diese Prozesse können mittels einer Sensitivitätsanalyse und Verklauungsszenarien aber ebenfalls modellhaft abgebildet werden. Es ist zu diskutieren, inwiefern in Mittelgebirgsregionen die Hochwassergefahren durch Extremszenarien mit Geschiebefrachten ergänzt werden sollten. Ereignisse mit ähnlicher Dynamik, z. B. im Mai 2016 in Braunsbach, waren ebenfalls durch hohe Geschiebefrachten und/oder Verklauungen geprägt (VOGEL et al., 2017).

Es ist davon auszugehen, dass die Darstellung von maximalen historischen oder Worst-Case-Szenarien der Hochwasser-

<sup>6</sup> <https://de.dwa.de/de/regelwerksankuendigungen-volltext/%C3%BCberarbeitung-von-merkblatt-dwa-m-552-ermittlung-von-hochwasserwahrscheinlichkeiten.html>

gefährdung eine andere Informationsbasis im vorliegenden Katastrophenfall anbieten würde als die amtliche HQextrem-Gefahrenkarte, die zum Zeitpunkt des Ereignisses verfügbar war. Ob dadurch der Verlauf der Hochwasserkatastrophe oder deren Konsequenzen hätten beeinflusst werden können, bleibt eine Spekulation, da die bessere Vermeidung der Hochwasser Auswirkungen von konkreten Entscheidungen des örtlichen Katastrophenschutzes abhängig ist. Wir gehen jedoch davon aus, dass das Katastrophenmanagement und die Bevölkerung mit aktualisierten Hochwassergefahrenkarten und zusätzlichen Informationen zu historischen und Worst-Case-Szenarien auf zukünftige extreme Hochwasserereignisse besser vorbereitet wären.

## 6 Schlussfolgerungen

Die Analyse der Extremwertstatistik am Pegel Altenahr im Ahrtal hat deutlich gezeigt, dass die Berücksichtigung historischer Hochwasserereignisse einen starken Einfluss auf die berechneten Hochwasserquantile mittels Generalisierter Extremwertverteilung hat, die für Gefahrenkarten genutzt werden. Zum Beispiel wird die Wiederkehrperiode für HQextrem ohne historische Hochwasser auf 419 Jahren geschätzt; sie sinkt bei Berücksichtigung von historischen Ereignissen auf 221 Jahre (Median). Die geschätzte Wiederkehrperiode des Juli-Hochwassers 2021 sinkt von theoretisch über 100 Millionen Jahren auf etwa 8.600 Jahre (Median). Obwohl die wahren Wahrscheinlichkeiten der Hochwasserextreme nicht bekannt sind, erscheint die zweite Schätzung deutlich plausibler, zumal es in den letzten 218 Jahren bereits drei Hochwasser inklusive des Juli-Hochwassers 2021 gab, die den berechneten Spitzenabfluss von HQextrem überschritten haben. Trotz dieser großen Unsicherheiten sollte in Zukunft eine systematische Berücksichtigung historischer Hochwasser in der Extremwertstatistik in der wasserwirtschaftlichen Praxis stattfinden, da diese Unsicherheiten um Größenordnungen geringer erscheinen als solche, die ohne Berücksichtigung von historischen Ereignissen für HQextrem erzielt werden.

Der Vergleich von amtlichen HQextrem-Gefahrenkarten mit den Überflutungsflächen vom Hochwasser 2021 zeigt, dass die Bestimmung von Hochwasserquantilen ohne Berücksichtigung historischer Ereignisse für die Gefahrenkartierung unangemessen ist, um die Gefährdung im Ahrtal adäquat wiederzugeben und die Bevölkerung und das Katastrophenmanagement über die Gefahr von seltenen und extremen Hochwassern zu informieren. Die hydrodynamisch-numerischen Simulationen des HQ1000 unter Berücksichtigung historischer Ereignisse und des größten historischen Hochwassers von 1804 zeigten, dass diese Szenarien deutlich besser die tatsächlichen Überflutungsflächen des Hochwassers vom Juli 2021 wiedergeben. Es erscheint daher sinnvoll, die Bestimmung für HQextrem bundesweit einheitlich auf ein höheres Quantil, z. B. HQ1000, festzulegen, um die potenziell betroffene Bevölkerung und das Katastrophenmanagement vor Überraschungen durch seltene, extreme Hochwasser besser zu schützen. Zusätzlich wird vorgeschlagen, Hochwasserszenarien für das größte, verlässlich dokumentierte historische Hochwasser und/oder Worst-Case-Szenarien in Hochwassergefahrenkarten gesondert darzustellen. Dies würde helfen, die Erinnerungskultur an vergangene Hochwasserkatastrophen über Generationen aufrechtzuerhalten und – gerade vor dem Hintergrund des voranschreitenden Klimawandels, der die Extreme verstärken könnte – die private Hochwasservorsorge

und Vorbereitung zu fördern sowie die Entscheidungen im Hochwasserrisikomanagement zu unterstützen.

## Conclusions

The analysis of extreme value statistics at the Altenahr gauge on the river Ahr Valley clearly shows that considering historical flood events has a significant impact on flood quantiles computed with the GEV distribution. These quantiles are used to generate flood hazard maps. For example, the estimated return period of the extreme flood scenario (HQextrem) drops from 419 years without considering historical events to 221 years (median) in the statistics with historical floods. The estimated return period of the peak estimate for the 2021 flood changes from theoretically over 100 million years down to about 8600 years (median). Though the true probabilities of flood extremes are unknown, the second estimate seems to be more realistic, particularly considering the fact that in the past 218 years there were already three floods, including the one in 2021, which exceeded the peak flow adopted for HQextrem. Despite considerable uncertainties, we suggest systematically considering historical floods in extreme value analysis for practical applications.

The comparison of the official HQextrem flood extent with the inundation areas of the 2021 flood shows that the definition of flood quantiles without considering historical floods is inadequate for hazard estimation and for informing the population and disaster management about very rare and extreme events. The hydrodynamic modelling of a 1000-year flood scenario considering historical floods and of the largest historical flood in 1804 shows that these scenarios much better reflect the inundation areas of the 2021 flood. Based on this analysis, it seems reasonable to define a country-wide homogeneous return period for an HQextrem scenario at a higher quantile, e.g. 1000-year flood, in order to better safeguard the potentially affected population and disaster management from malign surprises caused by rare and extreme floods. Additionally, we suggest mapping the extent of the largest reliably documented historical floods and/or synthetic worst-case scenarios in the official flood hazard maps. This would help to uphold the collective memory over generations. In particular in view of the progressing climate change which may aggravate extremes, this would foster private precaution measures and support flood risk management decisions.

## Danksagung

Diese Arbeit wurde im Rahmen der Task-Force-Aktivitäten zum Hochwasser 2021 im DFG Graduiertenkolleg "Natural Hazards and Risks in a Changing World" (NatRiskChange) (GRK 2043/2) initiiert und im Rahmen des vom BMBF geförderten Projekts KAHR (Förderkennzeichen 01LR2102F) fortgeführt. Für die Bereitstellung von Daten danken wir dem Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz und dem Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG).

## Anschrift der Verfasser

Dr. Sergiy Vorogushyn  
 Dr. Heiko Apel  
 Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ  
 Sektion Hydrologie  
 Telegrafenberg  
 14471 Potsdam

sergiy.vorogushyn@gfz-potsdam.de  
heiko.apel@gfz-potsdam.de

Prof. Dr. Annegret Thieken  
Universität Potsdam  
Institut für Umweltwissenschaften und Geographie  
Karl-Liebknecht-Str. 24-25  
14476 Potsdam-Golm  
annegret.thieken@uni-potsdam.de

Matthias Kemter  
Universität Potsdam  
Institut für Umweltwissenschaften und Geographie  
Karl-Liebknecht-Str. 24-25  
14476 Potsdam-Golm  
Zusätzliche Affiliation mit dem Deutschen GeoForschungsZentrum Potsdam und dem Potsdam Institut für Klimafolgenforschung  
matthias.kemter@uni-potsdam.de

### Literatur- und Quellenverzeichnis

- APEL, H., VOROGUSHYN, S. & B. MERZ (2022): Brief communication – Impact Forecasting Could Substantially Improve the Emergency Management of Deadly Floods: Case Study July 2021 floods in Germany. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.* 1-10. DOI: 10.5194/nhess-2022-33, in Begutachtung.
- BATES, P.D., HORRITT, M.S. & T.J. FEWTRELL (2010): A simple inertial formulation of the shallow water equations for efficient two-dimensional flood inundation modeling. *Journal of Hydrology*, 387(1-2), 33-45. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2010.03.027.
- BLÖSCHL, G., HALL, J., VIGLIONE, A., PERDIGÃO, R.A.P., PARAJKA, J. et al. (2019): Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature*, 573(7772), 108-111. DOI: 10.1038/s41586-019-1495-6.
- BLÖSCHL, G., KISS, A., VIGLIONE, A., BARRIENDOS, M., BÖHM, O. et al. (2020): Current European flood-rich period exceptional compared with past 500 years. *Nature*, 583, 560-566. DOI: 10.1038/s41586-020-2478-3.
- BOMERS, A., SCHIELEN, R.M.J. & S.J.M.A. HULSCHER (2019): Decreasing uncertainty in flood frequency analyses by including historic flood events in an efficient bootstrap approach. *Hazards Earth Syst. Sci.*, 19, 1895-1908. DOI: 10.5194/nhess-19-1895-2019.
- LUBW (2015): Abfluss-BW. Regionalisierte Abfluss-Kennwerte Baden-Württemberg. Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, 80 Seiten.
- DE ALMEIDA, G.A.M., BATES, P., FREER, J.E. & M. SOUVIGNET (2012): Improving the stability of a simple formulation of the shallow water equations for 2-D flood modeling. *Water Resources Research*, 48(5), W05528. DOI: 10.1029/2011WR011570.
- DKKV (2022): Die Flutkatastrophe im Juli 2021. Ein Jahr danach: Aufarbeitung und erste Lehren für die Zukunft. DKKV-Schriftenreihe Nr. 62, Bonn
- DWA (2012): Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten, Merkblatt DWA-M 552, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., 94 Seiten.
- FISCHER, S., SCHUMANN, A. & M. SCHULTE (2016): Characterization of seasonal flood types according to timescales in mixed probability distributions. *Journal of Hydrology*, 539, 38-56.
- HU, L., NIKOLOPOULOS, E.I., MARRA, F. & E.N. ANAGNOSTOU (2020): Sensitivity of flood frequency analysis to data record, statistical model, and parameter estimation methods: an evaluation over the contiguous United States. *Journal of Flood Risk Management*, 13(1), e12580. DOI: 10.1111/jfr3.12580.
- HWRM-RL (2007): Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken. Amtsblatt der Europäischen Union, L288/28.
- LAWA (2018): Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser. Empfehlungen zur Aufstellung von Hochwassergefahrenkarten und Hochwasserrisikokarten. 156. LAWA-Vollversammlung, Weimar, 77 Seiten.
- LHW (2014): Umsetzung der Hochwasserrisikomanagementrichtlinie im Land Sachsen-Anhalt. Erstellung der Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten (Stufe 2). 93 Seiten. Landesbetriebes für Hochwasserschutz Sachsen-Anhalt.
- MAKKONEN, L. (2006): Plotting positions in extreme value analysis. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 45, 334-340. DOI: 10.1175/jam2349.1.
- MERZ, B., NGUYEN, V. D. & S. VOROGUSHYN (2016): Temporal clustering of floods in Germany: Do flood-rich and flood-poor periods exist? *Journal of Hydrology*, 541, 824-838. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2016.07.041.
- MERZ, B., VOROGUSHYN, S., LALL, U., VIGLIONE, A. & G. BLÖSCHL (2015): Charting unknown waters – On the role of surprise in flood risk assessment and management. *Water Resources Research*, 51(8), 6399-6416. DOI: 10.1002/2015WR017464.
- PETROW, T. & A.H. THIEKEN (2015): Entwicklungen in der Flächenvorsorge. In: DKKV (2015): Das Hochwasser im Juni 2013: Bewährungsprobe für das Hochwasserrisikomanagement in Deutschland. DKKV-Schriftenreihe 53, Bonn, S. 92-99. Deutsches Komitee Katastrophenvorsorge e.V.
- ROGGENKAMP, T. & J. HERGET (2014): Reconstructing peak discharges of historic floods in the River Ahr, Germany. *Erdkunde*, 68(1), 49-59.
- ROGGENKAMP, T. & J. HERGET (2022): Hochwasser der Ahr im Juli 2021 – Abflussabschätzung und Einordnung. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 66(1), 40-49.
- SCHENDEL, T. & R. THONGWICHIAN (2017): Considering historical flood events in flood frequency analysis: Is it worth the effort? *Advances in Water Resources*, 105, 144-153. DOI: 10.1016/j.advwatres.2017.05.002.
- SCHMOCKER-FACKEL, P. & F. NAEF (2010): Changes in flood frequencies in Switzerland since 1500. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 14, 1581-1594. DOI: 10.5194/hess-14-1581-2010.
- SCHUMANN, A. (2005): Hochwasserstatistische Bewertung des Augusthochwassers 2002 im Einzugsgebiet der Mulde unter Anwendung der Saisonalen Statistik. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 49(4), 200-206.
- SCHUMANN, A. (2007): Anwendung partieller wahrscheinlichkeitsgewichteter Momente zur Berücksichtigung historischer Ereignisse in der Extremwertstatistik. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 51(2), 73-81.
- VOGEL, K., ÖZTÜRK, U., RIEMER, A., LAUDAN, J., SIEG, T. et al. (2017): Die Sturzflut von Braunsbach am 29. Mai 2016 – Entstehung, Ablauf und Schäden eines "Jahrhundertereignisses". Teil 2: Geomorphologische Prozesse und Schadensanalyse. *Hydrologie & Wasserbewirtschaftung*, 61(3), 163-175. DOI: 10.5675/HyWa\_2017,3\_2.

## Aktuelles

### Neue Regeln für nitratbelastete und eutrophierte Gebiete

Der Bundesrat hat am 14. Juli 2022 der Novelle der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Ausweisung von mit Nitrat belasteten und eutrophierten Gebieten (AVV Gebietsausweisung) zugestimmt. Geregelt wird damit, dass insbesondere das Nitratmessnetz in den nächsten Jahren verdichtet wird. Problemstellen können so besser erkannt werden. Ab dem Jahr 2028 gelten dann einheitliche Regeln für alle Bundesländer. Mit den Änderungen, die die Europäische Kommission zuvor bestätigt hatte, wird die deutsche Gesetzgebung an geltendes EU-Recht angepasst. Landwirtinnen und Landwirte bekommen somit Klarheit und Planungssicherheit. Zugleich sollen millionenschwere Strafzahlungen im laufenden Vertragsverletzungsverfahren verhindert werden.

Die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ausweisung von mit Nitrat belasteten und eutrophierten Gebieten (AVV Gebietsausweisung – AVV GeA) konkretisiert die Vorgaben zur Gebietsausweisung der im Jahr 2020 geänderten Düngeverordnung (DüngeVO), die ein wesentlicher Bestandteil des deutschen Aktionsprogramms zur Umsetzung der EU-Nitratrichtlinie ist. Die Neufassung sowie die Neuausweisung der belasteten Gebiete nach Anpassung der jeweiligen Landesdüngeverordnungen sind ein entscheidender Schritt, damit die EU-Kommission das laufende Vertragsverletzungsverfahren gegen Deutschland einstellen kann. Die EU-Kommission hatte die von der Bundesregierung vorgeschlagenen Änderungen an der AVV Gebietsausweisung zuvor bestätigt. Nach dem Beschluss im Kabinett hat nun der Bundesrat die AVV Gebietsausweisung beschlossen. Mit der Novelle der AVV werden die Forderungen der EU-Kommission im Vertragsverletzungsverfahren umgesetzt. So können bei der Gebietsabgrenzung zukünftig keine landwirtschaftlichen Daten mehr berücksichtigt werden (Streichung der sog. Emissionsmodellierung). Die Bundesländer müssen künftig sicherstellen, dass alle belasteten Messstellen innerhalb der mit Nitrat belasteten bzw. eutrophierten Gebiete liegen. Zudem muss die Binnendifferenzierung bundeseinheitlich mit geostatistischen Regionalisierungsverfahren erfolgen. Hierfür sind Übergangsfristen vorgesehen, um den Ländern genügend Zeit zur Verdichtung ihrer Messstellennetze zu geben. Zudem wurde die Berücksichtigung von denitrifizierenden Verhältnissen aufgegriffen, um den Vorsorgegedanken noch stärker zu berücksichtigen.

In den Jahren 2017 und 2020 gab es große Änderungen des Düngerechts, durch die viele Landwirtinnen und Landwirte immer wieder ihre Bewirtschaftungsweisen ändern mussten. Hintergrund ist die seit dem Jahr 2012 immer wieder geäußerte Kritik der EU-Kommission an der deutschen Umsetzung der EU-Nitratrichtlinie durch die DüngeVO. Die Nitratrichtlinie hat den Schutz der Grund- und Oberflächengewässer vor Nitrat-Verunreinigungen aus landwirtschaftlichen Quellen zum Ziel und ist Teil eines umfassenden rechtlichen EU-Rahmenwerks zum Schutz der Umwelt. Nach dem Urteil des Europäischen Gerichtshofs (EuGH) vom 21. Juni 2018 im Klageverfahren der EU-Kommission gegen Deutschland wegen unzureichender Umsetzung der Nitratrichtlinie überarbeitete die damalige Bundesregierung die bereits 2017 novellierte Düngeverordnung erneut – und erließ

die geänderte Düngeverordnung Ende April 2020. Die EU-Kommission hatte beanstandet, dass die Novelle aus dem Jahr 2017 dem EuGH-Urteil aus dem Jahr 2018 nicht gerecht werde und in der Folge im Juli 2019 das sogenannte Zweitverfahren gegen Deutschland eingeleitet. Insbesondere hatte die Kommission das äußerst heterogene Vorgehen bei der Ausweisung der mit Nitrat belasteten oder durch Phosphat eutrophierten Gebiete in den Ländern kritisiert. In der Folge erarbeitete eine Bund-Länder-Steuerungsgruppe die AVV Gebietsausweisung, die im November 2020 nach Zustimmung durch den Bundesrat erlassen wurde. Die EU-Kommission forderte Deutschland im Juni 2021 erneut zu deutlichen Nachbesserungen auf. Dies betraf vor allem die Ausweisung der mit Nitrat belasteten Gebiete, deren Flächenumfang sich gegenüber der Gebietsausweisung aus dem Jahr 2019 deutlich verkleinert hatte. Deutschland drohen im Falle einer weiteren Verurteilung Strafzahlungen in Höhe eines Pauschalbetrages von mindestens 11 Mio. € und eines Zwangsgeldes von bis zu rund 800.000 € täglich.

#### Weitere Informationen:

Themenbereich "Bodenschutz und Altlasten",

Umweltbundesministerium

[www.bmu.de/themen/wasser-ressourcen-abfall/boden-und-altlasten](http://www.bmu.de/themen/wasser-ressourcen-abfall/boden-und-altlasten)

(aus: Newsletter Bundesumweltministerium vom 14. Juli 2022)

### Führende Klimaforscher fordern globale Partnerschaft

Neun der weltweit führenden Klimawissenschaftler rufen zu umfangreichen internationalen Investitionen auf, um eine neue Generation von Klimamodellen zu entwickeln, die grundlegende Fragen über die Vorhersagbarkeit zukünftiger Niederschläge und damit verbundenen Extremereignissen beantworten können.

Trotz jahrzehntelanger Forschung ist weiterhin nicht bekannt, wie sich die Niederschläge in den kommenden Jahren entwickeln werden, und schwere Überschwemmungen sowie langanhaltende Dürreperioden fallen bereits jetzt anders aus als erwartet. In ihrer Stellungnahme argumentieren die Wissenschaftler, dass Lösungen zwar vorhanden sind, aber eine verstärkte und strategische internationale Zusammenarbeit erforderlich ist, um Durchbrüche in der Datenverarbeitung wirksam einsetzen zu können und wesentlich fortschrittlichere Klimamodelle zu entwickeln.

Die Grundlage, auf der die Klimamodelle in den letzten 30 Jahren aufgebaut wurden, vereinfacht die wasserführenden Systeme stark und lässt einige grundlegende physikalische Aspekte außer Acht, von denen wir heute wissen, dass sie für zuverlässige Vorhersagen unerlässlich sind. Die Lösung liegt in greifbarer Nähe: es muss ein Quantensprung von den derzeitigen globalen Klimamodellen auf der 100-Kilometer-Skala zu Modellen auf der 1-Kilometer-Skala erreicht werden. Auf diesen Skalen wird dann die komplexe Physik von regenführenden Systemen zum ersten Mal richtig dargestellt – mit Folgen, die weit über die Zukunft unseres Wassers hinausgehen und viele Aspekte des Klimawandels betreffen.

Das internationale Team plädiert für die Schaffung und Bereitstellung von Mitteln für einen Zusammenschluss führender Modellierungszentren, die hochmoderne Exascale-Rechenkapazität nutzen können und eine passende Infrastruktur aufweisen, um die enormen Datenmengen weiterzuverarbeiten. Ziel ist es, ein einsatzfähiges Klimavorhersagesystem im Kilometermaßstab aufzubauen, das allen Nationen dient und ihnen zuverlässige Erkenntnisse über alle Aspekte des Klimawandels liefert.

Die große Vision ist die Schaffung eines digitalen Zwillings der Erde, der sich auf diese Vorhersagen stützt. Die europäische Initiative "Destination Earth" (DestinE) weist hierfür den Weg, aber die Dringlichkeit und die internationale Dimension des Vorhabens erfordern eine noch größere Mobilisierung von Ressourcen und Kollaboration, um zu erreichen, was nötig ist.

Die Aufgabe ist jedoch nicht zu unterschätzen. Auch wenn sich das wissenschaftliche Verständnis und die technologischen Entwicklungen im Bereich der Datenverarbeitung und -speicherung enorm weiterentwickelt haben, erfordert das Ausmaß dieses Unterfangens eine internationale Anstrengung.

Überschwemmungen und Dürren gehören zu den kostspieligsten Auswirkungen des Klimawandels, und Veränderungen in der saisonalen Niederschlagsverteilung und natürlichen Variabilität der Niederschläge können tiefgreifende Auswirkungen auf viele Lebensräume haben, die wiederum unsere Ernährungssicherheit, Wassersicherheit, Gesundheit und Infrastrukturinvestitionen bedrohen. Wie wenig jedoch über die Zukunft der Wasserverteilung und des Wasserkreislaufs bekannt ist, wurde im jüngsten Sachstandsbericht des Weltklimarats IPCC deutlich. Dieser zeigte einmal mehr, dass es erhebliche Unsicherheiten in Bezug auf die Veränderungen der Niederschläge gibt, insbesondere auf regionaler und lokaler Ebene.

Was jetzt erforderlich ist, ist eine "Mission für den Planeten Erde", die sich mit den Gefahren des Klimawandels befasst und entsprechend gefördert ist. Die Welt erlebt schon jetzt Extreme, die außerhalb dessen liegen, was uns die derzeitigen Modelle zeigen können, und die sozialen und wirtschaftlichen Strukturen sind bereits massiv gefährdet.

Die doppelte Zielsetzung von "Netto-Null" und Klimaresilienz erfordert eine erhebliche Beschleunigung bei der Bereitstellung zuverlässiger und umsetzbarer Klimainformationen, insbesondere für die an den stärksten gefährdeten Regionen. Die derzeitigen Klimamodelle können dies nicht leisten, aber durch weltweite Investitionen und wissenschaftliche Partnerschaften im Bereich der globalen Modellierung im Kilometermaßstab wird dies Realität werden. Klimawissenschaftler verfügen heute über sehr detaillierte und ausgefeilte Klimafolgen-Modelle, aber es fehlen weiterhin detaillierte Wetter- und Wasserinformationen, um sie anzutreiben. Solange diese Lücke nicht geschlossen ist, können keine verlässlichen Anpassungsentscheidungen getroffen werden.

Die vorgeschlagene Investition verblasst im Vergleich zu den klimabedingten Verlusten, die auch heute schon auftreten. Sie macht etwa 0,1 % der geschätzten jährlichen Kosten hydrologischer Extremereignisse aus, ohne dabei die verlorenen Menschenleben zu berücksichtigen. Diese Kosten werden mit dem fortschreitenden Klimawandel noch weiter steigen.

#### Autorenliste:

Julia Slingo, Cabot Institute, University of Bristol  
 Prof. Paul Bates, Cabot Institute, University of Bristol  
 Dr. Peter Bauer, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, Reading  
 Prof. Stephen Belcher, Met Office, Exeter  
 Prof. Tim Palmer, University of Oxford  
 Dr. Graeme Stephens, NASA Jet Propulsion Laboratory, Caltech, Pasadena  
 Prof. Bjorn Stevens, Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg  
 Prof. Thomas F. Stocker, Oeschger-Zentrum für Klimaforschung, Universität Bern  
 Prof. Georg Teutsch, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ, Leipzig

#### Fachartikel:

Slingo, J., Bates, P., Bauer, P., Belcher, S., Palmer, T., Stephens, G., Stevens, B., Stocker, T., Teutsch, G. (2022): Ambitious partnership needed for reliable climate prediction. *Nature Climate Change*, 12, 499-503.  
 DOI: 10.1038/s41558-022-01384-8

#### Weitere Informationen:

Max-Planck-Institut für Meteorologie  
<https://mpimet.mpg.de>

*(aus: Pressemitteilung Max-Planck-Institut für Meteorologie vom 16. Juni 2022)*

### Globale Süßwasserversalzung Projekt AQUACOSM-plus

Menschliche Aktivitäten wie Bergbau, intensive Landwirtschaft, Wasserentnahme und Klimawandel treiben die Salzkonzentration in unseren Binnengewässern in die Höhe. Das Wasser wird als Trinkwasser ungenießbar und für die Industrie unbrauchbar. Die Versalzung könnte auch schwerwiegende Folgen für Ökosysteme haben: Verlust salzempfindlicher Arten, Ausbreitung invasiver Arten, Veränderungen des Nährstoffkreislaufs und des Stoffumsatzes in den Nahrungsnetzen sowie ein Anstieg der Treibhausgasemissionen.

Trotz zunehmender Belege für die dramatischen Auswirkungen der Versalzung reicht der derzeitige Wissensstand nicht aus, um die Folgen der Versalzung für Süßwasserökosysteme vorherzusagen. Daher hat sich ein Team von Forschenden aus 10 Ländern zusammengetan, um den dringendsten Forschungsbedarf zu ermitteln. Ein veröffentlichtes Übersichtspapier ist hierzu im Rahmen des vom Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) koordinierten europäischen Netzwerkprojekts AQUACOSM-plus entstanden. Die Forschungsagenda zeigt Forschungsprioritäten auf und zielt darauf ab, fortschrittliche Lösungsansätze zu finden und das Bewusstsein für die globalen Herausforderungen zu schärfen, auf die wir uns vorbereiten müssen.

Die Studien zeigen eine uneinheitliche geografische Verteilung des aktuellen Wissensstands mit einem deutlichen Schwerpunkt auf Nordamerika und Europa. Über Regionen in Afrika oder Südamerika, in denen die Versalzungsfaktoren besonders stark zunehmen, ist bisher wenig bekannt. Auch kleine Süßwasser-

lebensräume wie Teiche, die für die regionale Artenvielfalt sehr wichtig sind, werden in der aktuellen Forschung kaum berücksichtigt. Außerdem gibt es nur wenig Information über die Auswirkungen verschiedener Arten von Versalzung und deren Folgen auf regionaler und landschaftsräumlicher Ebene sowie die Auswirkungen auf Ökosystemprozesse wie Treibhausgasemissionen oder Nährstoffumsetzungen. Zudem konzentrieren sich die meisten Studien auf wirbellose Wassertiere, während das Wissen über die Auswirkungen der Versalzung auf den unteren und oberen Ebenen aquatischer Nahrungsnetze – wie Mikroorganismen, Fische, Reptilien und Amphibien – begrenzt ist.

Um diese Herausforderung zu bewältigen, sind gemeinsame Anstrengungen von Forschenden, Akteuren aus der Praxis, lokalen Gemeinschaften und politischen Entscheidungsträgern erforderlich. Das Forscherteam hofft, dass die Forschungsagenda diese gemeinsame Anstrengung unterstützt, indem sie fortschrittliche Lösungsansätze aufzeigt und das Interesse an dem globalen Problem einer salzigeren Welt weckt.

#### Fachartikel:

Cunillera-Montcusí, D., Beklioğlu, M., Cañedo-Argüelles, M., Jeppesen, E., Ptacnik, R., Amorim, C., Arnott, S.E., Berger, S.A., Brucet, S., Dugan, H.A., Gerhard, M., Horváth, Z., Langenheder, S., Nejtgaard, J.C., Reinikainen, M., Striebel, M., Urrutia-Cordero P., Vad, C.F., Zadereev E., Matias, M. (2022): Trends in Ecology and Evolution, 37 (2022) 5, 440-453.  
DOI: 10.1016/j.tree.2021.12.005

#### Weitere Informationen:

Projekt AQUACOSM-plus  
[www.igb-berlin.de/projekt/aquacosm-plus](http://www.igb-berlin.de/projekt/aquacosm-plus)

Abteilung Plankton- und Mikrobielle Ökologie, IGB  
[www.igb-berlin.de/abt-3-plankton-und-mikrobielle-oekologie](http://www.igb-berlin.de/abt-3-plankton-und-mikrobielle-oekologie)

*(aus: Pressemitteilung Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei vom 5. August 2022)*

## Überschwemmungen und Dürreperioden nie dagewesenen Ausmaßes

Überschwemmungen und Dürren können schwere Schäden verursachen. Ihre Intensität nimmt in vielen Teilen der Welt zu und sie werden häufiger. Ein angemessenes Risikomanagement kann die Auswirkungen solcher Naturgefahren verringern, wenn die Ursachen der zunehmenden Schäden bekannt sind. Ein Mangel an empirischen Daten hat dies bisher jedoch erschwert.

Im Rahmen einer internationalen Zusammenarbeit von Forschenden der International Association of Hydrological Sciences (IAHS) und dem Deutschen GeoForschungsZentrum (GFZ) ist ein einzigartiger Datensatz zusammengestellt worden. Fast hundert Autoren waren an der Untersuchung von jeweils zwei aufeinanderfolgenden extremen Hochwasser- oder Dürreereignissen in demselben Gebiet beteiligt. Im Fokus standen Regionen mit

großen Unterschieden in der Bevölkerungsstruktur, den sozio-ökonomischen, klimatischen und hydrologischen Bedingungen auf allen Kontinenten. 45 Extremereignis-Paare (Dürren oder Hochwasser), die im Durchschnitt 16 Jahre auseinanderlagen, kamen so zusammen.

Die Analysen bestätigten die naheliegende Annahme, dass ein angemessenes Risikomanagement im Allgemeinen zu einer Verringerung der Schäden beiträgt. Das Problem liegt woanders: Kam es in einer Region zu Extremereignissen, die es dort in dem Ausmaß noch nie gegeben hatte, war es besonders schwierig, die Auswirkungen abzumildern.

Erstens haben Infrastrukturen wie Dämme und Stauseen eine obere Bemessungsgrenze, bis zu der sie wirksam sind. Sobald ein Schwellenwert überschritten wird, werden sie auf einen Schlag unwirksam. Zweitens wird das Risikomanagement in der Regel reaktiv nach großen Überschwemmungen und Dürren eingeführt oder angepasst, während vorausschauende Strategien ohne Präzedenzfälle selten sind. Der Grund für dieses Verhalten liegt zum Teil in einer kognitiven Verzerrung, die mit der Seltenheit und früheren Einzigartigkeit dieser Extremereignisse zusammenhängt, sowie in der Natur der menschlichen Risikowahrnehmung: Ereignisse, die man selbst bereits erlebt hat, werden in Zukunft auch eher wieder erwartet.

Das Team identifizierte in der Studie aber auch zwei Erfolgsgeschichten, bei denen die Schäden trotz einer höheren Gefährdung beim zweiten Ereignis geringer waren: Überschwemmungen in Barcelona (1995 und 2018) und an der Donau in Österreich und Deutschland (2002 und 2013). In Spanien sank die Schadenssumme von 33 Mio. € auf 3,5 Mio. €, die Donaufuten verursachten im Jahr 2002 Schäden in Höhe von 4 Mrd. €, im Jahr 2013 waren es 2,3 Mrd. €. In beiden Fällen waren die zweiten Ereignisse ursprünglich gravierender, denn sie dauerten länger oder es regnete weit mehr.

Drei Erfolgsfaktoren waren den Forschenden zufolge entscheidend: eine wirksame Steuerung des Risiko- und Notfallmanagements, hohe Investitionen in strukturelle und nicht-strukturelle Maßnahmen sowie verbesserte Frühwarn- und Echtzeitkontrollsysteme. Die Forschergruppe glaubt, dass die Berücksichtigung dieser Erfolgsfaktoren dem aktuellen Trend der zunehmenden Schäden durch Extremereignisse unter den Bedingungen des Klimawandels entgegenwirken kann.

#### Fachartikel:

Kreibich, H., Van Loon, A.F., Schröter, K. et al. (2022): The challenge of unprecedented floods and droughts in risk management. Nature 608, 80-86, 2022.  
DOI: 10.1038/s41586-022-04917-5

#### Weitere Informationen:

Arbeitsgruppe Hydrologie, GFZ Potsdam  
[www.gfz-potsdam.de/sektion/hydrologie/ueberblick](http://www.gfz-potsdam.de/sektion/hydrologie/ueberblick)

*(aus: Pressemitteilung Helmholtz-Zentrum Potsdam vom 5. August 2022)*

## Ein Jahr nach der Flut – Helmholtz-Themenschwerpunkt

In der Nacht vom 14. zum 15. Juli 2021 trafen unvorstellbare Wassermassen das Ahrtal. Bei dem Hochwasser starben 134 Menschen. Nach einem Jahr: Welches sind die wichtigsten Fortschritte im Umgang mit Sturzfluten, die eingeleitet wurden? In welchen Bereichen wurde kein oder zu wenig Fortschritt erzielt? Wo stehen wir mit unserer Anpassungsstrategie?

Atmosphärische Prozesse, Abflussbildung in der Landschaft, Prozesse im Fluss, Exposition und Anfälligkeit bestimmen über das Hochwasserrisiko – nicht nur im Ahrtal.

Nach den verheerenden Folgen des Starkregens im Juli 2021 in mehreren Bundesländern fragen sich Städte und Gemeinden in ganz Deutschland, wie sie sich besser schützen und an Wetterextreme anpassen können. Unmittelbar nach dem Ereignis hatten 22 Wissenschaftler unter Koordination des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung (UFZ) in Leipzig fünf wesentliche Prinzipien definiert. Ein Jahr ist seitdem vergangen.

Hochwasser-Ereignisse werden anhand ihrer statistischen Häufigkeit beschrieben. Ein "HQ100" bedeutet beispielsweise ein Hochwasser, das im statistischen Mittel alle 100 Jahre auftritt. Das ist eine wichtige Marke, um Hochwasserschutz zu planen. Auch seltener auftretende Ereignisse, wie das Extremereignis ("HQextrem"), werden in Hochwasserkarten ausgewiesen. Diese treten statistisch alle 200 bis 300 Jahre ein. Das Hochwasser im Juli 2021 hatte sich allerdings deutlich weiter ausgebreitet als das bisher gedachte HQextrem. Das Ereignis war also deutlich seltener als das bis dahin angenommene Extremereignis – was allerdings nicht bedeutet, dass man für die nächsten 600 Jahre, oder ähnlich, vor einem solchen Hochwasser garantiert sicher wäre.

Für die großen Flüsse existieren gute Karten mit Vorhersagen der Überschwemmungsrisiken, die für viele kleine Flüsse in Deutschland aber fehlen. Vermisst werden jedoch detaillierte Informationen und Karten, welche die größere Dynamik in engen und eng bebauten Flusstälern abbilden und Besonderheiten der Bebauung berücksichtigen – die Querbebauung mit Brücken etwa, an denen sich Treibgut erst festgesetzt und die Flüsse zusätzlich aufgestaut und dann zu noch stärkeren Flutwellen geführt hatte.

Eines der fünf Prinzipien lautet deshalb: "Frühwarnsysteme verbessern und Bevölkerungsschutz stärken". Dabei geht es nicht nur um technische Warnsysteme wie SMS auf alle Mobiltelefone in betroffenen Gebieten, sondern darum, die Bevölkerung mit Handlungswissen für den Hochwasserfall auszustatten. Wann muss ich raus? Welche Fluchtwege kann ich nehmen? Um welche Nachbarn muss ich mich möglicherweise kümmern?

Die Katastrophe jährt sich zum ersten Mal. Der Wiederaufbau hat nicht nur längst begonnen, er ist an vielen Orten auch schon so weit gediehen, dass von den Verwüstungen und ersten Schadensbildern selbst dort kaum noch etwas zu erkennen ist, wo das Wasser ganze Ortskerne überflutet hatte, wie beispielsweise im nordrhein-westfälischen Stolberg.

Doch ein Wiederaufbau verläuft nicht linear und selten planvoll, denn die den Aufbau organisierenden Strukturen wachsen, während er stattfindet. Auch hier kann ein Blick auf die vorhandenen

wissenschaftlichen Erkenntnisse zum Klimawandel hilfreich sein. Zu den Prinzipien für klimasichere Kommunen gehören eine Klimaprüfung kritischer Infrastrukturen und die Förderung der Klimasicherheit von Gebäuden. Das heißt, nicht nur zu bauen und wiederaufzubauen, wie Einrichtungen und Landschaften in der Vergangenheit ausgesehen haben, sondern dabei den Blick in die Zukunft zu richten. Die Frage darf nicht allein sein, ob die Infrastrukturen in einigen Jahrzehnten noch funktionsfähig und wirtschaftlich sind, sondern auch, ob die Standorte in Zukunft noch sicher genug sein werden.

Viele Gebäude sind in Privatbesitz. Paragraph 5 des Wasserhaushaltsgesetzes sagt: "Jede Person, die durch Hochwasser betroffen sein kann, ist im Rahmen des ihr Möglichen und Zumutbaren verpflichtet, geeignete Vorsorgemaßnahmen zu treffen". Sinnvoll wäre es, entsprechende Anreizsysteme auszubauen, wie es sie für energetische Sanierungen längst gibt. So könnte beispielsweise die Fähigkeit von Gemeinden und Städten, Wasser zu speichern, erhöht werden, indem Hausdächer begrünt, versiegelte Flächen entsiegelt und neue Oberflächen durchlässiger gestaltet werden. Auch die Speicherkapazität von Landschaften ließe sich erhöhen. Das wiederum wäre eine kommunale und staatliche Aufgabe, die ohne passenden Gestaltungs- und Durchsetzungswillen ebenso schwer lösbar sei, wie ohne Kooperationsbereitschaft und Solidarität aller Beteiligten.

Auch wenn die Prinzipien klar sind und sich bei Neubauten oder planvollen Sanierungen leicht anwenden ließen, stoßen sie bei eher erratischen Wiederaufbauten nach Katastrophen recht schnell an ihre Grenzen. Hier will das Projekt KAHR (KlimaAnpassung HochwasserResilienz) einen Beitrag leisten, indem es sich nicht erst nach vielen Jahren den fertigen Wiederaufbau ansieht, sondern versucht, sofort zu verstehen, wie der Wiederaufbau vorstangeht, welche Probleme es gibt und welche Instrumente und Ansätze auch langfristig gebraucht werden, um den Gefahren durch Hochwasser gerecht zu werden.

Bis Ende 2024 werden in dem Verbundprojekt unter anderem mit Bauingenieuren, Hydrologen, Umweltwissenschaftlern und Raumplanern Fragen zur Klimaanpassung, der risikobasierten Raumplanung und zum Hochwasserschutz erarbeitet. Die Forschung geht so weit ins Detail, dass Betroffene an der Tür befragt werden, wie sie auf welche Weise warum wiederaufgebaut haben (sie hätten auch wegziehen können). Es wird aber auch konkret geholfen. Die Beratungsgespräche des Kölner Hochwasserkompetenzzentrums mit Betroffenen und Kommunen geben wichtige Hinweise, wie jeder Einzelne den eigenen Schutz verbessern kann. Es werden also konkrete Maßnahmen für einen klimaresilienten und zukunftsorientierten Wieder- und Neuaufbau in den betroffenen Regionen gemeinsam mit der Praxis entwickelt.

### Weitere Informationen:

Ein Jahr nach der Flut – Helmholtz-Themenschwerpunkt  
[www.helmholtz-klima.de/aktuelles/ein-jahr-nach-der-flut](http://www.helmholtz-klima.de/aktuelles/ein-jahr-nach-der-flut)

BMBF-Projekt "Klimaanpassung, Hochwasser und Resilienz" (KAHR) – wissenschaftliche Begleitung der Wiederaufbauprozesse nach der Flutkatastrophe in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen

[www.fona.de/de/massnahmen/foerdermassnahmen/KAHR.php](http://www.fona.de/de/massnahmen/foerdermassnahmen/KAHR.php)

(aus: Online-Beitrag Helmholtz-Klima-Initiative vom 15. Juni 2022)

## Bund lässt den Wiederaufbau nach der Hochwasserkatastrophe im Juli 2021 wissenschaftlich begleiten

Die Hochwasserkatastrophe im Juli 2021 hat in den Einzugsgebieten der Ahr, Erft, Eifel-Rur und Wupper zu einer großen Betroffenheit und tragischerweise zu zahlreichen Todesopfern geführt. Im Ahrtal wurden ganze Ortschaften inklusive aller Infrastrukturen zwischen den steilen Hängen von den Fluten zerstört. In Nordrhein-Westfalen liegen die Schadensschwerpunkte unter anderem im Kreis Euskirchen, bei der kreisfreien Stadt Hagen und im Einzugsgebiet der Inde, einem Zufluss der Rur. Im Indeeinzugsgebiet haben die Städte Stolberg und Eschweiler große Schäden erlitten. Aber auch Schleiden und Gemünd, die an Urft und Olef im Süden des Rur-Einzugsgebietes liegen, sind stark beeinträchtigt. In Bad-Münstereifel und Euskirchen an der Erft kam es zu weit ausgedehnten flächenhaften Überschwemmungen und in der Folge zu sehr hohen Schäden. Insgesamt liegen die Schäden in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen im zweistelligen Milliardenbereich.

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unterstützt im Programm "Forschung für Nachhaltigkeit" (kurz: FONA) den Wiederaufbau in den von der Flutkatastrophe im Juli 2021 betroffenen Gebieten in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen mit der Förderung des interdisziplinären Forschungsprojekts "KAHR". Für das Projekt stehen rund 5,2 Millionen Euro an Fördermitteln bereit. Trotz der Projektgröße ist KAHR sehr schnell gestartet – wenige Monate nach der Flutkatastrophe wurde der Förderbescheid erteilt und die Projektumsetzung gestartet. Der zügige Projektstart gewährleistet, dass aktuelle Prozesse begleitet und Bedarfe an die Wissenschaft bedient werden können.

KAHR steht für Klima-Anpassung, Hochwasser und Resilienz und hat zum Ziel, den Wiederaufbau wissenschaftlich zu begleiten und so einen Beitrag zur Entwicklung von resilienten und klimaangepassten Lösungen zu leisten. Hierbei sollen Fokusregionen direkt wissenschaftlich unterstützt werden. Eine enge Zusammenarbeit und regelmäßige Abstimmungen zwischen den Projektarbeitenden und Verwaltung, Politik, Industrie und Bevölkerung ist dabei ein wesentlicher Baustein für den direkten und niederschweligen Austausch von Bedarfen und ersten Ergebnissen. So können Forschungsergebnisse unkompliziert und bedarfsgerecht erzielt und direkt umgesetzt werden. Alle Ergebnisse sollen frühzeitig auch in andere betroffene Regionen übertragen werden.

### Weitere Informationen:

BMBF-Projekt KAHR  
www.hochwasser-kahr.de

*(aus: Mitteilung Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft RWTH Aachen vom 29. Juli 2022)*

## Gewässer setzen Methan frei – auch wenn sie austrocknen

Gewässer sind unterschätzte Quellen von Klimagasen. Nun haben Forschende unter Beteiligung des Leibniz-Instituts für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) gezeigt, dass auch trockener Gewässerboden erhebliche Mengen Methan freisetzen kann. Ein

Überblick über die Ursachen und Größenordnungen von Methanemissionen aus Gewässern und ein Ausblick auf die zukünftige Entwicklung im Klimawandel verdeutlichen die Bedeutsamkeit von sauberen Gewässern und mehr Mooren.

Methan entsteht, wenn organisches Material in Abwesenheit von Sauerstoff zersetzt wird. Es kann beim Abbau von Kohle, Erdöl oder Erdgas freigesetzt werden, wird in Kuhmägen gebildet, aber auch in Binnengewässern und Ozeanen.

Unter den verschiedenen Typen von Binnengewässern sind Stauseen und Seen die Hauptemittenten von Treibhausgasen. Das liegt daran, dass organisches Material von abgestorbenen Pflanzen und Tieren dort in stärkerem Maße als in fließenden Gewässern auf den sauerstoffarmen Gewässergrund absinkt. Dieser Prozesse wird durch höhere Temperaturen verstärkt. In kleinen Gasbläschen steigt das Methan dann vom Grund bis an die Wasseroberfläche und gelangt so in die Atmosphäre.

Lange gingen Forschende davon aus, dass Methan in Binnengewässern eben nur dort gebildet wird, wo kein Sauerstoff vorhanden ist. Jüngste Studien zeigen, dass dieses Treibhausgas auch in der sauerstoffreichen Wassersäule entsteht: Verschiedene Phytoplankton-Arten – Cyanobakterien, Kieselalgen und Haptophyten – emittieren Methan während ihrer Photosynthese.

Und selbst dort entsteht Methan, wo gar kein Wasser mehr ist: Trockenfallende Gewässer sind als Quelle für Klimagas wie Kohlendioxid bekannt. Allerdings wusste man bisher wenig über die Freisetzung von Methan aus diesen Flächen. Ein Forschungsteam unter Leitung der niederländischen Radboud University hat die globalen Methanemissionen für trockenfallende Flächen von Seen, Teichen, Stauseen und Flüssen in verschiedenen Klimazonen abgeschätzt. Außerdem bestimmten die Forschenden die Umweltfaktoren, welche diese Emissionen steuern.

Die Methanemissionen aus trockenen Binnengewässern waren in allen Klimazonen und in allen aquatischen Systemen mit Ausnahme von Bächen durchweg höher als die Emissionen, die in den angrenzenden Böden in Hanglage gemessen wurden. Weltweit emittieren trockene Binnengewässer laut den Hochrechnungen 2,7 Mio. t Methan pro Jahr.

Der Gewässertyp an sich und die Klimazone hatten keinen Einfluss auf die Menge an freigesetztem Methan. Der Gehalt an organischer Substanz im Gewässerboden in Wechselwirkung mit der lokalen Temperatur und die Feuchtigkeit waren die maßgeblichen Einflussfaktoren. Besonders viel Methan entsteht vor allem zu Beginn der Austrocknung und im Laufe des sogenannten First-Flush – also dem Moment, wenn auf die trockengefallene Fläche wieder Wasser trifft, durch einen Starkregen zum Beispiel.

Prozesse im Klimawandel könnten die Emission von Methan weiter antreiben. Zum einen werden Gewässer wärmer. Außerdem sinkt in Seen weltweit der Sauerstoffgehalt. Ein Wissenschaftlerteam vom Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) war an der Studie beteiligt, die den Sauerstoffschwund für 400 Seen verschiedener Klimazonen quantifiziert hat: Im Durchschnitt sank der Sauerstoffgehalt der untersuchten Gewässer in den letzten 40 Jahren um 5,5 % an der Oberfläche und um 18,6 % in der Tiefenzone.

Auch Phytoplankton wird in Zukunft mehr Methan emittieren, einfach weil mehr davon in Gewässern vorhanden sein wird. Denn zunehmende Nährstofflasten und Erwärmung von Gewässern gelten als Hauptursachen für die jüngsten Zunahmen von Phytoplanktonblüten. Darüber hinaus kann die Phytoplanktonblüte das Auftreten von sauerstofffreien, sogenannten toten Zonen verstärken. Das wiederum kurbelt die klassische Methanbildung unter Sauerstoffarmut an. Die Methanfreisetzungen aus ausgetrockneten Gewässerabschnitten werden durch häufigere extreme Wetterereignisse – Austrocknung und Starkregen – ebenfalls zunehmen, denn genau während dieser Wechsel werden besonders viele Treibhausgase emittiert.

Um die Methanbildungen aus Gewässern trotz des Klimawandels in Schach zu halten, helfen Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässerqualität. Wenn weniger Nährstoffe in Gewässer eingetragen werden, wird auch weniger organisches Material gebildet. Außerdem entsteht weniger Phytoplankton. Auch Maßnahmen, die das Wasser in der Landschaft halten und das Grundwasser stabilisieren, sind hilfreich, denn viele Seen speisen sich durch das Grundwasser. Austrocknende Gewässer haben also oft nicht nur mit einer erhöhten Verdunstung, sondern auch mit sinkenden Grundwasserständen zu tun. Die Schaffung von Feuchtgebieten und Mooren sorgt dafür, dass mehr Wasser in der Landschaft gespeichert wird und dadurch Wasserdefizite, aber auch Wasserüberschuss ausgeglichen werden. Moore haben noch einen weiteren Vorteil: Ein ökologisch intaktes Moor fungiert als langfristige Senke für Kohlenstoff. Trocknet es aus, werden hingegen verstärkt Treibhausgase freigesetzt. Ein trockengelegtes Moor setzt im Jahr durchschnittlich 15 t CO<sub>2</sub>/ha frei. In einem naturnahen Moor entsteht durchaus Methan. Die Methanfreisetzung aus einem entwässerten Moor fällt in der Regel jedoch höher aus – auch durch die hohe Methanfreisetzung aus den zahlreichen Entwässerungsgräben. Moorschutz ist also immer auch Klimaschutz.

#### Fachartikel:

Paranáiba, J.R., Aben, R., Barros, N., Quadra, G., Linkhorst, A., Amado, A.M., Brothers, S., Catalán, N., Condon, J., Finlayson, C.M., Grossart, H.-P., Howitt, J., Oliveira Junior, E.S., Keller, P.S., Koschorreck, M., Laas, A., Leigh, C., Marcé, R., Mendonça, R., Muniz, C.C., Obrador, B., Onandia, G., Raymundo, D., Reverey, F., Roland, F., Rööm, E.-I., Sobek, S., von Schiller, D., Wang, H., Kosten, S. (2022): Cross-continental importance of CH<sub>4</sub> emissions from dry inland waters. *Science of The Total Environment*, Vol. 814, 2022, 151925, ISSN 0048-9697.

DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.151925

#### Weitere Informationen:

Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB)  
www.igb-berlin.de

Aarhus University, Department of Bioscience  
<https://dyrefaciliteter.au.dk/en/department-of-bioscience>

(aus: Pressemitteilung Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei vom 15. Juni 2022)

### "Sea Level Map" zeigt Meeresspiegelanstieg am Beispiel von Norddeutschland

Eine Forschergruppe aus der Geodäsie und Geoinformatik der HafenCity Universität Hamburg (HCU) hat anhand einer Webkarte die wissenschaftlichen Ergebnisse für den Meeresspiegelanstieg visualisiert.

Die verschiedenen Klimaszenarien des Weltklimarates IPCC werden abgebildet und die interaktive Karte zeigt die Anzahl an betroffenen Personen in Norddeutschland an. Die Simulation zeigt verschiedene Szenarien des prognostizierten Meeresspiegelanstiegs für das Jahr 2100. Auf diese Weise wird ermöglicht, sich niedrigschwellig einen Überblick über die Risiken und Auswirkungen des klimawandelbedingten Meeresspiegelanstiegs zu machen.

Das Wissenschaftlerteam der Geodäsie und Geoinformatik an der HCU hat gemeinsam die bisherigen wissenschaftlichen Erkenntnisse zusammengetragen und visualisiert sowie in den "Hydrographischen Nachrichten" veröffentlicht. Das Thema wurde bereits im Zuge einer Masterarbeit bearbeitet und im Anschluss daran die Ergebnisse in der Webkarte visualisiert. Derzeit arbeiten die HCU-Wissenschaftler an der Implementierung von Landnutzungsklassen, sodass aus der Karte hervorgeht, welche Flächen explizit überschwemmt werden, zum Beispiel Wohngebiete, Industriegebiete oder Agrarflächen.

Der Meeresspiegelanstieg wird als eine der größten Bedrohungen für Küstenlebensräume weltweit angesehen. Die entstehenden Auswirkungen sind sowohl von ökologischer als auch von sozioökonomischer Bedeutung und treffen Küstenlandschaften, ihre Ökosystemleistungen und die Bevölkerung an der Küste. Unter Berücksichtigung verschiedener Klimaszenarien kann ein Eindruck über die Größenordnungen der möglichen Veränderungen vermittelt werden. Die Simulation basiert auf digitalen Messungen des aktuellen Meeresspiegels sowie regionalen Prognosen zur Meeresoberflächenhöhe im Jahr 2100.

Bei der Berechnung der Überflutungsflächen zeigen sich gravierende Unterschiede – zum einen zwischen Nord- und Ostseeküste, zum anderen zwischen den verschiedenen Klimaszenarien, besonders aber zwischen der Annahme eines standhaltenden Küstenschutzes und eines Deichbruchs.

#### Weitere Informationen:

Lab for Geoinformatics and Geovisualization,  
HafenCity Universität Hamburg  
[www.geomatik-hamburg.de/g2lab](http://www.geomatik-hamburg.de/g2lab)

(aus: Pressemitteilung HafenCity Universität Hamburg vom 22. Juli 2022)

## KI im Wassersektor – Rheinlandpfälzische Umweltministerin unterzeichnet den Kooperationsvertrag "Digitaler Zwilling Wasserwirtschaft"

Am 4. Juli 2022 unterzeichnete die rheinlandpfälzische Umweltministerin Katrin Eder an der Außenstelle des Deutschen Forschungszentrums für Künstliche Intelligenz (DFKI) in Trier den Kooperationsvertrag für das Vorhaben "DZW – Digitaler Zwilling Wasserwirtschaft". Die Hochschule Trier (Umwelt-Campus Birkenfeld) und das DFKI erforschen damit den Einsatz von Methoden Künstlicher Intelligenz (KI) für Simulations- und Prognosemodelle in der Wasserwirtschaft.

Uneingeschränkter Zugang zu Frischwasser in Deutschland garantieren zu können, wird allgemein als Selbstverständlichkeit angesehen. Der Schein des glanzvollen Wassers trägt jedoch – insbesondere der Klimawandel und die Urbanisierung stellen für natürliche Ressourcen eine enorme Belastung dar. Auch die demographischen und gesellschaftlichen Veränderungen, politische Zielvorgaben in Bezug auf die Abwasserreinigung oder die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen der Wasserversorgung gehören zu den vielen neuen Herausforderungen in der Wasserwirtschaft. Wasserwerke in der ganzen Nation stehen vor ähnlichen Fragestellungen. Variablen wie Größe, Besiedlungsdichte, Nutzungsarten, Topologie des Versorgungsgebiets und unterschiedliche Strukturen des Wasser- und Abwassernetzwerkes beeinflussen die Problematik. Neue und resiliente Lösungen müssen gefunden werden. Mit ingenieurtechnischem Höchstmaß und KI soll es gelingen, den intelligenten Umgang mit Wasser zu gewährleisten.

Der effiziente und verantwortungsvolle Umgang mit natürlichen Ressourcen ist eine gesellschaftliche Verantwortung und ein entscheidender Beitrag zum Klimaschutz und zur Klimafolgenanpassung. Deshalb soll die zukunftsweisende Forschung des DFKI und der Hochschule Trier in diesem Vorhaben seitens des rheinlandpfälzischen Umweltministeriums unterstützt werden. Der Erkenntnisgewinn und Wissenstransfer über digitale Zwillinge sind dabei wegweisend für die Strategie "Wasser 4.0". Die vehementen Fortführung der Digitalisierung der Wasserwirtschaft kann einen großen Beitrag dazu leisten, den neuen Herausforderungen gewachsen zu sein. Das Land Rheinland-Pfalz setzt entschieden auf das Thema KI für Umwelt und Nachhaltigkeit und unterstützt das DFKI deshalb seit mehr als 30 Jahren. Die Nutzung von digitalen Zwillingen aus dem Bereich der Künstlichen Intelligenz wird industrielle Prozesse, so auch die Wasserwirtschaft, in den kommenden Jahren maßgeblich beeinflussen.

Damit wird eine große Entwicklungsmöglichkeit gesehen, mithilfe von erfahrungsbasierten Methoden auf Herausforderungen in der Wasserwirtschaft zu reagieren und mithilfe von Prognose- und Simulationsmodellen beweglich handlungsfähig zu sein. Als Ergebnis erhofft man sich, die Prozesse im Wassersektor zukünftig ressourcenschonender und resilient gegen Störungen gestalten zu können.

In Anlehnung an die Initiative "Industrie 4.0" prägt die "German Water Partnership" den Begriff "Wasser 4.0" zur Transformation bestehender industrieller Produktionsanlagen zu Cyber-Physical-Systems. Die optimale Vernetzung virtueller und realer Wassersysteme soll in Zukunft in der Wasserwirtschaft Anwendung finden und dabei Planung, Bau und Betrieb berücksichtigen. Die

Kooperation zwischen der Hochschule Trier (Umwelt-Campus Birkenfeld) und dem DFKI hat unter anderem zum Ziel, gemeinsame Modellprojekte zu entwickeln. Für kommunale Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger können die gemeinsam erarbeiteten Ergebnisse als guter Ansatzpunkt für die Entwicklung von Maßnahmen dienen. Weiter soll das Potenzial der Entwicklung eines digitalen Zwillings in der Wasserwirtschaft exemplarisch konkretisiert werden.

Ein digitaler Zwilling ist ein virtuelles Abbild eines Produkts oder Prozesses, welches mit realen Daten versorgt wird. Bevor Ressourcen in der realen Welt eingesetzt werden, sind digitale Zwillinge von großem Nutzen. Mit ihnen kann das Unternehmen eine realistische Modellierung vornehmen und Produktionsprozesse optimieren und planen. Beispielsweise können Prognose- oder auch Simulationsmodelle mit digitalen Zwillingen angefertigt werden. So können Fehler bei der Verwaltung der Systeme gelöst oder auch verhindert werden. Beispiele hierfür sind die Ortung eines Lecks, die Energieeffizienz, die Wasserqualität, die Planung der Wartungsarbeiten und die frühzeitige Reaktion auf Notfälle. Häufige Fehler können finanzielle Verluste zur Folge haben und vielzählige Gefahren für das Unternehmen mit sich bringen. Umso sinnvoller ist die Anwendung der digitalen Zwillinge in der Wasserwirtschaft. Auf Basis von Echtzeitmodellierung und Wertschöpfung von Wasser- und Umweltdaten wird ein erfolgreicher Grundbaustein der Industrie 4.0 in den Wassersektor implementiert.

### Weitere Informationen:

Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH  
www.dfki.de

*(aus: Pressemitteilung Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz vom 4. Juli 2022)*

## Klimawandel und Landnutzungsänderungen begünstigen Hochwasserereignisse – Studie am KIT

Auf rund 32 Mrd. € schätzt die deutsche Bundesregierung den Gesamtschaden der verheerenden Überschwemmungen im Juli 2021. Wie Niederschläge, Verdunstungsprozesse, Gewässer- und Abflussverhalten dieses Hochwasser begünstigten, haben Forschende des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) in zwei Studien untersucht. Um künftig besser auf solche Extremereignisse vorbereitet zu sein, raten sie dazu, bei Risikobewertungen die Landschaft und Flussverläufe, deren Veränderungen und den Sedimenttransport stärker zu berücksichtigen. Zukunftsprojektionen zeigen außerdem eine zunehmende räumliche Ausdehnung und Häufigkeit solcher Extremereignisse sowie erhöhte Niederschlagsmengen.

Das Hochwasser vom Juli 2021 gehört zu den fünf schwersten und teuersten Naturkatastrophen der letzten 50 Jahre in Europa. Mehr als 180 Menschen verloren ihr Leben, weit über 10.000 Gebäude wurden beschädigt. Kritische Infrastrukturen wie Strom- und Wasserversorgungsnetze, Brücken, Bahnstrecken und Straßen wurden teilweise oder vollständig zerstört. Das Gesamtausmaß des Hochwassers am 14./15. Juli 2021 in der Eifel war auch für Expertinnen und Experten überraschend. Eine Kombination mehrerer Faktoren bedingte diese Katastrophe: Die Forscher haben untersucht, wie Niederschläge, Verdunstungs-

prozesse sowie Gewässer- und Abflussverhalten dieses Hochwasser begünstigt haben.

An der Ahr bewegte sich die geschätzte Wasserabflussmenge 2021 in einer ähnlichen Größenordnung wie bei den historischen Hochwasserereignissen in den Jahren 1804 und 1910. Trotzdem lagen die Pegelstände im Jahr 2021 an mehreren Orten deutlich höher. Das Wissenschaftlerteam hat festgestellt, dass sich die Art des Geschiebes – Material, das durch ein Fließgewässer mittransportiert wird – erheblich verändert hat. Neben Abtragungen von Sedimenten und bereits vorhandenem Totholz hat der anthropogene, also vom Menschen verursachte Einfluss eine erhebliche Rolle gespielt. So haben sich etwa Fahrzeuge, Wohnwagen, Mülltonnen oder Baumaterialien an Brückenbereichen gestaut, was zu zusätzlichen Engpässen geführt und die Auswirkungen des Hochwassers weiter verschärft hat. Um zukünftig besser auf solche Ereignisse vorbereitet zu sein, sei es beim Hochwasserisikomanagement notwendig, Landschaft, Infrastrukturen und Bebauung sowie Flussverläufe einschließlich deren Veränderungen und mögliche Sedimenttransporte in die Gefährdungsbeurteilung miteinzubeziehen.

Die Forschenden verglichen weiterhin das Niederschlagsereignis vom Juli 2021 mit historischen Niederschlagsaufzeichnungen: Die Analysen zeigen, dass die beobachtete Gesamtniederschlagssumme mit zu den höchsten der letzten 70 Jahre in Deutschland zählt – und somit extrem, aber nicht einzigartig war. Die Niederschlagsereignisse, die beispielsweise zu den schweren Hochwassern in Berlin und Brandenburg in 1978 oder an der Elbe im Jahr 2002 geführt haben, waren sowohl hinsichtlich ihrer Niederschlagsintensität als auch ihrer Ausdehnung oder Lebensdauer deutlich stärker. Allerdings seien vergangene Niederschlagsereignisse, die mit dem vom Juli 2021 vergleichbar sind, überwiegend im Osten und Süden von Deutschland und seltener im Westen beobachtet worden.

Zusätzlich haben die Forschenden des KIT das Hochwasserereignis unter verschiedenen Klimarandbedingungen simuliert. Die Intensität solcher Niederschlagsereignisse nimmt um ca. 7 % pro Grad Erwärmung zu. Die Simulationen zeigen, dass sich die Niederschlagsmenge bereits jetzt um 11 % gegenüber vorindustriellen Bedingungen erhöht hat. Bei fortschreitender globaler Erwärmung muss man damit von einer weiteren Verstärkung des Niederschlags ausgehen. Aber nicht nur das sei zukünftig ein Problem: Laut den Zukunftsprojektionen des KIT dehnen sich solche Extremereignisse zusätzlich sowohl räumlich als auch zeitlich aus und deren Häufigkeit nimmt zu.

Das schwere Hochwasser im Juli 2021 habe somit gezeigt, wie wichtig es ist, auf derartige Ereignisse vorbereitet zu sein und angemessen zu reagieren, so die Forschenden. Um die Resilienz, also die Widerstandsfähigkeit im Falle von Katastrophen, zu erhöhen und somit Schäden und Opferzahlen zu verringern, gelte es daher, neben dem Gefahrenpotenzial auch die Verwundbarkeit von Systemen und soziale Aspekte miteinzubeziehen. Ein essenzieller Bestandteil von Resilienz sei dabei die Risikokompetenz der Bevölkerung, also das Wissen um angemessene und rasche Handlungsmöglichkeiten bei Eintritt einer Katastrophe.

Das CEDIM, eine interdisziplinäre Einrichtung des KIT, forscht zu Katastrophen, Risiken und Sicherheit. Ziel ist, natürliche und menschengemachte Risiken in einer sich rasch verändernden,

von Bevölkerungswachstum, Urbanisierung und Klimawandel geprägten Welt genauer zu verstehen, früher zu erkennen und besser zu bewältigen. Dazu verbinden die Forschenden Risikoerfassung, Risikoanalyse, Risikomanagement und Risikokommunikation und entwickeln darauf aufbauend Konzepte zum Verbessern der Resilienz von Infrastrukturen und Versorgung.

#### Fachartikel:

Mohr, S., Ehret, U., Kunz, M., Ludwig, P., Caldas-Alvarez, A., Daniell, J.E., Ehmele, F., Feldmann, H., Franca, M.J., Gattke, C., Hundhausen, M., Knippertz, P., Küpfer, K., Mühr, B., Pinto, J.G., Quinting, J., Schäfer, A.M., Scheibel, M., Seidel, F., Wisotzky, C. (2022): A multidisciplinary analysis of the exceptional flood event of July 2021 in central Europe. Part 1: Event description and analysis. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.*  
DOI: 10.5194/nhess-2022-137

#### Weitere Informationen

CEDIM – Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology  
[www.cedim.kit.edu](http://www.cedim.kit.edu)

(aus: Pressemitteilung Karlsruher Institut für Technologie vom 8. Juli 2022)

### Wasserressourcen mit hydrologischer Datenbank nachhaltiger nutzen

Wie wirken sich Dürren auf die Umwelt aus? Welche Folgen haben Starkregen? Wie verändern sich die Wasserstände in Flüssen? Hydrologische Datensätze, also solche zu Grundwasserständen, Wasserabflussmengen oder Niederschlägen, können dabei helfen, diese und weitere Fragen rund um den Wasserhaushalt und die Auswirkungen des Klimawandels zu beantworten. Trotz eines der umfangreichsten hydro-meteorologischen Messnetzwerke weltweit liegt ein solcher einheitlicher Datensatz, "CAMELS" genannt, für Deutschland bisher nicht vor. Diesen wollen Forschende des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) nun gemeinsam mit Partnern in der "CAMELS-DE"-Initiative erstellen. Die ersten frei verfügbaren Datensätze sollen bereits im Jahr 2023 vorliegen.

Das Wissen über Wasserabflussmengen, Landnutzung, Bodeneigenschaften, Niederschläge und Temperaturen ist essenziell, um beispielsweise die wasserwirtschaftlichen Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserkreislauf in Deutschland besser abschätzen zu können. Außerdem hilft es dabei, Methoden zur Vorhersage und Risikoabschätzung hydrologischer Ereignisse zu entwickeln und hydrologische Extreme wie Hochwasser und Niedrigwasserperioden besser zu bewerten. CAMELS-Datensätze (CAMELS steht für "Catchment Attributes and MEteorology for Large-sample Studies") vereinen diese Daten und ermöglichen es, Modellierungen und Datenanalysen unterschiedlicher Landschaftsräume durchzuführen.

Mit dem CAMELS-DE-Datensatz sollen in Deutschland länderübergreifende Analysen in der Hydrologie erleichtert werden. Die Forschergruppe aus Mitarbeitern der Universität Freiburg, der Universität Kiel, des Deutschen GeoForschungsZentrums GFZ und weiteren Institutionen in Deutschland haben die Datenbank aufgebaut. Bundesland- oder Landesgrenzen bedeuten in den Umweltnaturwissenschaften auch immer neue Zuständigkei-

ten und häufig nur begrenzte Datenverfügbarkeit. Dies hemmt die hydrologische Forschung. CAMELS-Datensätze verbinden Landschaftsmerkmale, wie Landnutzung, Geologie oder Bodeneigenschaften, mit hydrologischen und meteorologischen Zeitreihen, wie Wasserstände und Wasserabfluss sowie Niederschläge, Temperatur und Verdunstung. Sie bieten so die Möglichkeit, Modelle und Datenanalysen in einer Vielzahl heterogener Landschaftsräume miteinander zu vergleichen und hydro-meteorologische Variabilität und Veränderung in Zeit und Raum zu bewerten.

Die KIT-Forscher wollen in CAMELS-DE lange Zeitreihen von Wasserstands- und Abflussmessungen aus allen Bundesländern konsistent zusammenstellen. Mithilfe der dazugehörigen Einzugsgebietsgrenzen werden außerdem meteorologische Zeitreihen aus frei verfügbaren Daten des Deutschen Wetterdienstes erzeugt und in den Datensatz integriert. Die bereits publizierten CAMELS-Datensätze anderer Länder dienen dabei als Vorlage. Für Deutschland besonders relevante weitere Attribute wie Hoch- oder Niedrigwasser wollen die Forschenden ergänzen.

Die Forschenden planen, die ersten Datensätze im Frühjahr 2023 zu veröffentlichen. Danach streben sie eine langfristige Zusammenarbeit zwischen Forschung und Landes- sowie Bundesbehörden an, um künftig den Aufwand der Datenbeschaffung zu minimieren, die Daten in die Lehre zu integrieren, die Vernetzung von Forschungsgruppen zu stärken und den Austausch von Ergebnissen zu erleichtern. Das Forscherteam hat sich im Jahr 2022 mit der Vision zusammengeschlossen, eine verbesserte Ausgangslage hydro-meteorologisch relevanter Daten in Deutschland sowohl für die nationale, aber auch für die internationale hydrologische Gemeinschaft zu schaffen.

Am KIT wird die Arbeit an der Datenbank innerhalb des Projekts "ViTamins – Invigorating Hydrological Science and Teaching: merging key Legacies with new Concepts and Paradigms" finanziert, das im April 2022 gestartet ist. Es soll das Fach Hydrologie als Grundlage einer nachhaltigen Wasserressourcenbewirtschaftung in Zeiten des Klimawandels stärken und die Meteorologie und Klimaforschung mit der Ökologie und Bodenkunde vernetzen.

#### Fachartikel:

Loritz, R., Stölzle, M., Guse, B., Kiesel, J., Haßler, S., Mälicke, M., Tarasova, L., Heidbüchel, I., Ebeling, P., Hauffe, C., Müller-Thomy, H., Jehn, F.U., Brunner, M., Götte, J., Rohini, K. (2022): CAMELS-DE: Initiative für einen konsistenten, frei verfügbaren Datensatz für hydro-meteorologische Analysen in Einzugsgebieten in Deutschland. OpenAccess Zenodo.  
DOI: 10.5281/zenodo.6517142

#### Weitere Informationen:

CAMELS: Catchment Attributes and MEteorology for Large-sample Studies  
<https://gdex.ucar.edu/dataset/camels.html>

Invigorating Hydrological Science and Teaching: merging key Legacies with new Concepts and Paradigms (ViTamins)  
[https://hyd.iwg.kit.edu/forschung\\_1268.php](https://hyd.iwg.kit.edu/forschung_1268.php)

(aus: Pressemitteilung Karlsruher Institut für Technologie vom 28. Juli 2022)

## Tauender Permafrost beeinflusst das Weltklima

Wie verändert der Klimawandel die dauerhaft gefrorenen Böden der Arktis? Welche Folgen hat das für das Weltklima, für Menschen und Ökosysteme? Und was lässt sich dagegen tun? Das Alfred-Wegener-Institut (AWI) hat hierzu eine interaktive Karte zur Vergangenheit und Zukunft des Permafrosts entwickelt. Die Forscher kommen zum gleichen Ergebnis: Um gefährliche Entwicklungen in diesen Regionen zu stoppen, müsse die Emission von Treibhausgasen in den nächsten Jahren massiv reduziert werden.

Auf immerhin 10 % der Erdoberfläche beherrscht der Dauerfrost den Untergrund. Vor allem auf der Nordhalbkugel gibt es riesige Gebiete, in denen nur die obersten Zentimeter des Bodens im Sommer auftauen. Der Rest bleibt bis in mehrere hundert Meter Tiefe das ganze Jahr hindurch gefroren. Bisher zumindest, denn der Klimawandel ist für diese Permafrost-Regionen eine ernsthafte Gefahr, da die Temperaturen der Landoberfläche in diesen Gebieten zwei- bis viermal schneller zugenommen haben als im weltweiten Durchschnitt. Sowohl an Land als auch im Meer verändern sich die Verhältnisse dadurch deutlich schneller als erwartet. Und das kann eine ganze Reihe von riskanten Folgen haben – für das Klima, für die biologische Vielfalt und für den Menschen.

So sind in diesen "Kühltruhen der Erde" die Überreste von zahllosen, längst verstorbenen Pflanzen und Tieren eingefroren. Wenn dieses Material auftaut, beginnen Mikroorganismen mit seiner Zersetzung. Dabei wandeln sie die darin enthaltenen Kohlenstoffverbindungen in Treibhausgase wie Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und Methan (CH<sub>4</sub>) um, die dann die globale Erwärmung weiter ankurbeln könnten. Wann und in welchem Umfang das passieren wird, ist allerdings schwer zu prognostizieren.

Es muss zwar, so die AWI-Forscher, nicht damit gerechnet werden, dass der Permafrost in ein paar Jahren riesige Mengen Treibhausgase auf einmal in die Atmosphäre spuckt und das Klima damit unweigerlich zum Kippen bringt. Eine Verharmlosung der Zustände sei aber auch nicht angebracht. Immerhin setzen die Permafrost-Regionen heute schon Treibhausgase in einem Umfang frei, der nahezu den jährlichen Emissionen von Deutschland entspricht. Und wissenschaftlichen Schätzungen zufolge könnten aus ihren Böden in den nächsten beiden Jahrhunderten Gasmengen in die Atmosphäre strömen, die so wirksam sind wie etliche hundert Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub>. Dazu kommt, dass die Oberfläche der Permafrost-Regionen wegen der schwindenden Eis- und Schneedecken immer dunkler wird – und sich so durch die Sonneneinstrahlung stärker erwärmt, als es bei den weißen Landschaften früherer Zeiten der Fall war. Diese beiden Effekte zusammen gehören nach heutigen Erkenntnissen zu den wichtigsten Einflüssen, die das Klima der Erde verändern können.

Zudem liegen in den Permafrost-Regionen mehr als die Hälfte der Wildnisgebiete, die es auf der Erde überhaupt noch gibt. Dort leben speziell angepasste Tier- und Pflanzenarten, die auf den Fortbestand dieser Ökosysteme angewiesen sind. Und auch für die Millionen von Menschen, die in der Arktis leben, bringt das Tauen des Dauerfrostbodens Probleme mit sich. So wird dieser oft instabil, wenn sein stabiler Untergrund aus Eis verschwindet. Dann sackt er plötzlich zusammen oder wird vom Meer erodiert,

was zu teuren Schäden an Gebäuden, Straßen und anderer Infrastruktur führen kann. Es werden dabei auch Schadstoffe wie Quecksilber freigesetzt, die sich in hohen Konzentrationen in Tieren und Menschen der Arktis nachweisen lassen.

Für einige Gemeinschaften in den nördlichen Breiten hängt sogar die gesamte Lebensweise und Kultur von den gefrorenen Ökosystemen ab. Diese Menschen haben nur sehr wenig zum Klimawandel beigetragen, sind aber besonders stark davon betroffen. Maßnahmen zum Schutz des Permafrosts zu ergreifen, ist für das Wissenschaftlerteam der Studie daher auch eine Frage der Gerechtigkeit.

Viel mehr wird das Schicksal des Permafrosts wohl davon abhängen, welche Entscheidungen die Politik in den nächsten zehn Jahren bezüglich der Treibhausgas-Emissionen trifft. Angesichts der rasanten Fortschritte im Bereich der erneuerbaren Energien gibt es nach Einschätzung der Fachleute durchaus realistische Möglichkeiten, den Ausstoß von Treibhausgasen bis zum Jahr 2030 zu halbieren und bis zum Jahr 2050 ganz zu stoppen. Zudem müsse die lokale Bevölkerung dabei unterstützt werden, intakte Ökosysteme in den Permafrost-Regionen zu schützen.

Wie dringend die Sache ist, illustriert auch eine interaktive Karte, die ein Team des AWI hierzu entwickelt hat. So ist in Zusammenarbeit mit Fachleuten der Universität Oslo ein virtueller Blick in die Vergangenheit und Zukunft der Dauerfrostböden entstanden. Auf dieser Karte kann man sich anzeigen lassen, wie sich bestimmte Eigenschaften des Klimas und des Permafrosts seit dem Jahr 1800 entwickelt haben: Wie warm war es beispielsweise an der Erdoberfläche? Wie tief war der Boden aufgetaut? Und welche Mengen Kohlenstoff steckten in dieser aktiven Schicht?

Das alles lässt sich nicht nur bis heute verfolgen, auch eine Zukunftsprognose ist möglich. Anhand von drei verschiedenen Szenarien lässt sich das Schicksal des Permafrosts bei niedrigen, mittleren und hohen Treibhausgas-Emissionen durchspielen. Sollte es gelingen, die globale Erwärmung unter 2 °C zu halten, würde demnach ein großer Teil der Dauerfrostböden stabil bleiben. Leider steuert man global jedoch im Moment aber auf eine viel stärkere Erwärmung zu. Und die dazu passende Simulation, die je nach Region mit 4 °C bis 6 °C Erwärmung rechnet, zeichnet ein düsteres Bild: Bis zum Jahr 2100 hätte das große Tauen dann so gut wie jeden Winkel im Reich des Permafrosts erfasst.

#### Fachartikel:

Abbott, B.W., Brown, M., Carey, J.C., Ernakovich, J., Frederick, J., Guo, L., Hugelius, G., Lee, R.M., Loranty, M.M., Macdonald, R.W., Mann, P.J., Natali, S.M., Olefeldt, D., Pearson, P., Rec, A., Robards, M., Salmon, V.G., Sayedi, S.S., Schädel, C., Schuur, E.A.G., Shakil, S., Shogren, A.J., Strauss, J., Tank, S.E., Thornton, B.F., Treharne, R., Turetsky, M., Voigt, C., Wright, N., Yang, Y., Zarnetske, J.P., Zhang, O., Zolkos, S. (2022): We must stop fossil fuel emissions to protect permafrost ecosystems. *Frontiers in Environmental Science*, Juni 2022.

DOI: 10.3389/fenvs.2022.889428

#### Weitere Informationen:

Alfred-Wegener-Institut  
www.awi.de

Interaktive Karten  
<https://permafrost.awi.eventfive.de>

(aus: Pressemitteilung Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung vom 29. Juni 2022)

#### Die Internationale Vereinigung für Limnologie feiert ihr 100. Jubiläum

Die Internationale Vereinigung für Limnologie (SIL) feiert in diesem Jahr ihr 100-jähriges Bestehen mit einer internationalen Konferenz in Berlin. Diese wird vom Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) ausgerichtet. Es steht außer Frage, dass die Forschung zum Schutz von Süßgewässern und Grundwasser heute wichtiger ist denn je. Rund 800 Forscherinnen und Forscher aus 60 Ländern treffen sich zum fachlichen Austausch zu diesem Thema. Journalistinnen und Journalisten sind herzlich eingeladen, mit einigen der Experten persönlich zu sprechen.

Die Limnologie ist die Wissenschaft von den Binnengewässern – ob Seen, Flüsse, Feuchtgebiete oder Grundwasser – den Wasserlebewesen, ihrer Umwelt und den Wechselwirkungen zwischen den Ökosystemen und der menschlichen Gesellschaft.

Vor 100 Jahren wurden die Gewässer bereits intensiv vom Menschen genutzt, aber es gab weder Wasserknappheit noch eine Klima- oder Biodiversitätskrise. So hat sich die Limnologie von einer Nischendisziplin zu einer Kernaufgabe für eine nachhaltige Zukunft entwickelt. Als eine der ältesten internationalen wissenschaftlichen Gesellschaften wurde die SIL im Jahr 1922 von August Thienemann und Einar Naumann in Kiel gegründet und vertritt heute mehr als 1.000 Limnologen verschiedenster Teildisziplinen aus fast 70 Ländern.

Das Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei in Berlin hat anlässlich des 100-jährigen Bestehens der SIL die wissenschaftliche Organisation des Kongresses übernommen. Vom 7. bis 11. August 2022 kamen rd. 800 Limnologen aus etwa 60 Ländern in Berlin zusammen, um die neuesten wissenschaftlichen Entwicklungen vorzustellen und sich über Methoden und praktische Anwendungen auszutauschen. Eines der Ziele der Konferenz war es, die globalen Herausforderungen wie den Klimawandel, den Verlust der Artenvielfalt und die Verfügbarkeit von Wasser durch länderübergreifende Aktivitäten zu unterstützen.

#### Weitere Informationen:

Internationale Vereinigung für Limnologie (SIL)  
<https://limnology.org>

(aus: Pressemitteilung Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei vom 1. August 2022)

## Neue Leitwarte zur Umweltradioaktivität und zukunftsweisende Messstation an der BfG eingerichtet

Am 5. August 2022 wurde durch die Leitung der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) sowie den Präsidenten des Landesamtes für Umwelt Rheinland-Pfalz (LfU) offiziell eine neue Leitwarte zur Umweltradioaktivität und gleichzeitig eine zukunftsweisende Messstation am Rhein an der BfG eingeweiht.

Zur Überwachung der Radioaktivität in den Bundeswasserstraßen betreibt die Bundesanstalt für Gewässerkunde zusammen mit der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) ein spezielles Messnetz. 40 Messstationen verteilen sich auf die Bundeswasserstraßen in ganz Deutschland.

Die Leitwarte befindet sich in der BfG. Dort laufen die online erhobenen Daten – unter anderem die Gammastrahlung – zusammen. Zusätzlich werden von hier zentral Gewässerparameter wie die Temperatur oder der Sauerstoffgehalt von den Stationen des Messnetzes abgerufen und der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Mit den Daten können Fachleute z. B. die Auswirkungen möglicher Störfälle frühzeitig erkennen und den sich ändernden Gewässerzustand stets zeitnah beurteilen.

Neben der Eröffnung der neuen Leitwarte gab die Einweihung einer BfG-eigenen Messplattform Grund zum Feiern. Die BfG betreibt seit dem Jahr 1963 eine Messstation an ihrem ehemaligen Hauptsitz (1952 bis 2003) am Rhein. Sie wurde zunächst als Messstation zur Überwachung der Umweltradioaktivität ins Leben gerufen. Sie erfüllt darüber hinaus schon seit langem ihre Aufgabe als integraler Bestandteil des Messnetzes der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins und der Flussgebietsgemeinschaft Rhein, einem Verbund der Länder im Einzugsgebiet.

Um dem steigenden Bedarf nach verlässlichen, bestenfalls in Echtzeit gewonnenen Daten gerecht zu werden, war es notwendig, eine weitere Messstation mit innovativen online-Verfahren zu schaffen. In dem Forschungsprojekt "MONDE 1 – Die chemische Monitoring-Station der Zukunft" bauten die beteiligten Forscher/-innen der BfG in den vergangenen drei Jahren eine neue Station auf und begannen innovative Methoden und Verfahren zu testen. Ergebnis der Forschungsarbeit ist eine zukunftsweisende Station am Koblenzer Rheinufer. Sie wird nun ein zeitlich hochaufgelöstes Monitoring zur zeitnahen Beschreibung des Gewässerzustandes ermöglichen, welches deutlich über die gängige Leistungsfähigkeit von Messstationen im Bereich der Gewässerchemie hinausgeht.

### Weitere Informationen:

Informationsplattform "Undine"

[https://undine.bafg.de/rhein/guetemesstellen/rhein\\_mst\\_koblenz\\_rh.html](https://undine.bafg.de/rhein/guetemesstellen/rhein_mst_koblenz_rh.html)

Portal "Umweltradioaktivität der Binnengewässer",  
Bundesanstalt für Gewässerkunde  
[www.bafg.de/DE/08\\_Ref/G4/Radioaktivitaet/radioaktivitaet\\_node.html](http://www.bafg.de/DE/08_Ref/G4/Radioaktivitaet/radioaktivitaet_node.html)

(aus: Pressemitteilung Bundesanstalt für Gewässerkunde vom 5. August 2022)

## Saarland

### Online-Überwachung der Gewässergüte an kleinen Fließgewässern im Saarland

Ein starker Regen kann Düngemittel aus Äckern ausschwemmen und Bäche damit belasten, aus Berghalden können Sulfate in Gewässer gelangen. Um solche Probleme frühzeitig zu erkennen, werden im Saarland kleine Fließgewässer mit mobilen Messstationen überwacht. Die Messergebnisse landen direkt online bei der Arbeitsgruppe Gewässermonitoring an der Universität des Saarlandes, die seit 20 Jahren die Untersuchungen durchführt. Die flexible Online-Überwachung verknüpft mit einer ausgefeilten Messstrategie ist bundesweites Vorbild.

An großen Flüssen wie Rhein und Donau gibt es feste Messstationen, deren Gewässerproben später im Labor ausgewertet werden. Im Unterschied dazu wurden im Saarland mit einer Förderung der Europäischen Union und des Landesumweltministeriums des Saarlands schon vor 20 Jahren mobile Messeinheiten aufgebaut, die in Autoanhänger flexibel zu jedem kleinen Bach im Saarland transportiert werden können. Von dort werden die Messdaten per GSM direkt an die Universität des Saarlandes übertragen und von der Arbeitsgruppe Gewässermonitoring ausgewertet, die am Lehrstuhl für Anorganische Festkörperchemie angesiedelt ist.

Die Stationen sind mit Online-Sonden und Analysegeräten ausgestattet, sodass kontinuierlich verschiedene Messgrößen wie Sauerstoff, Wassertemperatur, pH-Wert und Salzgehalt erfasst werden. Zudem werden die Gehalte an Phosphat, Nitrat, Ammonium und Kohlenstoff-Verbindungen analysiert. Neben den mobilen Messeinheiten verfügt die Arbeitsgruppe auch über Einzelsonden, um bei besonderen Belastungen direkt im Gewässer messen zu können. Auch können einzelne Proben im Labor auf eine Vielzahl weiterer Parameter untersucht werden.

Wenn die Gewässergüte in kleineren Fließgewässern durch Schadstoffe belastet wird, merkt man das in größeren Flüssen oft nicht, weil sich bis dorthin die Konzentration der Schadstoffe stark verdünnt hat. Daher ist die engmaschige Überwachung durch mobile Messstationen so wichtig, weil damit neben anthropogenen Einträgen auch Schwankungen während des Tages und bei verschiedenen Wetterlagen genau verfolgt werden können. Heute spielten dabei nicht nur die Gewässerqualität und der Hochwasserschutz eine zentrale Rolle, sondern verstärkt auch Aspekte des Klimaschutzes. Wenn verrohrte und kanalisierte Bäche wieder freigelegt werden, so dass sie sich auf natürliche Weise durch Wiesen und Wälder schlängeln können, und zusätzlich die Ufer mit Gehölzen bepflanzt werden, hilft das nicht nur beim Hochwasserschutz, sondern wirkt sich auch positiv auf das Mikroklima aus und trägt zum Erhalt der Biodiversität bei.

Die Arbeitsgruppe Gewässermonitoring wurde vor 20 Jahren mit Förderung der EU und des Landes Saarland eingerichtet, um die europäische Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) umzusetzen, die zum Ziel hat, den chemischen und ökologischen Zustand aller Fließgewässer in Europa zu schützen und zu verbessern. Inzwischen wurde die Finanzierung des Gewässermonitorings von der Landesregierung fast vollständig übernommen. Die Wissen-

schaftler entwickeln die aufwändige Messmethodik kontinuierlich weiter. Im vergangenen Jahr wurde das Projekt um weitere fünf Jahre verlängert. Eine langfristige Perspektive der Thematik befindet sich in enger Abstimmung aller Beteiligten.

Die gute und langjährige Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe Gewässermonitoring der Universität des Saarlandes liefert wichtige Daten zur Gewässergüte der unterschiedlichsten Flüsse im Saarland. Die Ergebnisse helfen bei der Umsetzung des Maßnahmenprogramms nach der Wasserrahmenrichtlinie und sind ein wichtiger Baustein auf dem Weg zum guten Zustand der saarländischen Gewässer.

#### Weitere Informationen:

Arbeitsgruppe Gewässermonitoring, Universität des Saarlandes  
www.gewaesser-monitoring.de

*(aus: Pressemitteilung Universität des Saarlandes vom 1. August 2022)*

## KHR

### Neue KHR-Studie bestätigt sich verschärfende Niedrigwasserentwicklung im Rhein

Schmelzende Gletscher und weniger Schnee könnten zukünftig Niedrigwassersituationen im Rhein von Basel bis zur Nordsee verschärfen – dies zeigen die Resultate aus einem kürzlich abgeschlossenen Forschungsprojekt im Auftrag der länderübergreifenden Kommission zur Hydrologie des Rheins (KHR). Die neuen Erkenntnisse bestätigen aus Sicht der KHR die Bedeutung einer klimaresilienten Weiterentwicklung des Wassermanagements im Rheineinzugsgebiet.

Als Folge der globalen Erwärmung schmelzen die Alpengletscher und die Schneedecke im Winter wird dünner. Dadurch wird der Abflussbeitrag aus Schnee- und Gletscherschmelze im Rhein künftig abnehmen, so zeigen es die Szenarien, die im KHR Forschungsprojekt (zum Einfluss des Klimawandels auf den Rheinabfluss) für die Nahe (2031 bis 2060) und ferne Zukunft (2071 bis 2100) berechnet wurden. Dieser Schmelzwasserbeitrag ist entscheidend als Wasserreserve für niederschlagsärmere Monate im Sommer und Herbst. Fällt der Beitrag immer geringer aus, führt dies häufiger zu Niedrigwasser im Rhein.

Die Auswirkungen dieser Veränderungen sind erheblich und betreffen alle, die Wasser entlang des Rheins nutzen: Die Rheinschifffahrt und mit ihr der wichtige Gütertransport werden beeinträchtigt, Kraftwerke und Stromversorger können weniger Strom produzieren und Trinkwasserversorger müssen sich auf häufigere Wasserknappheitssituationen vorbereiten. In landwirtschaftlich stark genutzten Gebieten kann das Wasser während der Wachstumsperiode im Sommer knapp werden, weil die Pflanzen dann viel Wasser benötigen. Der Wasserbezug aus den Gewässern für die Bewässerung wird zunehmen und die Niedrigwassersituation noch verschärfen. Und nicht zuletzt kommen auch negative Folgen für die Ökologie hinzu, wenn sich das Wasser aufgrund des geringeren Abflusses und höherer Lufttemperaturen stärker erwärmt und viele Wasserlebewesen bedroht sind.

Die Diskussionen rund um die Ergebnisse des Projekts zeigten einmal mehr: Um diesen Herausforderungen zu begegnen, sind integrale Lösungen gefragt. Auch wenn sich die Wassernutzungskonflikte meist lokal zeigen, muss das Wassermanagement entlang des Rheins koordiniert und grenzüberschreitend angepasst werden. Dabei müssen alle Interessengruppen berücksichtigt werden.

Anfang Juni 2022 haben sich Wissenschaftler, Behörden- und Wirtschaftsvertreter zu einem Symposium in Olten (Schweiz) getroffen, um die Ergebnisse des von den Universitäten Freiburg im Breisgau und Zürich sowie weiteren Experten für hydrologische Modellierungen durchgeführten Forschungsprojekts zu diskutieren. Im Fokus standen dabei auch die Folgen für Wasserwirtschaft und Umwelt.

Die Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebiets (KHR) ist eine Organisation, in der wissenschaftliche Institutionen der Rheinanliegerstaaten gemeinsam hydrologische Grundlagen für die nachhaltige Entwicklung im Rheingebiet erarbeiten. Die KHR wurde 1970 anlässlich der UNESCO-Empfehlung zur Förderung einer engeren Zusammenarbeit in internationalen Flussgebieten gegründet. Seit dem Jahr 1975 erfolgt die Fortsetzung der Arbeiten im Rahmen des Internationalen Hydrologischen Programms (IHP) der UNESCO und des Operationellen Hydrologischen Programms (OHP) der WMO. Die Mitgliedstaaten der KHR sind: Schweiz, Österreich, Deutschland, Frankreich, Luxemburg und die Niederlande.

#### Weitere Informationen:

Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes (KHR)  
www.chr-khr.org/de

*(aus: Pressemitteilung Sekretariat Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes vom 11. Juli 2022)*

## IKSR

### IKSR legt Prioritäten bis 2027 fest und erleichtert das Kartieren der Biodiversität entlang des Rheins

Die Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR) hat auf ihrer Plenarsitzung am 7. Juli 2022 in Brüssel ihre Prioritäten bis zum Jahr 2027 vorgestellt. Außerdem geben ein neu veröffentlichter Bericht und ein Atlas einen Überblick über die Entwicklung der Habitate und der Biodiversität entlang des Rheins.

Nach zwei pandemiebedingten Videokonferenzen in den Jahren 2020 und 2021 fand die Plenarsitzung der IKSR am 7. Juli 2022 unter der aktuellen Präsidentschaft der Europäischen Union erstmals wieder in Präsenz in Brüssel statt.

Das im Jahr 2020 auf der Ministerkonferenz in Amsterdam verabschiedete Programm "Rhein 2040" legt ehrgeizige wasserwirtschaftliche Ziele fest. Die gemeinsame Vision der IKSR ist ein nachhaltig bewirtschaftetes und gut an den Klimawandel angepasstes Rheineinzugsgebiet bis zum Jahr 2040.

Bei der Plenarsitzung hat die IKSR vorgestellt, welche Aufgaben bis zum Jahr 2027 bearbeitet werden sollen, um die Wasserverschmutzung weiter zu verringern, die Artenvielfalt zu steigern und Hoch- und Niedrigwasser besser zu bewältigen – im Geiste einer effektiven Anpassung an den Klimawandel. Das auf der Internetseite der IKSR veröffentlichte neue Organigramm mit den Mandaten zeigt die Aufgabenstellungen der Arbeits- und Expertengruppen.

Einer der Schwerpunkte ist die Aktualisierung der Strategie von 2015 zur Anpassung an den Klimawandel bis zum Jahr 2025. Unter anderem wird in 2024 ein großer interdisziplinärer Workshop organisiert, um das beste verfügbare Expertenwissen zusammenzuführen.

Am Rhein und an seinen größten Nebenflüssen sollen bis zum Jahr 2025 Standorte für neue Hochwasserrückhalteräume zusammengestellt werden. Als Reaktion auch auf die Überschwemmungen im Juli 2021, von denen einige Rhein Nebenflüsse betroffen waren, wird im Jahr 2023 ein Workshop zu Sturzfluten organisiert.

Im Rahmen der Plenarsitzung wurden auch die neuen Informationen zu den miteinander vernetzten Lebensräumen für Flora und Fauna entlang des Rheins, dem sogenannten Biotopverbund, veröffentlicht. Der IKSR-Fachbericht Nr. 284 und der Biotopatlas sind seit Juli 2022 öffentlich zugänglich. Sie geben einen wertvollen Überblick über den Zustand, die umgesetzten Maßnahmen und den Handlungsbedarf bei den charakteristischsten Biotopen entlang der Rheinschiene.

Die IKSR beschäftigt sich seit über 20 Jahren mit dem Biotopverbund entlang des Rheins. Neu ist, dass die Biotope nun überwiegend anhand von Satellitendaten erfasst werden. Sie stehen nun der interessierten Öffentlichkeit in Form eines interaktiven Online-Kartendienstes zur Verfügung. Durch die Nutzung von Satellitendaten kann die Entwicklung der Biotope künftig flächendeckend, räumlich hochaufgelöst und regelmäßiger aktualisiert werden. Dies wird entscheidend sein, damit alle Parteien innerhalb der IKSR möglichst effektive Maßnahmen zur Wiederherstellung der biologischen Vielfalt erarbeiten können. Die Methodik ist grundsätzlich auch in anderen Flussgebieten verwendbar.

In der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins arbeiten seit mehr als 70 Jahren die Schweiz, Frankreich, Deutschland, die Niederlande, Luxemburg und die Europäische Union auf der Basis eines völkerrechtlichen Übereinkommens zusammen, um die vielfältigen Nutzungen und den Schutz des Gewässers in Einklang zu bringen. Für die Umsetzung europäischer Richtlinien wurde die grenzüberschreitende Kooperation auf die Staaten Österreich, Liechtenstein, Italien und die belgische Region Wallonien ausgeweitet.

**Weitere Informationen:**

Internationale Kommission zum Schutz des Rheins  
[www.iksr.org](http://www.iksr.org)

*(aus: Pressemitteilung Internationale Kommission zum Schutz des Rheins vom 8. Juli 2022)*

## Personen

### Führungswechsel am UFZ – Prof. Georg Teutsch übergibt die wissenschaftliche Geschäftsführung an Prof. Rolf Altenburger

Am 1. Juli 2022 übernahm Prof. Rolf Altenburger die wissenschaftliche Geschäftsführung des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung (UFZ). Damit endet die Amtszeit von Prof. Georg Teutsch, der das Forschungszentrum mehr als 18 Jahre geleitet hat.

Prof. Rolf Altenburger kennt das UFZ sehr gut: Vor mehr als 25 Jahren, 1995, wechselte der Biologe von der Universität Bremen ans UFZ nach Leipzig. Sein wissenschaftliches Interesse gilt vor allem der Wirkung und Risikobeurteilung von Umweltchemikalien, der Vorhersage der Kombinationswirkungen von Chemikalienmischungen sowie der Entwicklung bio-analytischer Messverfahren und alternativer Testmethoden. Schon bald kamen weitere Aufgaben am UFZ hinzu: Seit 2005 leitet er das Department "Bio-analytische Ökotoxikologie" und seit 2017 den Themenbereich "Chemikalien in der Umwelt". Seit 2014 lehrt er darüber hinaus in gemeinsamer Berufung mit dem UFZ als Professor am Institut für Umweltforschung der RWTH Aachen.

In seiner neuen Funktion als Wissenschaftlicher Geschäftsführer des UFZ wird sich Rolf Altenburger ganz wesentlich darauf konzentrieren, erarbeitetes Wissen, Konzepte und Technologien aus der Forschung für mögliche Anwender sichtbar zu machen und fachübergreifend zu verschränken. Das Konzept der klimaresilienten Stadt etwa brauche nicht nur die passende Umwelttechnik, sondern auch den Abbau nicht-technischer Hürden, zum Beispiel im Wasser- und Baurecht, bei der Planung und Finanzierung oder im Umgang mit Eigentümern und Investoren. Ähnliches gelte auch für viele andere Bereiche der UFZ-Forschung, zum Beispiel Konzepte, die zur Transformation der Landwirtschaft beitragen sollen. Rolf Altenburger fordert, das gesamte System in den Blick zu nehmen – die Gestaltung der landwirtschaftlichen Produktion und ihre Wechselwirkungen mit biologischer Vielfalt und Klima, aber auch die Neugestaltung des Fördersystems und des Rechtsrahmens oder das Verhalten der Konsumenten und Produzenten. Neben der Schaffung solcher systemischer Lösungen ist es Rolf Altenburger äußerst wichtig, den Wissenstransfer am UFZ weiter zu stärken, um neue Wege der Problemlösungen zu befördern. Für ihn heißt das, denjenigen in Politik und Gesellschaft, die Entscheidungen treffen müssen, möglichst schnell bestehendes Wissen zugänglich zu machen und transparent Wissenslücken zu benennen, statt auf weitere Jahre Forschung zu vertrösten.

Aufbauen kann Rolf Altenburger bei all seinen Vorhaben auf moderne Forschungsinfrastrukturen, internationale Netzwerke und wissenschaftliche Exzellenz, die Georg Teutsch in seiner mehr als 18-jährigen Tätigkeit als Wissenschaftlicher Geschäftsführer initiiert und maßgeblich entwickelt hat.

*(aus: Pressemitteilung Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung UFZ vom 30. Juni 2022)*

### Dr. Patrick Cramer als neuer Präsident der Max-Planck-Gesellschaft ernannt

Der Senat der Max-Planck-Gesellschaft hat auf seiner Sitzung am 23. Juni 2022 in Berlin Dr. Patrick Cramer einstimmig zum künftigen Präsidenten der Max-Planck-Gesellschaft für die Amtsperiode 2023 bis 2029 gewählt. Der 53-jährige Chemiker und Molekularbiologe ist geschäftsführender Direktor am Max-Planck-Institut für Multidisziplinäre Naturwissenschaften in Göttingen. Er wird sein Amt zum 75-jährigen Jubiläum der Gründung der Max-Planck-Gesellschaft im Juni 2023 in Göttingen, dem Gründungsort der MPG, von Martin Stratmann übernehmen. Stratmann stand 9 Jahre an der Spitze der Max-Planck-Gesellschaft und hatte bei seiner Wiederwahl 2019 angedeutet, dass er keine volle zweite Amtszeit anstrebe.

Dr. Cramer ist seit 2014 Wissenschaftliches Mitglied der Max-Planck-Gesellschaft und Direktor am Max-Planck-Institut für Multidisziplinäre Naturwissenschaften (vormals Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie). Als Wissenschaftler genießt Dr. Cramer hohe Anerkennung, was durch eine Vielzahl von Wissenschaftspreisen untermauert wird, darunter der Gottfried-Wilhelm-Leibniz-Preis der Deutschen Forschungsgemeinschaft 2006, der Ernst-Jung-Preis für Medizin 2009, drei ERC Advanced Investigator Grants 2010, 2016 und 2020 sowie der Louis-Jeanet-Preis für Medizin 2021. Dr. Cramer ist Mitglied der Leopoldina sowie der European Molecular Biology Organization (EMBO) und seit 2020 auch der US-amerikanischen National Academy of Sciences (NAS).

*(aus: Online-Mitteilung Max-Planck-Gesellschaft vom 23. Juni 2022)*

### Der Historiker Prof. Dr. Jürgen Renn wird Direktor des neuen Max-Planck-Instituts für Geoanthropologie

Herr Prof. Dr. Renn ist als Leiter des neu gegründeten Max-Planck-Instituts für Geoanthropologie, ehemals Institut für Menschheitsgeschichte, berufen worden..

Im Mittelpunkt der Forschungsarbeiten am Max-Planck-Institut für Geoanthropologie stehen die Wechselbeziehungen zwischen der Geosphäre und menschengemachten Systemen. Ein zentrales Thema ist etwa die Mensch-Ökosystem-Dynamik, wofür Daten und Expertisen aus der Klimaforschung, der Biodiversitätsforschung und den Sozialwissenschaften zusammengeführt werden. Inter- und transdisziplinäre Forschungsprojekte befassen sich zudem mit der Urbanisierung, der Welternährung sowie den globalen Material-, Energie- und Informationsflüssen. Die Kernfragen reichen dabei von der tiefen Vergangenheit bis hin zur fernen Zukunft und schließen die Frage mit ein, wie die Menschheit die Entstehung des Anthropozäns vorangetrieben hat und wie sich dessen Verlauf noch positiv beeinflussen lässt.

Das Max-Planck-Institut für Geoanthropologie ist aus dem 2014 gegründeten Max-Planck-Institut für Menschheitsgeschichte hervorgegangen. Der Senat der Max-Planck-Gesellschaft hat die Umbenennung im Juni 2022 beschlossen. Das neue MPI-Institut

soll nicht am Reißbrett entstehen, sondern sich organisch entwickeln und die Themenfelder sowie sich daraus entwickelnden Institute sollen sich mit der Zeit zusammenfinden.

(aus: Die ZEIT vom 30. Juni 2022)

### **Dr. Michael Hupfer übernimmt neue Honorarprofessur an der BTU Cottbus**

Mit der Verleihung einer neuen Honorarprofessur auf dem Gebiet der Aquatischen Biogeochemie an Dr. Michael Hupfer wird die Lehre und Forschung zum Thema Wasser an der Brandenburgischen Technischen Universität (BTU) Cottbus-Senftenberg breiter aufgestellt. Die dabei im Mittelpunkt stehenden Fragen des Gewässerschutzes unter den Bedingungen des Klimawandels und der veränderten Landnutzung sind Teil der Profillinie Globaler Wandel und Transformationsprozesse an der BTU.

In enger Kooperation zwischen der BTU Cottbus-Senftenberg und dem Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei in Berlin (IGB) erforscht Dr. Michael Hupfer die durch Urbanisierung, Bergbau und Klimawandel hervorgerufenen Auswirkungen auf Gewässerökosysteme. Die Nutzung von Langzeitreihen und die Anwendung moderner analytischer Methoden sollen es dabei ermöglichen, den Zustand von Seen auch mithilfe von im Sediment gespeicherten Informationen besser rekonstruieren zu können. Grundlage dieses Forschungsansatzes ist die Paläolimnologie, eine Wissenschaft, die Umweltzustände rekonstruiert, indem physikalische, chemisch-mineralogische und biologische Eigenschaften in verschiedenen alten Ablagerungen untersucht werden. Solche Eigenschaften können auch mit der jüngeren Entwicklung eines Gewässers in Zusammenhang gebracht werden. Die Paläolimnologie bietet eine große Palette an Methoden. Beispielsweise können die im Sediment vorhandene DNA aus Organismen oder organische Biomarker genutzt werden, um herauszufinden, welche Lebewesen früher im See vorkamen.

Dr. Michael Hupfer ist Forschungsgruppenleiter am IGB. Das Institut ist ein international führendes Forschungszentrum für Gewässerökologie und Binnenfischerei. Die Arbeiten des Instituts verbinden Grundlagen- mit Vorsorgeforschung als Basis für die nachhaltige Bewirtschaftung der Binnengewässer. Dr. Hupfer verfügt über Lehrerfahrung in verschiedenen Universitäten und hat in verantwortlichen Positionen als Programm-bereichssprecher und Abteilungsleiter zur Entwicklung von Forschungsschwerpunkten des IGB besonders hinsichtlich der Reaktion von Seen, Flüssen und Feuchtgebieten auf sich global, regional und lokal rasch ändernde Umweltbedingungen beigetragen.

(aus: Pressemitteilung Brandenburgische Universität Cottbus vom 21. Juli 2022)

### **Dr. Melanie Braun erhielt für ihre Studien zum Vorkommen von Plastik in Böden den Klaus-Töpfer-Forschungspreis**

Nicht nur im Meer, sondern auch in unseren Böden befindet sich "unsichtbares" Plastik – Nanoplastik. Das ist ein Problem, da es von Pflanzen aufgenommen und so in die Nahrungskette gelan-

gen kann. Aber wie viel davon verbirgt sich überhaupt im Boden? Um das herauszufinden, möchte Dr. Melanie Braun von der Universität Bonn eine neue Methode entwickeln. Für ihr innovatives Vorhaben hat die Nachwuchswissenschaftlerin jetzt den mit 50.000 € dotierten Klaus-Töpfer-Forschungspreis erhalten – intern vergeben durch den Transdisziplinären Forschungsbereich "Innovation und Technologie für eine nachhaltige Zukunft" (TRA Sustainable Futures) der Universität Bonn.

Exzellente Ideen aus der Nachhaltigkeitsforschung auszuzeichnen – das ist das Ziel des neuen Klaus-Töpfer-Forschungspreises, initiiert und vergeben durch die TRA Sustainable Futures der Universität Bonn. Der innovative und disziplinübergreifende Charakter eines Projekts ist die wichtigste Voraussetzung, um für die Förderung ausgewählt zu werden. Das Vorhaben von Dr. Melanie Braun erfüllte die Voraussetzungen zu den Schwerpunkten Modellierung, Vorausschau und Risikobewertung, da es zum ersten Mal Daten über die Verschmutzung des Bodens durch Nanokunststoffe liefert, die später unter anderem für Prognosen verwendet werden können.

Unterstützung erhält der Transdisziplinäre Forschungsbereich von Klaus Töpfer, der dem Preis seinen Namen stiftet. Als ehemaliger Bundesumweltminister und Exekutivdirektor des Umweltprogramms der Vereinten Nationen hält er eine langjährige freundschaftliche Beziehung zur Universität Bonn, war dort unter anderem der erste Vorsitzende des Internationalen Beirats des Zentrums für Entwicklungsforschung (ZEF).

Bereits seit ihrer Promotion am Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz (INRES) der Universität Bonn beschäftigt sich Melanie Braun mit der Analyse von Plastik im Boden. Es gibt Hinweise darauf, wie sie in ihren Studien herausfand, dass Kunststoffe in Böden gelangen, vor allem durch landwirtschaftliche Praktiken wie die Ausbringung von Klärschlamm und Kompost sowie die Bewässerung mit Abwasser. Da die Böden eine der wichtigsten Grundlagen unserer Lebensmittelproduktion sind, ist es dringend erforderlich, das Vorkommen von kolloidalem und Nanoplastik im Boden zu untersuchen, um die weltweite Lebensmittelproduktion angemessen zu sichern.

Bisher war es jedoch nicht möglich, derart kleine Kunststoffteile im Boden zu quantifizieren. Mithilfe des Klaus-Töpfer-Forschungspreises möchte Dr. Braun jetzt hierfür eine analytische Methode entwickeln. Fluoreszenzfarbstoffe sollen es in den kommenden Jahren möglich machen, zunächst verschiedene Kunststoffarten zu identifizieren und dann ihre Menge zu bestimmen.

Große gesellschaftliche Herausforderungen und die damit zusammenhängenden komplexen Fragen kann keine wissenschaftliche Disziplin allein beantworten. Ein Gedanke, den die Universität Bonn im Zuge der Exzellenzstrategie zum Anlass nahm, sechs uniweite sogenannte Transdisziplinäre Forschungsbereiche (Transdisciplinary Research Areas, TRA) mit unterschiedlichen thematischen Schwerpunkten einzurichten. Einer davon ist der Transdisziplinäre Forschungsbereich "Sustainable Futures". Der Verbund vernetzt und fördert Forschende aus unterschiedlichen Disziplinen und Fakultäten, um gemeinsam institutionelle, wissenschafts- und technologiebasierte Innovationen zur Nachhaltigkeit zu erforschen.

(aus: Pressemitteilung Universität Bonn vom 22. Juli 2022)

### Dr. Suzanne Jacobs und Dr. Björn Weeser erhielten Förderung der Kurt-Eberhard-Bode-Stiftung – Einrichtung einer Juniorforschungsgruppe "HydroCrowd"

Großer Erfolg für das Forschungsteam Dr. Suzanne Jacobs und Dr. Björn Weeser von der Justus-Liebig-Universität Gießen (JLU). Die Nachwuchswissenschaftlerin und ihr Kollege erhalten die mit 479.900 € dotierte Förderung der Kurt-Eberhard-Bode-Stiftung zur Einrichtung einer Juniorforschungsgruppe "HydroCrowd – Citizen Science in der Hydrologie". In den nächsten drei Jahren werden sie damit innovative Konzepte zum Monitoring der Ressource Wasser in Tansania, Ecuador und Honduras durchführen. Der Clou: Die Forschenden arbeiten dabei mit der Bevölkerung zusammen.

Das Team vom Zentrum für internationale Entwicklungs- und Umweltforschung der JLU Gießen konnte mit seinem Projektvorschlag im Rahmen des Programms "Wasser – Nachhaltige Ressourcennutzung" die Stiftung überzeugen. Ziel des Projektes ist es, Messwerte zur Wassermenge und Wasserqualität in Ländern Ostafrikas und Lateinamerikas zu erheben. Die Forschenden arbeiten dabei mit der Bevölkerung zusammen.

"Citizen Science" bedeutet Wissenschaft mit Bürgerbeteiligung. Aber warum ist das gerade im Bereich der Wasserforschung notwendig, in dem es doch zahlreiche automatische Messverfahren gibt? Derartige Messverfahren sind teuer, und in vielen Ländern existiert die dafür notwendige Infrastruktur kaum. Die jungen Forscher wenden daher Messverfahren an, die kostengünstig sind und von vielen Menschen ohne weitere Schulung eigenständig durchgeführt werden können.

In dem Projekt werden dazu an den Flüssen Messeinrichtungen aufgebaut, die Menschen von jung bis alt eigenständig bedienen können. Hinweistafeln erklären, wie es geht. Gemessen werden der Niederschlag sowie die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit. Daraus kann später die Verdunstung berechnet werden, eine wesentliche Komponente des Wasserhaushalts. Im Gewässer wird der Wasserstand erhoben und die Trübung ermittelt. Während aus dem Wasserstand der Abfluss ermittelt wird, ist die Trübung ein Indikator für die Trinkwasserqualität. Denn in vielen Ländern dient Flusswasser direkt als Trinkwasser.

Mit Hilfe eines Mobiltelefons werden die Daten übermittelt. Dabei untersucht das Forschungsteam auch die Motivation der Teilnehmenden, zu denen neben der ländlichen Bevölkerung auch Touristen gehören. Die gewonnenen Erkenntnisse helfen Citizen.Science-Konzepte zukünftig zielgerichtet und effizienter zu planen. Die Messwerte werden zudem genutzt, um Simulationsmodelle für das nachhaltige Management der Ressource Wasser zu erstellen. Um den Blick auf das große Ganze zu erhalten, kombiniert das Team die eigenen Messwerte mit Daten der Satellitenfernerkundung und wendet Methoden der künstlichen Intelligenz an. In den Modellen werden auch Nutzungskonflikte berücksichtigt. Denn letztendlich muss ja nicht nur der Trinkwasserbedarf gedeckt werden. Wasser wird vor allem auch in der Landwirtschaft zur Bewässerung, in der Industrie und zur Erzeugung von Energie durch Wasserkraft genutzt.

Der Zugang zu Wasser wurde als Menschenrecht anerkannt und ist auch in der Agenda 2030 zu den Zielen für eine nachhaltige Entwicklung durch die Vereinten Nationen aufgenommen. Gleichzeitig beobachten wir jedoch, dass die Anzahl von hydroklimatischen Messstationen weltweit rückläufig ist. Datenerhebung durch Beteiligung der Bevölkerung kann dem entgegenwirken, dort setzen wir an.

Die Stiftung wurde 1987 vom Hamburger Unternehmer Eberhard Bode zur Förderung der interdisziplinären Forschung auf dem Gebiet der Lebenswissenschaften, der Naturwissenschaften sowie der Bioinformatik und Informatik errichtet. Das Programm "Juniorforschungsgruppe Wasser – Nachhaltige Ressourcenforschung" wurde im Jahr 2012 aufgelegt. Die Ausschreibungen erfolgen im Dreijahresturnus. Mit ihrem Programm zeichnet die Kurt-Eberhard-Bode-Stiftung interdisziplinäre, praxisorientierte Forschungskonzepte junger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus, die an der Schnittstelle von Wissenschaft und Gesellschaft herausragende Strategien und Konzepte für die nachhaltige Nutzung der Ressource Wasser entwickeln. Die Stiftung wird vom Deutschen Stiftungszentrum im Stifterverband betreut.

#### Weitere Informationen:

Deutsches Stiftungszentrum im Stifterverband  
<https://www.stifterverband.org>

(aus: Pressemitteilung des Stifterverbandes vom 17. August 2022)

## Ausbildung

### Neuer Bachelorstudiengang "Umweltmeteorologie" an der Leibniz Universität Hannover

Wie wirkt der Mensch auf die Atmosphäre ein? Aber auch: Wie wirkt die Atmosphäre auf den Menschen ein? Was haben diese Prozesse mit Hitzebelastung und Luftqualität in Städten zu tun? Wie können wir das Windenergiepotenzial bestmöglich bestimmen? Welche Wechselbeziehungen zwischen Klima, Wetter, Boden, Pflanzen und Tieren gibt es? Um diese Themen geht es im neuen Bachelorstudiengang "Umweltmeteorologie", der zum diesjährigen Wintersemester an der Leibniz Universität Hannover (LUH) startet.

Grundlagen der Meteorologie, kombiniert mit einem starken Fokus auf Umweltaspekte und einer interdisziplinären Ausbildung im Bereich Umweltwissenschaften und -ingenieurwesen: In sechs Semestern steigen Studierende intensiv in diese Themenbereiche ein. Der Bachelorabschluss qualifiziert für den Masterstudiengang Umweltingenieurwesen an der LUH beziehungsweise für Meteorologie-Masterstudiengänge an anderen Hochschulen.

Der neue, in Deutschland bisher einzigartige Studiengang löst den bisherigen Studiengang Meteorologie an der LUH zum Wintersemester 2022/23 ab und wird in Kooperation mit der Technischen Universität Braunschweig und der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg angeboten. Genutzt werden die meteorologischen Angebote aller drei Universitäten. Neben einer Grundausbildung in Meteorologie, Mathematik, Physik und Ingenieurwesen liegt ein Schwerpunkt auf der numerischen und experimentellen Meteorologie in der bodennahen Atmosphäre.

Vorausgesetzt wird starkes Interesse an Naturwissenschaften und Umweltthemen sowie die Bereitschaft, sich mit mathematischen und physikalischen Grundlagen auseinanderzusetzen. Mögliche spätere Tätigkeitsfelder sind der Bereich der Stadt-, Regional- und Umweltplanung, eine Tätigkeit beim Deutschen Wetterdienst oder Aufgaben in Umweltplanungs- und Ingenieurbüros, zum Beispiel Gutachten zu Windenergie oder Stadtklimaanalysen.

#### Weitere Informationen:

Steckbrief Studiengang Umweltmeteorologie  
[www.uni-hannover.de/de/studium/studienangebot/info/studiengang/detail/umweltmeteorologie](http://www.uni-hannover.de/de/studium/studienangebot/info/studiengang/detail/umweltmeteorologie)

*(aus: Pressemitteilung Universität Hannover vom 21. Juli 2022)*

### Neuer "Wasserstudiengang" startet im Wintersemester 2023/2024 an der Hochschule Koblenz

Die Universität Koblenz und die Hochschule Koblenz haben ab Herbst 2023 den neuen Studiengang "Gewässerkunde und Wasserwirtschaft" in ihrem Studienangebot aufgenommen. Die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) ist daran ebenso beteiligt und bietet u. a. eigene Vorlesungen an. Die Unterzeichnung eines Kooperationsvertrages legt den organisatorischen Rahmen und ist gleichzeitig der Startschuss eines Studienkonzepts, das einen Abschluss als Bachelor und Master vorsieht. Im Februar 2022 hatten die drei Einrichtungen bereits eine erste grundsätzliche Vereinbarung geschlossen mit dem Ziel, enger im Bereich Wasser zusammenzuarbeiten.

Die Anpassung an den Klimawandel, eine zurückgehende Artenvielfalt, die Eingriffe in die Gewässerökosysteme und menschengemachte Spurenstoffe im Wasserkreislauf sind einige von vielen drängenden Herausforderungen im Wassersektor. Der Studiengang Gewässerkunde und Wasserwirtschaft kombiniert Praxis mit ingenieurwissenschaftlichem und naturwissenschaftlichem Wissen. Die zukünftigen Absolventinnen und Absolventen sind damit bestens ausgebildet, um an der Lösung der großen gesellschaftlichen Herausforderung mitzuwirken.

Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der BfG engagieren sich bereits seit vielen Jahren in der Lehre der Universität in Koblenz. Mit den neuen Studiengängen baut die Bundesanstalt für Gewässerkunde ihr Lehrangebot deutlich aus. So ist unter anderem geplant, im Bachelorstudiengang eine Einführung in die Gewässerkunde und ein zugehöriges Praxisseminar anzubieten. Weiter wird es eine Vorlesung zum Thema Geomorphologie, Boden- und Hydrogeographie mit anschließender Übung im Gelände geben. Abgerundet wird das Angebot im Bachelorstudiengang durch Vorlesungen zur angewandten Umweltchemie und Umweltanalytik sowie eines Laborpraktikums.

Auch im Masterstudiengang bringt sich die BfG künftig ein: So wird es voraussichtlich eine Vorlesung zur Datenanalyse, zum Thema Hydro-Geomorphologie sowie zum Arbeitsgebiet der Ökotoxikologie geben.

*(aus: Pressemitteilung Bundesanstalt für Gewässerkunde vom 19. Juli 2022)*

## Interview

Beginnend mit dieser Ausgabe der Zeitschrift "Hydrologie & Wasserbewirtschaftung, HyWa" wird zukünftig alle 2 bis 3 Monate eine neue Kolumne "Interview" erscheinen.

Dabei werden zu Themen wie "Dürre", "Schneehydrologie" sowie "Mikroplastik" Expertinnen und Experten angesprochen, die im Rahmen eines geführten Interviews das dargestellte Thema umschreiben. Beginnen wird jede Interviewreihe mit einer Kurzvorstellung des Instituts oder Forschungseinrichtung der bzw. des Befragten.

Die Interview-Serie beginnt mit Dr. Susanna Mohr, Geschäftsführerin am CEDIM "Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology", ansässig am Karlsruher Institut für Technologie, kurz KIT. Desgleichen wurde dieses erste Interview mit Dr. Uwe Ehret vom KIT Karlsruhe, Institut für Wasser- und Gewässerentwicklung geführt.

Das komplette Gespräch inklusive einiger interessanter Nachfragen kann zukünftig auch im neuen HyWa-Podcast "Wasser Gespräche" verfolgt werden.

Wir wünschen viel Interesse beim Lesen & Zuhören.

*Dr. Thomas Lüllwitz/Schriftleitung,  
Stefanie Wienhaus/Redaktion*



Dr. Susanna Mohr, Dr. Uwe Ehret  
Foto: KIT

**Dr. Thomas Lüllwitz, HyWa-Redaktion:**

**Frau Dr. Mohr, mit welchen Themen beschäftigen Sie sich am CEDIM genauer und was ist das Besondere an Ihrer Einrichtung?**

**Antwort Dr. Mohr:**

CEDIM ist eine Disziplinen-übergreifende Forschungseinrichtung am KIT. Seit 20 Jahren forschen wir zu den Ursachen, Bewältigung und Prävention von natürlichen und technischen Risiken.

So entwickeln wir in CEDIM Modelle und Konzepte zur Stärkung der Sicherheit und Resilienz einer sich wandelnden Gesellschaft und Umwelt.

Das Besondere in CEDIM ist, dass wir ein sehr interdisziplinäres Team sind. Verschiedene Naturwissenschaften – wie z. B. Personen mit meteorologischem, hydrologischem oder geologischem Hintergrund – sind vertreten, sodass wir die Gefährdung beginnend bei dem hydro-meteorologischen bis hin zu den geologischen Extremen abschätzen können. Interdisziplinär bedeutet aber auch, dass in unserem Team auch ingenieurs-, sozial- oder wirtschaftswissenschaftliche Disziplinen vertreten sind. Dadurch können wir die gesamte Prozesskette von den Ursachen über die Gefährdung bis hin zum Risiko und den Auswirkungen auf die Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt betrachten.

Ich selbst bin beispielsweise Meteorologin und kann Aspekte rund um hydro-meteorologische Extremereignisse mit einbringen.

**Dr. Thomas Lüllwitz, HyWa-Redaktion:**

**Diese Zusammenarbeit über die eigenen Fachgrenzen hinaus ist also wichtig für den Erfolg Ihrer gemeinsamen Projekte. Wie sieht diese Zusammenarbeit im Detail aus?**

**Antwort Dr. Ehret:**

Mein erster Kontakt mit dem CEDIM kam im Juli letzten Jahres zustande, im Zusammenhang mit dem katastrophalen Hochwasser in der Eifel. Das CEDIM-Team suchte einen Hydrologen für eine FDA zum Ereignis, also eine "Forensische Katastrophenanalysen". Im Fall einer aktuellen Katastrophe untersucht die "CEDIM FDA Task Force" unmittelbar nach dem Ereignis deren zeitlichen und räumlichen Ablauf und schätzt die direkten Auswirkungen – z. B. Schäden und Todesopfer – ab. Außerdem versuchen wir auch die wichtigsten Treiber der Katastrophe zu identifizieren und leiten daraus Schlussfolgerungen für Präventionsmaßnahmen ab.

Ich sagte seinerzeit gerne zu, mitzuarbeiten, und war für eine gute Woche vollkommen ausgelastet durch die Mitarbeit im Team, was einerseits anstrengend war, aber auch sehr viel Spaß gemacht hat. Und: Innerhalb weniger Tage veröffentlichte CEDIM dann einen ersten Überblicksbericht zu dem Ereignis.

**Antwort Dr. Mohr – Ergänzung:**

Was uns mit unseren FDA-Aktivitäten ein Anliegen ist, dass wir möglichst zeitnah z. B. der Politik oder dem Katastrophenmanagement Informationen zur Verfügung stellen können. So ist oft zunächst die Lage vor Ort völlig unklar – wer und was alles genau von der Katastrophe betroffen ist oder mit welchen Schäden zu rechnen ist. Hier arbeiten wir beispielsweise auch mit der Weltbank zusammen. In Kooperation mit anderen wissenschaftlichen Einrichtungen erstellen wir Schadensschätzungen. Basierend auf diesen Schätzungen ist die Weltbank dann in der Lage, Gelder zu allokalieren – das ist z. B. besonders wichtig, wenn Entwicklungsländer betroffen sind.



Aber auch letztes Jahr bei der Flutkatastrophe in der Eifel waren wir aktiv; hier war zunächst völlig unklar, welche Flächen überflutet waren. Ein Kollege hat in Verbindung mit schnell verfügbaren Bildern aus sozialen Medien, Fernsehen und Nachrichtenmedien die Überschwemmungsgebiete abgeschätzt. Satellitenbilder waren anfangs nur ein unterstützender Datensatz, da ihre Qualität aufgrund von Wolkenbedeckung oder mehrdeutiger Interpretation begrenzt war.

**Dr. Thomas Lüllwitz, HyWa-Redaktion:**

**Sie haben beide bereits die Hochwasserkatastrophe in der Eifel im Juni letzten Jahres erwähnt. Wie würden Sie beide aus Ihrer jeweiligen fachlichen Ausrichtung heraus dieses Extremereignis hydrologisch bzw. meteorologisch einordnen? Und was erwartet uns in der Zukunft, müssen wir womöglich häufiger mit solchen Ereignissen rechnen?**

**Antwort Dr. Ehret:**

Aus hydrologischer Sicht war das Ereignis vom Juli 2021 in Rheinland-Pfalz im Ahr-Einzugsgebiet etwas ganz Besonderes: An vielen Pegeln und Stauanlagen in der Eifel wurden Abflussspitzen erreicht, die weit über das statistisch hundertjährige Ereignis hinausgehen, an einigen Anlagen lagen die Spitzen sogar weit über dem 10.000-jährlichen Ereignis. Auf der Einwirkungsseite liegt der Grund dafür in einer Kombination aus hohen, aber nicht vollkommen außergewöhnlichen Vorfällen, den extremen Niederschlägen und der teils sehr steilen Topographie und den engen Flusstälern in der Eifel. Im Vergleich mit den größten Abflussspenden von 124 Pegeln in den deutschen Mittelgebirgen aus ca. 70 Beobachtungsjahren lagen die Werte des 2021er Ereignisses ganz oben, übertroffen nur von einigen Pegeln in den Hochlagen des Schwarzwaldes und von Pegeln im Erzgebirge beim Augusthochwasser 2002. Das unterstreicht, wie außergewöhnlich das Hochwasser des Jahres 2021 war. Auf der anderen Seite wurden solche hohe Jährlichkeiten erreicht, weil die Abschätzung von Hochwasserjährlichkeiten auf Basis gemessener Hochwasserreihen sehr unsicher ist, vor allem, wenn man nur wenige Zusatzinformationen über große historische Hochwasser hat. Vor allem unter dem Eindruck des Klimawandels müssen wir uns daher zusätzliche Bemessungsmethoden, z. B. auf Basis langjähriger Klimasimulationen, Gedanken machen.

**Dr. Thomas Lüllwitz, HyWa-Redaktion:**

**Um nun auf die meteorologische Einordnung der Hochwasserkatastrophe in der Ahr einzugehen, Dr. Mohr, welche Untersuchungen hierzu haben Sie am CEDIM durchgeführt?**

**Antwort Dr. Mohr:**

Wir haben im CEDIM das Niederschlagsereignis vom Juli 2021 ebenso untersucht und mit historischen Niederschlagsaufzeichnungen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) verglichen. Dabei haben wir festgestellt, dass die beobachtete Niederschlagssumme mit zu den höchsten der letzten 70 Jahre in ganz Deutschland zählt. So rangiert es hinsichtlich der Niederschlagsintensität in Verbindung mit der räumlichen Verteilung auf Platz 5. Das Ereignis war somit also extrem – aber von der Niederschlagsseite aus eben nicht einzigartig.

Die Niederschlagsereignisse, die beispielsweise zu den schweren Hochwassern an der Elbe im Jahr 2002 geführt haben, waren sowohl hinsichtlich ihrer Niederschlagsintensität als auch ihrer Ausdehnung oder Lebensdauer deutlich stärker. Allerdings konnten wir auch beobachten, dass die meisten der vergangenen Niederschlagsereignisse überwiegend im Osten und Süden von Deutschland aufgetreten sind. Im Westen von Deutschland konnte das bisher seltener beobachtet werden.

Und zur Frage wegen des Klimawandels: Auch seitens der Meteorologie rechnen wir in der Zukunft mehr mit solchen Ereignissen. Basierend auf eigenen Klimasimulationen sehen wir, dass die Intensität der Niederschlagsereignisse um ca. 7 % pro °C Erwärmung zunehmen wird. D. h. bei fortschreitender globaler Erwärmung müssen wir also von einer weiteren Verstärkung des Niederschlags rechnen. Außerdem sehen wir auch, dass sich solche Extremereignisse zusätzlich sowohl räumlich als auch zeitlich ausdehnen könnten.

**Dr. Thomas Lüllwitz, HyWa-Redaktion:**

**Gibt es neben der Analyse des aktuellen Hochwasserereignisses im Ahrtal noch andere Aktivitäten in CEDIM, bei denen Hydrologinnen und Meteorologinnen zusammenarbeiten?**

**Antwort Dr. Ehret:**

Ja, die gibt es: Wir haben gerade mit einem neuen – teils von CEDIM finanzierten – Projekt begonnen, mit dem sperrigen Titel "Potential- und Machbarkeitsstudie zur Nutzungserweiterung von Stauanlagen in Baden-Württemberg für das Echtzeit-Management von Hitze, Dürre und Hochwasser" kurz HDH. Hier untersuchen wir, ob sich die nahezu 700 Stauanlagen in Baden-Württemberg, die bisher zum größten Teil dem Hochwasserschutz dienen, parallel dazu auch nutzen können, um Wassermangel auszugleichen.

Die spannende Frage ist also, wie man es schafft, die Becken leer zu haben bevor ein Hochwasser kommt, und sie gefüllt zu

haben, bevor eine Trockenperiode kommt. Dazu arbeiten wir eng mit Dr. Patrick Ludwig, einem Meteorologen am KIT, zusammen, der uns dafür unter anderem über 12.000-jährige Wettersimulationen zur Verfügung stellt, quasi als Spielwiese zur Entwicklung optimaler Bewirtschaftungsmethoden für die Becken.

**Dr. Thomas Lüllwitz, HyWa-Redaktion:**

Ganz herzlichen Dank an meine beiden Gesprächspartner Dr. Susanna Mohr und Dr. Uwe Ehret für das sehr informative Gespräch sowie Ihre Bereitschaft, unsere ersten Gesprächspartner in unserem neuen HyWa-Podcast gewesen zu sein.

Wie wir heute am Beispiel des Hochwasserereignisses an der Ahr gehört haben, bietet die Zusammenarbeit von hydrologischen und meteorologischen Experten große Vorteile. Untersuchungen zur Schadens- und Risikomodellierung verschiedener Elementargefahren wie Hochwasser, Starkregen und damit einhergehenden Sturzfluten lassen sich in einem derart ausgerichteten interdisziplinär geführten Forschungszentrum wie dem CEDIM deutlich verbessern.

In der nächsten Folge wird als Gesprächspartner Herr Uli Looser zur Verfügung stehen, der Leiter des "Global Runoff Data Centers, GRDC", welches an der Bundesanstalt für Gewässerkunde bereits seit den 90er Jahren eingerichtet ist.

**Fachartikel:**

Mohr, S., Ehret, U., Kunz, M., Ludwig, P., Caldas-Alvarez, A., Daniell, J.E., Ehmele, F., Feldmann, H., Franca, M.J., Gattke, C., Hundhausen, M., Knippertz, P., Küpfer, K., Mühr, B., Pinto, J.G., Quinting, J., Schäfer, A.M., Scheibel, M., Seidel, F., Wisotzky, C. (2022): A multi-disciplinary analysis of the exceptional flood event of July 2021 in central Europe. Part 1: Event description and analysis. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss. DOI: 10.5194/nhess-2022-137

Ludwig, P., Ehmele, F., Franca, M.J., Mohr, S., Caldas-Alvarez, A., Daniell, J.E., Ehret, U., Feldmann, H., Hundhausen, M., Knippertz, P., Küpfer, K., Kunz, M., Mühr, B., Pinto, J.G., Quinting, J., Schäfer, A.M., Seidel, F., Wisotzky, C. (2022): A multi-disciplinary analysis of the exceptional flood event of July 2021 in central Europe. Part 2: Historical context and relation to climate change. In finaler Vorbereitung für Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.

**Weitere Informationen:**

CEDIM  
www.cedim.kit.edu



**Willkommen bei "WasserGespräche" – der neue Podcast der Fachzeitschrift "Hydrologie & Wasserbewirtschaftung, HyWa"**

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

Der Podcast ist erreichbar auf:

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



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

- Spotify:



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

Wir wünschen viel Interesse beim Zuhören.

*Dr. Thomas Lüllwitz/Schriftleitung,  
Stefanie Wienhaus/Redaktion*

## Deutsche Hydrologische Gesellschaft

### Forschungsstipendien für hydrologische Feldstudien

Die Deutsche Hydrologische Gesellschaft (DHG) vergab dieses Jahr wieder Feldstipendien, um Nachwuchswissenschaftler bei innovativen hydrologischen Feldstudien zu unterstützen und zu befähigen.

In der diesjährigen Ausschreibung der DHG-Forschungsstipendien waren 5 Nachwuchswissenschaftler erfolgreich. Sie werden innerhalb der kommenden 12 Monate ihre Forschungspläne in Deutschland, Frankreich, Island und Costa Rica umsetzen.

Frau Dr. Suzanne Jacobs vom Zentrum für Internationale Entwicklungs- und Umweltforschung der Justus-Liebig-Universität Gießen wird in einem Agroforstsystem in Deutschland die ökohydrologischen Prozesse an der Schnittstelle zwischen Bäumen und Ackerkulturen untersuchen. Dabei werden stabile Wasserisotope verwendet und das Mischungsmodell MixSIAR angewandt, um Hinweise auf die Wasseraufnahmetiefe von Bäumen und von Ackerkulturen zu erhalten.

Ein weiteres Feldstipendium erhielt Frau Beatrice Richieri vom Lehrstuhl für Hydrologie und Flussgebietsmanagement der TU München. Sie beschäftigt sich mit dem Baget-Karstsystem, Ariege, in Frankreich. Über ereignisbezogene Probenahmekampagnen an den Quellen Las Hountas und Moule de Jaur wird sie in den kommenden Monaten die Funktionsweise des Systems unter verschiedenen Strömungsbedingungen sowie die vorliegenden Mischungsprozesse der verschiedenen Wasserkomponenten untersuchen.

An Frau Luise Wirsig, Studentin des Masterstudienganges Umweltwissenschaften an der TU Braunschweig, wurde ebenso ein Feldstipendium vergeben. Frau Wirsig versucht mit ihren

Forschungsarbeiten mehr darüber zu erfahren, aus welchen Wasserreservoirs Pflanzen ihr Wasser beziehen. Dafür werden in einem tropischen Regenwald in Costa Rica die Isotopensignaturen mehrerer unterschiedlich wurzelnder Bäume untersucht.

Desgleichen erhielt Herr Johannes Mitterer vom Lehrstuhl für Hydrologie und Flussgebietsmanagement der TU München ein Feldstipendium, um einen Vergleich verschiedener sogenannter Bodenscanner durchzuführen. Die Arbeiten werden in einem innovativen langfristigen Mess- und Lehrinzugsgebiet (Niederbayern), das durch die TU München, TU Dresden, die Universitäten Augsburg und Tübingen sowie die LMU München eingerichtet wurde, durchgeführt.

Schließlich hat Herr Alexander Santwoski, Doktorand in der Arbeitsgruppe Soil and Water Ecosystems der Philipps-Universität Marburg, das Feldstipendium erhalten, um sich mit den Transportpfaden und Export von Mikroplastik aus Gletschern zu beschäftigen. Die Untersuchungen finden am Vatnajökull (Island), der größten Eiskappe außerhalb des Polargebiets, statt.

Die DHG-Feldstipendien werden einmal jährlich ausgeschrieben und sind für die volle Bandbreite der hydrologischen Prozessstudien, aber auch für interdisziplinäre Studien vorgesehen. Durch die Stipendien haben die Nachwuchswissenschaftler frühzeitig die Möglichkeit, selbständig und in Eigenverantwortung innovative Forschungsarbeiten auf hohem wissenschaftlichem Niveau durchzuführen.

Die nächste Ausschreibung erfolgt im Frühjahr 2023, die Deadline für die nächste Beantragung ist am 31. Mai 2023.

*Prof. Dr. Peter Chiffard, Schriftführer,  
Deutsche Hydrologische Gesellschaft*

## Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften

### in der DWA (FgHW)

Die Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften (FgHW) in der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) bietet ihren Mitgliedern im Rahmen der regelmäßigen Beiträge in den Zeitschriften "Hydrologie und Wasserbewirtschaftung" (HyWa) und "Korrespondenz Wasserwirtschaft" (KW) Möglichkeiten, über aktuelle Forschungs- oder Entwicklungsaktivitäten im wissenschaftlichen und technischen Umfeld der Hydrologie zu berichten. Damit sollen einem breiteren Fachpublikum aktuelle Entwicklungen zur Kenntnis gegeben werden. Die Inhalte der Fachbeiträge liegen in der Verantwortung der Forschenden bzw. Projektteams, welche die Beiträge zur Verfügung stellen.

### Urbane und rurale Hochwasserrisiken in Westafrika: BMBF-Projekt "FURIFLOOD" gestartet

Extreme Niederschläge und wiederkehrende Überschwemmungen stellen eine bedeutende Gefährdung in Westafrika dar, insbesondere im dicht besiedelten Teil der Guineaküste. Dabei zeigen Indikatoren eine Zunahme der Hochwasserhäufigkeit sowie Überschwemmungsschäden in den letzten Jahrzehnten. Klimawandel- und Bevölkerungsprognosen deuten zudem stark darauf hin, dass sich dieser Trend fortsetzen und möglicherweise noch verschärfen wird. Das vom BMBF im Rahmen von WASCAL (West African Science Service Centre on Climate Change and Adapted Land Use; [www.wascal.org](http://www.wascal.org)) geförderte Projekt "FURIFLOOD" hat zum Ziel, wissenschaftliche Erkenntnisse über gegenwärtige und zukünftige Extremereignisse im Zusammenhang mit Überschwemmungen in Westafrika zu gewinnen. Es wird ein Katalog an Extremereignissen abgeleitet, der die Niederschlagscharakteristik in diesem Teil Afrikas abbildet und verschiedene Szenarien beinhaltet. Die Untersuchungen in FURIFLOOD werden zudem durch Fallstudien ergänzt, um die gegenwärtigen und zukünftigen Hochwasserrisiken besser zu verstehen und die potenziellen Auswirkungen der Szenario-basierten Extremereignisse bewerten zu können.

Als repräsentative Fallstudien in urbanen und ruralen Gebieten werden Niederschlagszenarien in Kumasi, Ghana bzw. im Einzugsgebiet des Ouémé in Benin untersucht. Um die Charakteristiken von urbanen (pluvialen) sowie ruralen (fluvialen) Überschwemmungen zu adressieren, werden Modellansätze gewählt, die die maßgeblichen Prozesse der jeweiligen Hochwassergenerierung am effektivsten abbilden können. Die Gefährdung durch urbane Starkregenereignisse werden in Kumasi beispielsweise mit dem 2D-hydrodynamischen Modell TELEMAC-2D modelliert. Der physikalisch-basierte Ansatz in TELEMAC-2D erlaubt es, die charakteristische zeitliche und räumliche Auflösung von urbanen Sturzflutgefahren abzubilden und das Hochwassergeschehen zu berechnen. Um fluviale Extremereignisse und damit rurale Hochwasserrisiken bewerten zu können, wird beim Ouémé in Benin (Gebietsgröße: 50.000 km<sup>2</sup> und 400 km Flusslänge) das Modell HEC-RAS (1D) eingesetzt.

An die Fallstudien anknüpfend wird im FURIFLOOD-Projekt zusätzlich untersucht, wie mithilfe eines partizipativen Ansatzes ökosystembasierte Strategien zur Verringerung der gegenwärtigen

und zukünftigen Überschwemmungsrisiken abgeleitet und bewertet werden können. Durch diesen Ansatz kann folglich eine regionale Expertise zu Überschwemmungen und Extremereignissen entwickelt werden. Das FURIFLOOD-Projekt bekräftigt die deutsch-afrikanische Zusammenarbeit und bringt ein interdisziplinäres sowie internationales Team zusammen. Das Forschungskonsortium besteht aus Akteuren von vier deutschen Universitäten (Karlsruhe Institute of Technology, Universität Augsburg, United Nations University Bonn und Technische Universität München) und fünf afrikanischen Universitäten in Benin, Elfenbeinküste, Ghana, Senegal und Togo.

#### Weitere Informationen:

Projekthomepage  
[furiflood.imk-tro.kit.edu](http://furiflood.imk-tro.kit.edu)

Lehrstuhl für Hydrologie und Flussgebietsmanagement  
[www.cee.ed.tum.de/hydrologie/forschung/laufende-projekte/furiflood](http://www.cee.ed.tum.de/hydrologie/forschung/laufende-projekte/furiflood)

### Impulse für Resilienz und Klimaanpassung beim Wiederaufbau nach der Hochwasserkatastrophe in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen – das HKC als Partner im BMBF-Projekt "KAHR"

Die Flut im Juli 2021 hat in Rheinland-Pfalz und in Nordrhein-Westfalen zum Verlust von 180 Menschenleben und ökonomischen Schäden von über 30 Mrd. € geführt. Der Wiederaufbau ist im vollen Gange und noch lange nicht abgeschlossen – hier wird klar, wie ein Hochwasser ganze Regionen treffen kann – sowohl mit katastrophalen Folgen im privaten als auch volkswirtschaftlichen Bereich. Die Aufgabe des BMBF-Projekts KAHR ist es, den Kommunen und anderen Akteuren die Chancen und Herausforderungen für einen möglichst resilienten Wiederaufbau in Bezug auf Starkregen- und Hochwasservorsorge darzustellen. Konkrete Strategien und Maßnahmen werden dabei empfohlen. Für die betroffenen Regionen ist es wichtig, zukünftig Starkregen- und Hochwasservorsorge zu gewährleisten und planerische Vorsorgestrategien zu entwickeln und umzusetzen.

Ein Aspekt dabei ist, dass betroffene und bedrohte Menschen umfassende Informationen benötigen, mit welchen konkreten Gefahren sie an ihrem Wohnort rechnen müssen und wie sie Eigenvorsorge betreiben können. Die Projektergebnisse machen deutlich, dass durch Beratung zu individuellen Überflutungsschutzmaßnahmen und die dadurch resultierende Stärkung der Eigenverantwortung der Bevölkerung Überflutungsschäden deutlich reduziert werden können. Die Information und Beratung der Hochwasserbetroffenen in den Projektregionen findet durch das HochwasserKompetenzCentrum statt, zu dem das "Starkregen- und Hochwasser-Infomobil" gehört. Neben den Informations- und Beratungsgesprächen wird bei den Einsätzen eine quantitative Umfrage mittels Fragebogen durchgeführt. Die Umfrageergebnisse bringen nähere Informationen, um folgende Fragen beantworten zu können: Wie ausgeprägt ist das Hochwasserrisiko-Bewusstsein in der Bevölkerung bzw. wie hat es sich durch die Ereignisse verändert? Was benötigen die Men-

schen, um Eigenvorsorgemaßnahmen realisieren zu können und wie können sie dabei durch den Hochwasser-Pass unterstützt werden? Auf dieser Grundlage soll im weiteren Projektverlauf ein Konzept zur zielgerichteten Risikokommunikation und adäquates, nutzerorientiertes Informationsmaterial – analog und digital – erarbeitet werden.

Darüber hinaus werden Gebäudeschäden in Bezug auf die hydraulischen Einwirkungen der Überflutung hin analysiert. Diese Untersuchungen sind die Grundlage für eine Weiterentwicklung von Empfehlungen für angemessene Maßnahmen für den Objektschutz und das richtige Verhalten vor, während und nach einem Ereignis. Diese Empfehlungen finden dann Eingang in den Hochwasser-Pass.

Das Konsortium des KAHR-Projektes besteht aus dreizehn Verbundpartnern und wird von den Sprechern Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jörn Brinkmann vom Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung der Universität Stuttgart und Univ.-Prof. Dr.-Ing. Holger Schüttrumpf vom Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der RWTH Aachen vertreten. Weitere Projektpartner sind das Institut für Umweltwissenschaften und Geographie der Universität Potsdam, die Hochschule Koblenz, das Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität Kaiserslautern, das Institut für qualifizierte Innovationsforschung und -beratung, das Helmholtz Zentrum für Umweltforschung, das Deutsche Institut für Urbanistik, das HochwasserKompetenzCentrum e. V., der Wasserverband Eifel-Rur, die Technische Universität Dortmund und der Landkreis Ahrweiler.

Das HochwasserKompetenzCentrum führt Wissenschaft und Praxis im Sinne eines umfassenden Starkregen- und Hochwasserrisikomanagements zusammen. Das HKC-Netzwerk verbindet Forschungsinstitute, Firmen, Dienstleister, Versicherungen, Bürger, Verbände, Betreiber, Kommunen, Kreise und Ministerien zu neuen Kooperationen und Partnerschaften, um die Grundlage für einen gegenseitigen Wissenstransfer zu schaffen und eine Kompetenzsteigerung bei allen genannten Akteuren zu erreichen.

#### **Weitere Informationen:**

Projekthomepage KAHR  
hochwasser-kahr.de

HochwasserKompetenzCentrum (HKC) e.V.  
hkc-online.de

Hochwasser-Pass  
www.hochwasser-pass.com

### **Save the Date: Tag der Hydrologie 2023 in Bochum "Nachhaltiges Wassermanagement – Regionale und Globale Strategien" vom 21. bis 23. März 2023**

Der Tag der Hydrologie 2023 wird in Bochum gemeinsam von der Ruhr-Universität Bochum und Hochschule Bochum organisiert. In den vier Sessions "Urbane Hydrologie", "Wasserqualität im globalen Wandel", "KI in der Hydrologie" und "Monitoring und Analyse hydrologischer Extreme" wird ein breites Spektrum abgedeckt.

Die aktuellen Fragen zum nachhaltigen Umgang mit den Wasserressourcen und den im Klimawandel wachsenden Herausforderungen, u. a. mit zunehmend extremeren Abflussbedingungen, bilden einen roten Faden, der sich durch die Veranstaltung ziehen wird. Interessierte Forschende und insbesondere der akademische Nachwuchs sind herzlich eingeladen, sich mit ihren aktuellen Fragestellungen und Forschungsergebnissen in die Diskussion einzubringen. Wie in den Vorjahren bietet die FgHW interessierten Studierenden ein Sponsoring für die Teilnahme an. Besuchen Sie unsere Internetseite ([www.fghw.de](http://www.fghw.de)) und sprechen Sie uns an.

### **FgHW-Kalender 2023 – der FgHW-Wandkalender geht zum Wasserwirtschafts-Sylvester an alle Mitglieder – Aufruf für den nächsten Kalender**

Für das FgHW-Kalenderprojekt 2023 wurden aus dem Kreis der FgHW-Mitglieder eine Reihe beeindruckender Bilder zum Thema "Hydrologie von oben" eingereicht und es konnte wieder ein attraktiver und informativer Wandkalender gestaltet werden.

Für das Jahr 2024 sollen möglichst Ihre Anregungen für ein interessantes Thema aufgegriffen werden. Gerne kann auch ein institutionelles Mitglied ein eigenes interessantes Thema vorschlagen, um damit das Format des FgHW-Kalenders im Jahr 2024 vollständig zu füllen. Auch hierfür gab es in der Vergangenheit sehr schöne Beispiele. Erinnerung sei an den Emscher-Umbau, den die Emschergenossenschaft/Lippeverband verantwortet hat, oder "Au(g)enblicke" des Aueninstituts Neuburg an der Donau. Wir freuen uns auf Ihre Vorschläge.

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

*Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften*

## Neue Publikationen

### **Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.) (2022):**

Fischökologisches Monitoring an innovativen Wasserkraftanlagen – Zusammenfassung zum Abschlussbericht 2022.

Band 12: Gesamtbewertung. 56 Seiten.

Download: [www.bestellen.bayern.de/shoplink/lfu\\_was\\_00206.htm](http://www.bestellen.bayern.de/shoplink/lfu_was_00206.htm)

### **IKSE – Internationale Kommission zum Schutz der Elbe (Hrsg.) (2022):**

Internationaler Hochwasserrisikomanagementplan für die Flussgebietseinheit Elbe, Aktualisierung für den Zeitraum 2022 – 2027. Informationsblatt der IKSE zur europäischen Hochwasserrisikomanagementrichtlinie.

Download: [www.ikse-mkol.org/publikationen/hochwasserschutz](http://www.ikse-mkol.org/publikationen/hochwasserschutz)

### **Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz (LfU) (Hrsg.) (2022):**

Situation der Lebensgemeinschaft der aquatischen Wirbellosen (Makrozoobenthos) der Ahr in Rheinland-Pfalz nach der Hochwasserkatastrophe vom Juli 2021 – Fortschreibung. Ergebnisse der Beprobungen vom 29. – 31. März 2022. Bericht, 39 Seiten.

Download: [www.lfu.rlp.de/de/unser-amt-service/presse-und-oeffentlichkeitsarbeit/veroeffentlichungen](http://www.lfu.rlp.de/de/unser-amt-service/presse-und-oeffentlichkeitsarbeit/veroeffentlichungen)

### **LUBW Landesamt für Umwelt Baden-Württemberg (Hrsg.) (2022):**

SAMOSEE-BW: Fernerkundung von Seen – unsere Augen im All: Satellitenbasiertes Monitoring von Stehgewässern in Baden-Württemberg – ein Teilprojekt der Digitalisierungsstrategie des Landes "digital@bw". Broschüre, 19 Seiten, Dokument-ID 10383.

Download: <https://pd.lubw.de/10383>

### **Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz; TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser (Hrsg.) (2022):**

Vorkommen persistenter und mobile organischer Spurenstoffe in niedersächsischen Oberflächengewässern – Landesweiter Überblick und Identifikation von Belastungsschwerpunkten. 21 Seiten.

Download: [www.nlwkn.niedersachsen.de/download/185693](http://www.nlwkn.niedersachsen.de/download/185693)

### **Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hrsg.) (2022):**

KliWES 2.0 – Klimawandel und Wasserhaushalt. Schriftenreihe, Heft 17/2022, 148 Seiten.

Download: [www.publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/40252](http://www.publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/40252)

### **Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hrsg.) (2022):**

Ökologische Funktionen von Gewässerrandstreifen. Heft 12/2022, 148 Seiten.

Download: [publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/40152](http://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/40152)

### **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](http://www.umweltbundesamt.de/unter/publikationen)

### **Umweltbundesamt (Hrsg.) (2022):**

Gemeinsam für eine gesunde Ostsee! Der Aktionsplan der Helsinki-Kommission; Faltblatt, 6 Seiten, Juni 2022.

Download: [www.umweltbundesamt.de/unter/publikationen](http://www.umweltbundesamt.de/unter/publikationen)

## Termine

**Die folgenden Ankündigungen entsprechen dem Wissensstand zum Redaktionsschluss am 31.08.2022.**

### 3. Regionalkonferenz zum Gesamtkonzept Elbe

14. Oktober 2022 in Lutherstadt Wittenberg  
Webseite: [www.gesamtkonzept-elbe.bund.de/Webs/Projektseite/GkElbe2020](http://www.gesamtkonzept-elbe.bund.de/Webs/Projektseite/GkElbe2020)

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

31. Oktober bis 2. November in Teheran (Iran)  
Webseite: [www.icopmas.pmo.ir](http://www.icopmas.pmo.ir)

### 23. Gewässermorphologisches Kolloquium

2./3. November 2022 in Koblenz  
Webseite: [www.bafg.de](http://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](http://www.tereno.net/joomla/index.php/events)

### KFKI-Konferenz "Baltic Storm Surge 1872"

14. November 2022 in Rostock  
Webseite: [www.kfki.de](http://www.kfki.de)

### 25th International River Symposium

27. bis 30. November 2022 in Wien (Österreich)  
Hybrid-Veranstaltung  
Webseite: [www.riversymposium.com](http://www.riversymposium.com)

### ICWRGC-Symposium 2022: Uncertainty in river water monitoring

30. November bis 1. Dezember 2022  
Online-Veranstaltung  
Webseite: [www.waterandchange.org/symposium-2022](http://www.waterandchange.org/symposium-2022)

### 53. Internationales Wasserbau-Symposium Aachen

12. Januar 2023 in Aachen  
Webseite: [www.iww.rwth-aachen.de](http://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/bochumer-hydrometrie-kolloquium](http://www.hochschule-bochum.de/fbb/einrichtungen-im-fachbereich/labore/labor-fuer-wasserbau/bochumer-hydrometrie-kolloquium)

### 56. Essener Tagung für Wasserwirtschaft

7. bis 9. März 2023 in Essen  
Webseite: [www.essenertagung.de](http://www.essenertagung.de)

### Tag der Hydrologie 2023

21. bis 23. März 2023 in Bochum  
Webseite: [www.ruhr-uni-bochum.de/tdh2023](http://www.ruhr-uni-bochum.de/tdh2023)

### EGU23 European Geosciences Union general assembly

23. bis 28. April 2023 in Wien (Österreich)  
Hybrid-Veranstaltung  
Webseite: [www.egu23.eu](http://www.egu23.eu)

### 13th Symposium for European Freshwater Sciences

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

### 19. Deutsches Talsperrensymposium

4. bis 6. Juli 2023 in Lindau  
Webseite: [www.talsperrensymposium.de](http://www.talsperrensymposium.de)

### Magdeburger Gewässerschutzseminar 2023

11. bis 12. Oktober 2023 in Karlsbad (Tschechien)  
Webseite: [www.ikse-mkol.org/themen/magdeburger-gewaesserschutzseminar/mgs-2023](http://www.ikse-mkol.org/themen/magdeburger-gewaesserschutzseminar/mgs-2023)

## Erläuterung zur Titelseite

### Niedrigwasserextreme der Jahre 1921 (schwarz-weiße Bilder) und 2018 (farbige Bilder) an Rhein und Elbe

In den Jahren 1921 und 2018 traten in Mitteleuropa flussgebietsübergreifend extreme Trockenphasen auf, wodurch die Wasserführung der großen Flüsse stark zurückging. Das nach Dauer, Intensität und räumlicher Ausdehnung hervorragende Niedrigwasser im Jahr 1921 fand auch in populären Zeitschriften Beachtung.

Eine zeitgenössische Aufnahme (Bild links unten) zeigt den Hungerstein von Děčín (Tetschen) in der Elbe, auf dem auch die Jahreszahl 1921 eingraviert wurde (Abb. 1 im Niedrigwasserartikel dieses Heftes). Hungersteine sind markante strömungsresistente Felsgesteine im Flussbett, die erst bei Niedrigwasser sichtbar werden und bis heute zur Kennzeichnung außerordentlich niedriger Wasserstände genutzt werden.

Das Lichtbild rechts oben zeigt eine Gesellschaft in Sonntagskleidung im trockengefallenen Flussbett des Mittelrheins vor der Burg Pfalzgrafenstein. Das undatierte Bild ist unter Einbezug der vorliegenden Daten zur Wasserführung vermutlich Ende März 1921 aufgenommen worden. Nach BRÜN (1922, s. Quelle zu Bild links unten), wie auch an anderer Stelle beschrieben (s. Kap. 2.4 im Niedrigwasserartikel dieses Heftes), konnte die Burg trockenen Fußes von Kaub aus erreicht werden.

Auch im Sommer und Herbst 2018 trockneten beträchtliche Teile der Gewässerbetten der großen Flüsse aus. Insbesondere an den Gleituferseiten der Flusskrümmungen, wie beispielsweise am Mittelrhein bei Spay (Bild links oben), fielen ausgedehnte Kies- und Schotterflächen trocken. So konnten auch im Jahr 2018 Spaziergänger diese sonst nicht zugänglichen Bereiche erkunden. Die Aufnahme entstand am 20. Oktober 2018, zwei Tage vor der geringsten Wasserführung dieser Niedrigwasserphase am Pegel Kaub. Zu diesem Zeitpunkt hatte sich auf der freigelegten Flusssohle schon terrestrische Pioniervegetation entwickelt.

Das Bild rechts unten zeigt die ebenfalls stark eingeengte Elbe in Dresden oberhalb der Loschwitzer Brücke ("Blaues Wunder") zu Beginn der extremen Niedrigwasserphase am 27. Juli 2018.

*Dr. Daniel Schwandt, Dr. Martin Helms, Dr. Gerd Hübner,  
Jörg Uwe Belz, Wilfried Wiechmann,  
Bundesanstalt für Gewässerkunde*

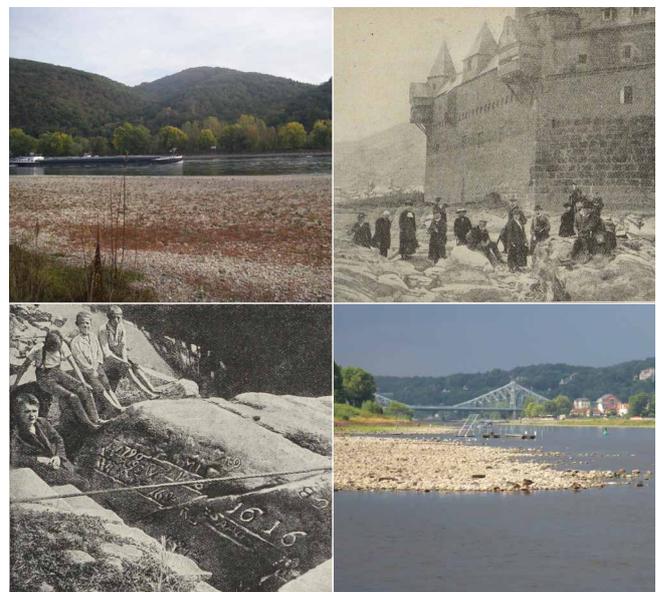


Bild links oben: Mittelrhein bei Spay (Rhein-km 577) mit großflächig trockengefallenem und bereits bewachsenem Flussbett am 20. Oktober 2018 (Quelle: Dr. Gerd Hübner).

Bild rechts oben: Trockengefallenes Rheinbett vor der Inselburg Pfalzgrafenstein bei Kaub vermutlich Ende März 1921 (Quelle: Benninghoven, E., 1921: Im ausgetrockneten Rheinbett bei der Pfalz von Caub (Photographie). Das Buch für Alle: illustrierte Blätter zur Unterhaltung und Belehrung für die Familie und Jedermann, Jg. 56, Heft 20, S. 311. Verlag: Union Deutsche Verlagsgesellschaft. Stuttgart; Digitalisat Universität Heidelberg).

Bild links unten: Hungerstein in der Elbe bei Děčín (Tetschen) im Sommer 1921 (Quelle: Atlantic: Hungerstein in der Elbe bei Tetschen (Photographie). In: Brün, R., 1922: Hungersteine in deutschen Strömen und Flüssen. Das Buch für Alle: illustrierte Blätter zur Unterhaltung und Belehrung für die Familie und Jedermann, Jg. 57, Heft 2, S. 33. Verlag: Union Deutsche Verlagsgesellschaft. Stuttgart; Digitalisat Universität Heidelberg).

Bild rechts unten: Elbe in Dresden oberhalb der Loschwitzer Brücke am 27. Juli 2018 (Quelle: Petra Walther, LfULG Sachsen).