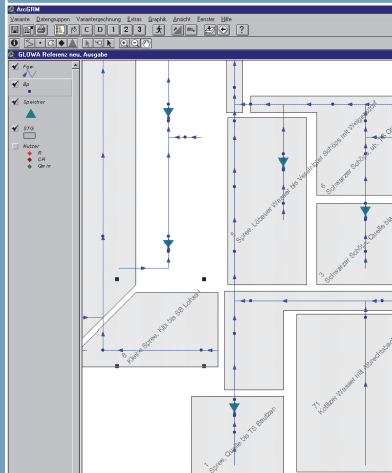


Hydrologie und Wasserbewirtschaftung

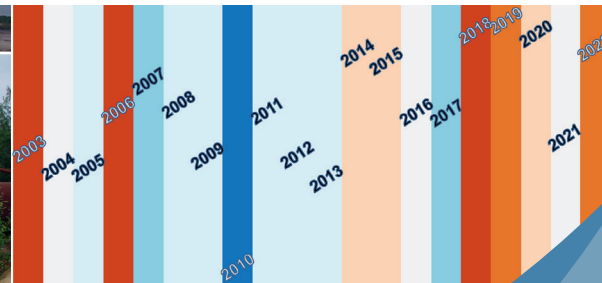
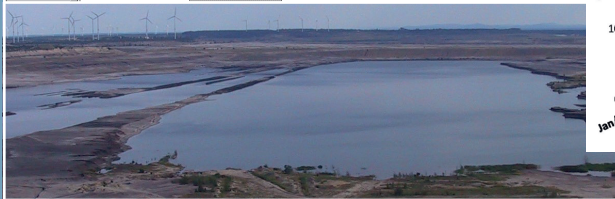
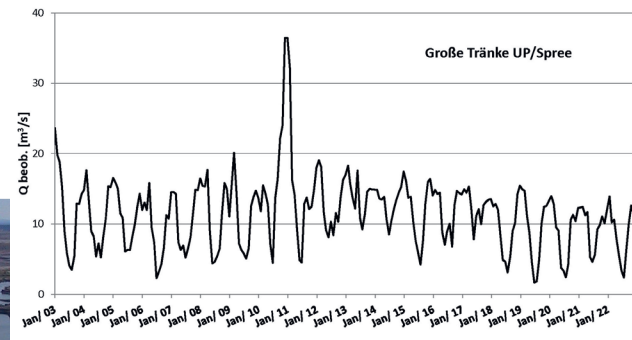
Hydrology and Water Resources Management



HW 48, 2004, H.2 Kaltfofen/Koch/Schramm/Grünwald/Kaden: Anwendung eines Langfristbewirtschaftungsmodells ...

Ausdruck X[270.0]+AE[270.5]+AE[270.6]
Bezeichnung 194 Abfluss Große Tränke gesamt (Gr. Tränke UP + Wernsdorf)

Abchnitt	AE	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
2003 2007	m³/s	21.54	20.18	19.40	13.59	10.28	9.51	9.66	9.76	10.39	15.90	18.39	22.80
2008 2012	m³/s	21.71	20.67	18.06	13.74	11.02	9.65	10.02	9.91	10.17	15.80	18.25	20.99
2013 2017	m³/s	20.83	20.40	18.94	13.99	10.41	8.91	8.50	8.93	9.69	14.60	17.61	20.59
2018 2022	m³/s	19.50	18.18	17.68	12.70	10.08	8.79	8.65	8.84	9.22	14.00	16.74	18.19
2023 2027	m³/s	20.36	18.73	16.32	11.92	10.24	8.91	8.74	8.76	9.40	14.31	16.99	20.11
2028 2032	m³/s	19.60	18.81	19.16	13.76	10.45	8.92	9.39	9.09	9.61	14.02	17.30	19.30
2033 2037	m³/s	17.57	17.37	16.38	11.99	9.16	7.36	7.33	7.62	7.76	12.34	14.78	16.44
2038 2042	m³/s	17.51	18.63	18.26	12.11	9.07	7.57	7.21	6.80	7.61	12.60	15.40	16.57
2043 2047	m³/s	18.26	18.90	19.20	12.62	8.71	7.96	7.68	7.23	7.86	12.29	14.89	16.83
2048 2052	m³/s	18.20	18.33	19.13	12.44	8.72	7.46	6.89	6.49	7.23	13.00	15.85	17.26



Fachartikel

Szenarien des globalen Wandels im bergbaugesprägten Spreegebiet –
Ein Rückblick nach 20 Jahren

Hochaufgelöste Dürremodellierung am Fallbeispiel des Landkreises
Cuxhaven im Norddeutschen Tiefland

Hydrologie und Wasserbewirtschaftung

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

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

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

Redaktionsausschuss (Stand: April 2023)

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

Redaktion:

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

Anschrift:

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

Verlagsrechte:

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

Hinweis:

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

Erscheinungsweise:

zweimonatlich im Abo, 34,- €/Jahr, Studententarif 17,- € (gg. Nachweis), Buchhandelbestellung 25 % Rabatt. 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: Februar 2024)

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
Prof. Dr. Svenja Fischer,
Universität Wageningen/NL
Prof. Dr.-Ing. Uwe Haberlandt,
Universität Hannover
Dr. Dr. Dietmar Mehl,
biota GmbH
Prof. Dr. Lucas Menzel,
Universität Heidelberg
Prof. Dr. Konrad Miegel,
Universität Rostock
Prof. Dr. Elisabeth I. Meyer,
Universität Münster
Dr. Volker Mohaupt,
Potsdam (ehem. UBA)
Prof. Dr. Heribert Nacken,
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
Dr. Enno Nilson,
Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz
Angela Pfister,
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. Markus Weiler,
Universität Freiburg
Prof. Dr. Rolf Weingartner,
Universität Bern

Inhalt | Contents

Vorwort | Foreword

Szenarien des globalen Wandels im bergbaugeprägten Spreegebiet – Ein Rückblick nach 20 Jahren	72
---	----

Fachartikel | Scientific reports

DOI: 10.5675/HyWa_2024.2_1	
Hagen Koch, Anne Gädeke & Fred F. Hattermann	
Szenarien des globalen Wandels im bergbaugeprägten Spreegebiet – Ein Rückblick nach 20 Jahren	
Scenarios of Global Change in the Spree Catchment Influenced by Lignite Mining – A look back 20 years later	73
DOI: 10.5675/HyWa_2024.2_2	
Alexander Strom, Jenny Kröcher, Philipp Wolke, Stephan Hannappel & Christian Fokuhl	
Hochaufgelöste Dürremodellierung am Fallbeispiel des Landkreises Cuxhaven im Norddeutschen Tiefland	
High-resolution drought modeling in the case study of the Cuxhaven district in the North German Lowlands	90

Hydrologische Notizen | Hydrological notes

Aktuelles Latest news	107
Personen Persons	120

Nachrichten | News

Deutsche Hydrologische Gesellschaft German Hydrological Society	121
Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften Association for Hydrological Sciences	122
Termine Events	123

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

Szenarien des globalen Wandels im bergbaugeprägten Spreegebiet – Ein Rückblick nach 20 Jahren

Das Projekt GLOWA Elbe, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert wurde, analysierte die Auswirkungen des globalen Wandels, insbesondere des Klimawandels und sozio-ökonomischer Veränderungsprozesse, auf potenzielle Wassernutzungskonflikte im Elbegebiet. Ziel des Projektes war es, zum einen die zu erwartenden Wassernutzungskonflikte im Elbegebiet zu bestimmen und zum anderen geeignete Anpassungsstrategien zu identifizieren und zu bewerten.

Anfang des Jahres 2000 begannen die Arbeiten mit Fokus auf die bergbaugeprägten Einzugsgebiete von Spree und Schwarzer Elster.

Inklusive des Aufbaus bzw. Anpassung der Modelle sowie Erstellung der Szenarien zu Klima und Braunkohleabbau und -verstromung waren Anfang des Jahres 2002 die ersten Simulationen für die Einzugsgebiete von Spree und Schwarzer Elster abgeschlossen. Die Simulationen, welche den Klimawandel beinhalteten, zeigten für die Zukunft eine deutliche Zunahme von Niedrigwasserperioden, in Ausprägung und Häufigkeit – und dies nicht erst für die Mitte des Jahrhunderts.

Während der Laufzeit des Projektes GLOWA Elbe von 2000 bis 2010 stellte sich der Witterungsverlauf folgendermaßen dar. Während die Jahre 2000 bis 2006 in der Region teilweise warm und niederschlagsarm waren und man das Niedrigwasserproblem in den Einzugsgebieten von Spree und Schwarzer Elster deutlich vor Augen hatte, folgten einige wärmere Jahre, welche jedoch hinsichtlich des Niederschlags als normal bis sehr feucht eingeschätzt werden konnten – die Situation hinsichtlich Niedrigwasser schien sich entspannt zu haben. Gleichzeitig kam auch Kritik zu den Szenarien von GLOWA Elbe auf: die zur Generierung der Klimaszenarien genutzte statistische Methodik führe zu auffällig trockenen Projektionen. Anderweitige Projekte, welche andere Klimamodelle und -szenarien nutzten, kamen zu gegen-

teiligen Ergebnissen, d. h. keine deutliche Häufung von Niedrigwasserperioden, zumindest nicht für das gesamte Elbegebiet. Ab dem Jahr 2014, das Projekt GLOWA Elbe war bereits Geschichte, folgten einige eher warme und niederschlagsarme Jahre. Das Jahr 2017 war wiederum niederschlagsreich, dann folgten ab dem Jahr 2018 eine Reihe von sehr warmen und teilweise extrem niederschlagsarmen Jahren, was die Niedrigwasserproblematik präsenter als zuvor darstellte.

Ähnlich wie dem beschriebenen Verlauf der Witterung, insbesondere hinsichtlich der Niederschläge, bzw. der Niedrigwasserperioden, änderte sich die mediale bzw. öffentliche Wahrnehmung von Jahr zu Jahr. Im extrem niederschlagsarmen und warmen Jahr 2018, in dem deutschlandweit ausgeprägte Niedrigwasserperioden auftraten, war das Thema Klimawandel in allen Medien anzutreffen und das Thema Trockenheit und Niedrigwasser wurde thematisiert. In den Folgejahren, welche für die Region ebenfalls als warm und generell eher niederschlagsarm beschrieben werden können, blieb die mediale Aufmerksamkeit desgleichen weiterhin hoch, zumal in weiten Teilen Mittel- und Südeuropas ausgeprägte Dürren bzw. Niedrigwasserperioden auftraten.

Im Jahr 2022 begannen die Arbeiten zu den in dem Artikel der vorliegenden HyWa-Ausgabe dargestellten Analysen. Die Zusammenstellung und Auswertung der unterschiedlichen Modellergebnisse bzw. der Beobachtungsdaten stellte die Autoren jedoch vor erhebliche Schwierigkeiten. Die Auswertung einiger Variablen, z. B. Speichervolumina, war nicht möglich, da entweder Beobachtungsdaten und/oder Simulationsergebnisse nicht oder nur für begrenzte Zeiträume zur Verfügung standen. Dennoch sind die Autoren der Auffassung, dass der Artikel einen wichtigen Beitrag zur Klimafolgenforschung erbringt: die Auswertung von modellierten und beobachteten Klimafolgen für die nahe Vergangenheit.

*Dr. habil. Hagen Koch,
Prof. Dr. Fred Hattermann,
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)*

*Dr. Anne Gädeke,
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe*

Hagen Koch, Anne Gädeke & Fred F. Hattermann

Szenarien des globalen Wandels im bergbau-geprägten Spreegebiet – Ein Rückblick nach 20 Jahren

Scenarios of Global Change in the Spree Catchment Influenced by Lignite Mining – A look back 20 years later

Das Einzugsgebiet der Spree ist hydrologisch und wasserwirtschaftlich stark von der Entwicklung von Braunkohleförderung und –verstromung, verbunden mit Grundwasserabsenkungen, Versickerungsverlusten, Sümpfungswassereinleitungen, Kühlwassernutzung in thermischen Kraftwerken sowie Flutung ehemaliger Tagebaue, einem komplexen wasserwirtschaftlichen System und einem kontinentalen Klima geprägt. Im Projekt GLOWA Elbe wurden für das Gebiet Szenarien des globalen Wandels für den Zeitraum 2003 bis 2052 analysiert. Im Jahre 2004 war es das Ergebnis, dass das gegenwärtige System der Wasserbewirtschaftung die Folgen des angenommenen Klimawandels nicht ausgleichen kann. Nach Ablauf der ersten 20 Jahre des Simulationszeitraumes 2003 bis 2022 werden in diesem Artikel die in GLOWA Elbe und weiteren Projekten erzeugten Ergebnisse sowie die genutzten Eingangsdaten, Szenarien und Modelle hinsichtlich ihrer Übereinstimmung mit beobachteten Abflüssen bzw. Witterungsverlauf analysiert.

Es zeigt sich, dass die in den Projekten genutzten Bergbauszenarien der Entwicklung bis zum jetzigen Zeitpunkt entsprechen, während die Szenarien zur klimatischen Entwicklung zum Teil deutlich von den Beobachtungen abweichen. Letzteres hat erhebliche Konsequenzen für die simulierten Abflüsse.

Weiterhin kann gezeigt werden, dass auch in stark anthropogen überprägten Flusseinzugsgebieten die Auswirkungen des Klimawandels unter Nutzung hydrologischer und wasserwirtschaftlicher Modelle zuverlässig abgeschätzt werden können, wobei insbesondere die genutzten Klimaszenarien/-modelle eine erhebliche Unsicherheit hervorrufen. Deswegen ist es unabdingbar, in entsprechenden Klimafolgenstudien Eingangsdaten diverser Klimaszenarien/-modelle zu nutzen und die gesamte Bandbreite der hydrologischen/wasserwirtschaftlichen Ergebnisse darzustellen.

Schlagwörter: Spree, Szenarien, Klimawandel, Bergbau, Wasserbewirtschaftung

In terms of hydrology and water management, the Spree river catchment in eastern Germany is strongly influenced by the development of lignite mining and power generation (groundwater lowering, seepage losses, mine water discharges, cooling water use in thermal power plants, flooding of former opencast mines), a complex water management system and a continental climate. The GLOWA Elbe project analysed scenarios of global change for the Spree for the period 2003 to 2052. In 2004, one result was that the current system of water management cannot compensate for the consequences of the assumed climate change. After the first 20 years of the simulation period (2003 to 2022), this article analyses the results generated in GLOWA Elbe and other projects as well as the input data, scenarios and models used with regard to their agreement with observed discharges and weather patterns.

The mining scenarios used in the projects correspond to the development up to the present time, while the scenarios for climatic development partly deviate significantly from the observations. The latter has considerable consequences for the simulated discharges.

Furthermore, it can be shown that the impacts of climate change can be reliably estimated in river basins heavily anthropogenically influenced using hydrological and water management models, although the climate scenarios/models used introduce considerable uncertainty. Therefore, it is indispensable to use input data from various climate scenarios/models in corresponding climate impact studies and to present the entire range of hydrological/water management results.

Keywords: Spree river, scenarios, climate change, lignite mining, water resources management

1 Einleitung

In den letzten 30 Jahren sind national und international unzählige hydrologische Klimafolgenstudien, in geringerem Umfang auch unter Einbeziehung der Wasserbewirtschaftung, durchgeführt und veröffentlicht worden. Die geringere Anzahl an Studien, welche die Wasserbewirtschaftung berücksichtigen, wird im Allgemeinen mit der Schwierigkeit der Datenverfügbarkeit bezüglich Wassernutzungen, Talsperren bzw. Überleitungen sowie deren Steuerung erklärt.

Bei Betrachtung hydrologischer Klimafolgenstudien zeigen diverse Untersuchungen, dass die aus der Klimamodellierung stammenden Unsicherheiten in den meisten Einzugsgebieten

deutlich größer sind als die durch die hydrologische Modellierung hervorgerufenen (VETTER et al, 2017; HATTERMANN et al, 2018).

Im Fokus dieses Artikels steht der Vergleich von teilweise vor mehr als 20 Jahren erzeugten Szenarien zu Klimaentwicklung und Abflüssen der Jahre 2003 bis 2022 mit entsprechenden Beobachtungen für das Flusseinzugsgebiet der Spree bis Berlin. Den Autoren dieser Studie sind keine Veröffentlichungen bekannt, in denen die Ergebnisse der in den letzten Jahrzehnten durchgeführten Klimafolgenstudien ex post analysiert werden. Hier sei bereits auf Schwierigkeiten bei der Analyse der vor ca. 20 Jahren genutzten bzw. erzeugten Daten hingewiesen.

Trotz der inhaltlichen und räumlichen Begrenzung können aus den durchgeführten Analysen allgemeingültige Schlussfolgerungen, insbesondere für zukünftige Klimafolgestudien und die Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen, gezogen werden.

Die Planung von wasserwirtschaftlichen Maßnahmen, z. B. Anpassung an einen sich verändernden Wasserbedarf oder sich verändernde Wasserverfügbarkeit, erfordert eine zuverlässige Datenbasis. Unsicherheiten bezüglich möglicher zukünftiger Entwicklungen können mittels Szenarien einbezogen werden, vergrößern jedoch den Möglichkeitsraum und können somit die Entscheidungsfindung erschweren. So wird der zukünftige Wasserbedarf von der technologischen und demografischen Entwicklung, aber auch regulatorischen Vorgaben, die Wasserverfügbarkeit dagegen von der klimatischen Entwicklung, der Landnutzung und bereits existierenden wasserwirtschaftlichen Maßnahmen beeinflusst. Insbesondere in Bergbaugebieten können wasserwirtschaftlichen Maßnahmen, z. B. die Förderung und Einleitung von Grundwasser in die Oberflächengewässer, sog. Sumpfungswässer, die Wasserverfügbarkeit stark beeinflussen (GRÜNEWALD, 2001).

Sowohl in der Analyse von Beobachtungsdaten als auch der Modellierung ist darum eine konsequente Unterscheidung zwischen hydrologischen und wasserwirtschaftlichen Prozessen geboten. Während erstere weitgehend natürliche Niederschlag-Abfluss-Prozesse beinhalten, sind letztere ausschließlich anthropogene Eingriffe, z. B. der Rückhalt und Abgabe von Wasser aus Talsperren und Speichern sowie Wasserüberleitungen in das System. Wasserwirtschaftliche Simulationen basieren auf dem natürlichen Dargebot.

Die potenzielle Größenordnung des Bewirtschaftungseinflusses auf den beobachteten Abfluss zeigt KOCH et al. (2010) für den Elbepegel Děčín für August 2003, wo bei einem beobachteten Monatsmittelwert von 99 m³/s ca. 40 m³/s hauptsächlich aus Speicherabgaben und untergeordnet aus (Klärwerks-)Einleitungen stammen.

Viele hydrologische Modelle beinhalten mittlerweile auch Routinen/Module zur Simulation von Bewirtschaftungsprozessen. Jedoch ist auch hier darauf zu achten, die hydrologischen Prozesse separat zu parametrisieren, bevor die Bewirtschaftung im Modell implementiert wird (KOCH et al., 2018).

Im Lausitzer Revier haben Sumpfungswassereinleitungen in den Einzugsgebieten von Spree und Schwarzer Elster über Jahrzehnte zu einer Vervielfachung der verfügbaren Wasservolumina geführt. Mit der Stilllegung der Mehrzahl der Braunkohletagebaue im Lausitzer Revier zu Beginn der 1990er Jahre sind diese Zusatzwassermengen und somit die Wasserverfügbarkeit deutlich gesunken (SCHOENHEINZ et al., 2011; UMWELTBUNDESAMT, 2023).

Da das langfristige, Jahrzehnte andauernde Auslaufen der Braunkohleförderung und -verstromung im Lausitzer Revier bereits in den 1990er Jahren absehbar war, wurde bereits vor mehr als 25 Jahren damit begonnen, die wasserwirtschaftlichen Planungen für Spree und Schwarze Elster entsprechend auszurichten (GRÜNEWALD et al., 2001). Für die Planung und Abstimmung wasserwirtschaftlicher Maßnahmen wurde im Auftrag einer "länderübergreifenden Arbeitsgruppe", bestehend aus den Ländern

Sachsen, Brandenburg, Berlin und Sachsen-Anhalt, des Sanierungsträgers für den auslaufenden Bergbau, die Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft LMBV mbH, sowie dem Bergbau- und Kraftwerksbetreiber ein Langfristbewirtschaftungsmodell entwickelt. Um die Unsicherheit hinsichtlich der Wasserverfügbarkeit bzw. die Klimavariabilität einzubeziehen, erfolgen die Simulationen unter Nutzung von 100 Realisierungen, welche potenziell mögliche Dargebotsregime darstellen. Bei der Erzeugung der 100 Realisierungen, wie sie seit dem Ende der 1990er Jahre im Langfristbewirtschaftungsmodell genutzt werden, wurde ein stabiles Klima entsprechend des Zeitraumes 1961 bis 1990 angenommen, im Folgenden Referenzklima bzw. Referenzszenario.

In diversen wissenschaftlichen Projekten (Tab. 1) wurden unter Nutzung des teilweise in den Projekten weiterentwickelten Langfristbewirtschaftungsmodells für Spree und Schwarze Elster in den letzten beiden Jahrzehnten insbesondere Klima- aber auch Bewirtschaftungsszenarien analysiert (KALTOFEN et al., 2004; ROERS & WECHSUNG, 2015; POHLE et al., 2016).

Die in den Projekten genutzten Eingangsdaten, Szenarien und Modelle werden in diesem Artikel dargestellt. Dabei kann hinsichtlich der einzelnen Modelle über die z. B. globale und regionale Klimamodellierung, die hier notwendigen verschiedenen Arbeitsschritte wie z. B. Bias-Korrektur, oder Szenario-Annahmen wie z. B. die Entwicklung des Bergbaus nur ein allgemeiner Überblick gegeben werden. Die genutzten Bergbauszenarien weisen bis zum Jahr 2022 keine Unterschiede auf und entsprechen im Allgemeinen dem tatsächlichen Verlauf. Dabei ist zu beachten, dass in den wasserwirtschaftlichen Simulationen jährlich konstante Werte, z. B. der Sumpfungswassereinleitungen, angenommen werden, welche in der Realität gewissen Schwankungen unterliegen. Die generelle Entwicklung, z. B. Rückgang der Sumpfungswassereinleitungen (UMWELTBUNDESAMT, 2023), entspricht den Beobachtungen.

Ziel der im Folgenden vorgestellten Studie war es, die in den unterschiedlichen Projekten erzeugten Simulationsergebnisse mit Beobachtungen der letzten 20 Jahre zu vergleichen und zu diskutieren. Voraussetzung für die Auswertung ist, dass die entsprechenden Daten zur Wetter- und Klimaentwicklung sowie den Abflüssen sowohl beobachtet, als auch simuliert, verfügbar sind.

2 Materialien und Methoden

2.1 Das Untersuchungsgebiet

Große Teile des Einzugsgebietes der Spree sind durch ein kontinentales Klima mit hohen Sommertemperaturen und geringen Jahresniederschlagssummen charakterisiert, woraus für das Sommerhalbjahr in vielen Jahren eine negative klimatische Wasserbilanz und eine ganzjährig niedrige Abflussspende resultiert (SCHOENHEINZ et al., 2011).

Für die Förderung der Braunkohle im Lausitzer Revier muss der Grundwasserstand durch Wasserhebung unter die tiefste Abbausohle der Tagebaue gesenkt werden. Pro Tonne Kohle werden ca. 6 Tonnen Grundwasser als Sumpfungswasser gehoben und in die Vorflut abgegeben, wodurch der Abfluss in den Vorflutern ansteigt und sich der Jahresgang vergleichmäßig (SCHOENHEINZ et al., 2011). Dies gilt insbesondere für das Einzugsgebiet der Spree (POHLE et al., 2019). Im Jahr 1991 ergab

sich ein Grundwasserabsenkungstrichter von ca. 2.100 km² Fläche (GRÜNEWALD, 2001). Mit der fortschreitenden Stilllegung von Braunkohletagebauen seit Beginn der 1990er Jahre sind die Sumpfungswassermengen deutlich gesunken, bei ebenfalls sinkenden Versickerungsverlusten und kleiner werdendem Grundwasserabsenkungstrichter, jedoch zusätzlichem Wasserbedarf zur Flutung der ehemaligen Tagebaue.

Maßnahmen der Wasserbewirtschaftung im Untersuchungsgebiet sind die Speicherung von Wasser, insbesondere im Oberlauf der Spree, in Phasen des Dargebotsüberschusses mit dem Ziel der Niedrigwasseraufhöhung sowie Überleitungen zwischen den Einzugsgebieten Lausitzer Neiße, Spree und Schwarze Elster. Zur Anpassung an die absehbar sinkenden Sumpfungswassermengen im Spreegebiet wurde die Speichernutzung von Bergbaufolgeseeen geplant, wobei der mengenmäßig größte dieser Speicher das Wasserspeichersystem (WSS) Lohsa II, mit den Speichern Burghammer, Dreiweibern und Lohsa II, ist (POHLE et al., 2016).

Ungeachtet der in den letzten Jahrzehnten geplanten und umgesetzten wasserwirtschaftlichen Anpassungsmaßnahmen, wie z. B. Nutzung ehemaliger Tagebaue als Speicher, traten in den Jahren 2018 bis 2022 ausgeprägte Niedrigwasserperioden auf. Für den Pegel Große Tränke UP/Spree, Zufluss nach Berlin über die Spree (Abb. 1), weist die Berliner SENATSVERWALTUNG FÜR UMWELT, VERKEHR UND KLIMASCHUTZ (2021) deutlich sinkende mittlere sowie minimale Zuflüsse aus. Dabei wird der Bruchpunkt bei den mittleren Zuflüssen für das Jahr 1995, bei den minimalen Zuflüssen für das Jahr 1992 ausgewiesen. Dies entspricht in etwa der Periode, in der die Sumpfungswassereinleitungen deutlich sanken. Für die Jahre 2014 bis 2020, mit Ausnahme des Jahres 2017, wird wegen gestiegener Lufttemperaturen und potenzieller Verdunstung in Verbindung mit geringen Niederschlägen eine Verschlechterung der klimatischen Wasserbilanz konstatiert.

2.2 Modelle und Modelleingangsdaten

Die genutzte Modellkette setzt sich grundsätzlich aus Modellen für drei unterschiedliche Prozesse zusammen: Klimamodelle => hydrologische Modelle => Wasserbewirtschaftungsmodelle.

In Tabelle 1 sind die Projekte, die wichtigsten Szenarioannahmen und Modelle, deren Ergebnisse in diesem Artikel genutzt werden, aufgeführt. Während sich Phase 1 von GLOWA Elbe auf die Einzugsgebiete von Spree und Schwarzer Elster konzentrierte (KALTOFEN et al., 2004), wurden die Arbeiten in den Phasen 2 und 3 auf das gesamte Elbegebiet erweitert (WECHSUNG et al., 2013). Die Forschungsarbeiten des Projekts INKA BB wiederum hatte einen Fokus auf die Einzugsgebiete von Spree und Schwarzer Elster (POHLE et al., 2016), in Klima Check wurde das gesamte Elbegebiet betrachtet (ROERS & WECHSUNG, 2015). Die in den späteren Projekten unter Nutzung des STAR 2K-Szenarios erzeugten Ergebnisse entsprechen im Prinzip denen aus GLOWA Elbe 1. Darum werden nur die Ergebnisse aus GLOWA Elbe 1 (Referenzszenario, STAR 2K) sowie aus KlimaCheck das ISIMIP-Szenario (ROERS & WECHSUNG, 2015) mit den Beobachtungsdaten der Jahre 2003 bis 2022 verglichen.

Die analysierten meteorologischen Beobachtungsdaten wurden vom Deutschen Wetterdienst (DWD) bereitgestellt. Beobachtete

Abflussdaten wurden von den Online Plattformen des LfU Brandenburg (apw.brandenburg.de/) bzw. SMEKUL Sachsen (www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/) heruntergeladen.

Bezüglich der im Folgenden ausgewerteten bzw. dargestellten Daten ist anzumerken, dass für das Referenzszenario nur die 100 Realisierungen des monatlichen Niederschlags für die Stationen Schönefeld und Buch zur Verfügung standen. Für das Spree-einzugsgebiet liegen für die Referenzperiode (1961 bis 1990) die korrigierten Niederschlagssummen bei 640 mm/a, während die Niederschlagssummen für die Stationen Schönefeld und Buch geringer sind. Die Werte der 100 Realisierungen wurden entsprechend skaliert, so dass der Mittelwert der Niederschlagssummen der 100 Realisierungen 640 mm/a entspricht.

2.2.1 Klimamodelle und genutzte Klimadaten

Die von Globalen Zirkulationsmodellen (GCM) bzw. Erd-System-Modellen (ESM) generierten Klimadaten besitzen eine für die Anwendung auf der regionalen Ebene zu weite Rastergröße. Deswegen müssen entsprechende Datenreihen vor der Nutzung regionalisiert werden. Für die Regionalisierung existieren zwei grundsätzlich unterschiedliche Modellansätze.

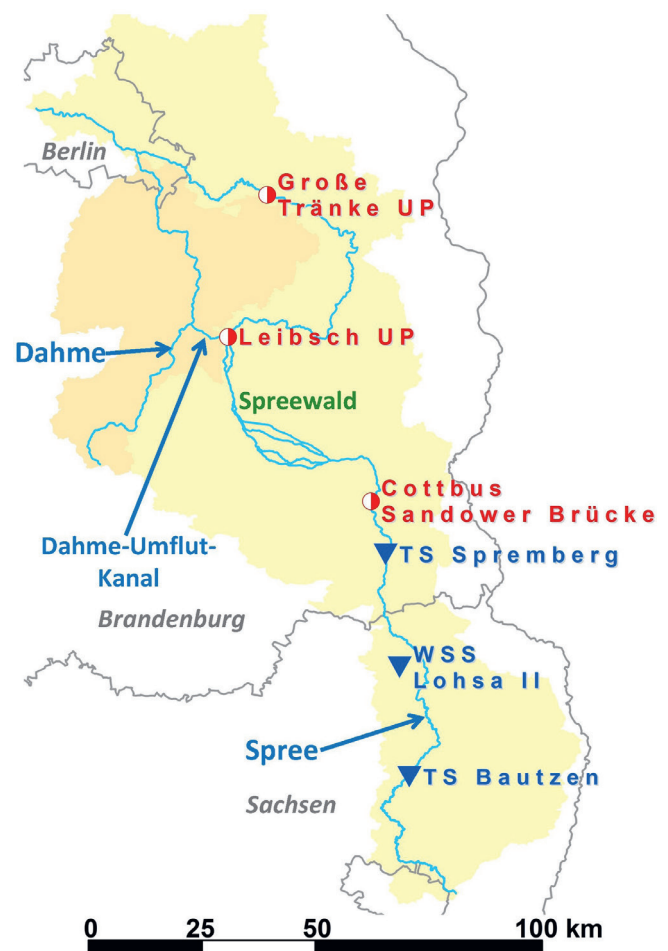


Abbildung 1

Übersichtskarte des Spreegebiets mit ausgewählten Pegeln und wasserwirtschaftlichen Speichern.

Map of the Spree catchment including selected gauging stations and reservoirs.

Tabelle 1
Übersicht zu Projekten, Szenarien und Modellen.
Overview of projects, scenarios and models.

Projekt	Projektlaufzeit	Klimaszenarien	Hydrologisches Modell	Wasserbewirtschaftung
GLOWA Elbe 1	2000 – 2003	Referenz (1961 – 1990) STAR 2K	EGMO	ArcGRM
GLOWA Elbe 2 & 3	2004 – 2010	STAR 2K	SWIM	WBalMo
INKA BB	2009 – 2014	STAR 2K	EGMO/SWIM	WBalMo
KlimaCheck	2011 – 2014	STAR 2 K 4 RCPs* (ISIMIP)	SWIM	WBalMo

* Regionalisierte und bias-korrigierte GCM-Läufe

In dynamischen regionalen Klimamodellen werden die physikalischen Vorgänge im Zusammenwirken der verschiedenen Erdsystemkomponenten (Atmosphäre, Ozean, Biosphäre usw.) simuliert, wobei Ergebnisse der GCM/ESM als Randbedingungen berücksichtigt werden.

Beim Vergleich von Beobachtungsdaten und simuliertem Referenzzeitraum (d. h. Simulation für die Vergangenheit) weisen dynamische regionale Klimamodelle beim Niederschlag häufig eine deutliche Abweichung, in Mitteleuropa häufig eine Überschätzung, auf. Aus diesem Grund erfolgt eine sogenannte Bias-Korrektur, welche die Differenz zwischen Beobachtung und Simulation verringern bzw. beseitigen soll. Die Frage, ob eine deutliche Differenz auf eine unzureichende Prozessabbildung hinweist, wird hier vernachlässigt, ebenfalls welche weiteren Größen ebenfalls korrigiert werden sollten. Zu hohe simulierte Niederschläge gehen vermutlich mit zu starker Bewölkung (und somit zu geringer Globalstrahlung) sowie zu hoher Luftfeuchtigkeit einher. Dies ist aus Sicht hydrologischer Simulationen wichtig, da Globalstrahlung und Luftfeuchtigkeit in diversen Ansätzen zur Berechnung der potenziellen Evaporation genutzt werden.

Beim statistischen Ansatz wird danach gefragt, welche in der Vergangenheit beobachteten Witterungsperioden unter den sich verändernden klimatischen Bedingungen der Zukunft entsprechend der GCM/ESM-Ergebnisse in der Betrachtungsregion häufiger oder seltener auftreten. Gibt es genügend beobachtete entsprechende Witterungsperioden, wird daraus ein entsprechendes regionales Klimaszenario zusammengesetzt. Statistische Ansätze wurden und werden häufig als zu vereinfachend oder gar falsch kritisiert, da beispielsweise gleichbleibende Zusammenhänge zwischen den meteorologischen Größen vorausgesetzt werden, weswegen im kontinental warmen Klima des Spreegebietes beobachtete warme und trockene Sommer in den Zukunftsszenarien häufig auftreten.

Referenzklima

Die für das Referenzszenario für 2003 bis 2052 durchgeführten wasserwirtschaftlichen Simulationen basieren auf dem Beobachtungsklima der Referenzperiode 1961 bis 1990 unter der Annahme, dass kein Klimawandel auftritt und entsprechen somit den Annahmen des Modells der "länderübergreifenden Arbeitsgruppe". Zur Berücksichtigung der Variabilität von Klima und Abfluss wurden 100 stochastisch generierte Realisierungen genutzt (KALTOFEN et al., 2004).

STAR

Der statistische Ansatz STAR überträgt einen, z. B. von GCM/ESM vorgegebenen, Temperaturanstieg auf Klimastationen (WERNER & GERSTENGARBE, 1997; ORLOWSKY et al., 2008), wobei in der Erzeugung der hier genutzten Realisierungen ein linearer Temperaturtrend angenommen wurde. Unter Annahme der räumlichen Erhaltungsneigungen von Temperaturänderungen und der gleichbleibenden Zusammenhänge zwischen den meteorologischen Größen wurden Niederschlag, relative Luftfeuchte, Globalstrahlung, Tagesminimum- und -maximumtemperatur mitgeführt. In dem hier genutzten Szenario STAR 2K wird eine Erwärmung bis zur Mitte dieses Jahrhunderts um 2K gegenüber der Referenzperiode 1961 bis 1990 im Untersuchungsgebiet angenommen. Es wurden 100 Realisierungen täglicher Klimagrößen für 2003 bis 2052 erzeugt.

ISIMIP

Um den Simulationen unter Nutzung des STAR 2K-Szenarios andere Szenarien gegenüberzustellen, wurden von ROERS & WECHSUNG (2015) Klimadaten des Projektes ISIMIP ("Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project", WARSZAWSKI et al., 2013) genutzt. Die unterliegenden vier Emissionsszenarien (RCPs – *Representative Concentration Pathways*) beginnen im Jahr 2006 und enden 2099. Im Rahmen des Projektes ISIMIP Fast Track (HEMPEL et al., 2013a) wurden fünf ESM-Modelle aus der fünften Generation des Coupled Model Intercomparison Project (CMIP5) ausgewählt und deren Klimaprojektionen auf ein Raster von 0,5° x 0,5° nach HEMPEL et al. (2013b) regionalisiert und bias-korrigiert, wobei die absoluten Trends hinsichtlich zukünftiger Temperatur- und Niederschlagsentwicklung beibehalten wurden. Da die Unterschiede im Klimaänderungssignal zwischen den vier RCPs (2.6 bis 8.5) bis zur Mitte dieses Jahrhunderts noch relativ gering sind, wurden alle Läufe als ein Ensemble genutzt. Dabei wurden Ergebnisse von fünf ESM und insgesamt 20 Modellläufe genutzt. Da die Szenarienläufe erst im Jahr 2006 starten, die Simulationen mit dem Wasserbewirtschaftungsmodell bereits im Jahr 2003, wurde von ROERS & WECHSUNG (2015) das ISIMIP-Modelljahr 2006 dem Jahr 2003 gleichgesetzt. Diese geringfügige Verschiebung um 3 Jahre sollte aber keinen erheblichen Einfluss auf die Ergebnisse haben.

2.2.2 Hydrologische Modelle

In den dargestellten Studien wurden für die Generierung der natürlichen Abflüsse zwei hydrologische Modelle ausgewählt. Einerseits wurde das konzeptionelle Blockmodell EGMO (PFÜTZNER & GLOS, 1986) für die Niederschlag-Abfluss-Model-

lierung angewandt. Daneben wurde das prozessorientierte öko-hydrologische Modell SWIM (KRYSANOVA et al., 2015) eingesetzt. Die genutzten Modelle wurden teilweise unter Nutzung von Beobachtungszeitreihen der Abflüsse, teilweise an quasinatürlichen Abflusszeitreihen kalibriert und validiert (z. B. POHLE et al., 2016).

Die aus der Nutzung der beiden hydrologischen Modelle resultierenden Unterschiede werden hier nicht dargestellt, da diese als gering bewertet wurden (POHLE et al., 2016). Die Differenz zwischen den natürlichen Abflüssen (MQ) am Pegel Große Tränke UP/Spree beträgt ca. 1,5 %. Die aus der Landnutzungsänderung resultierenden Änderungen der Abflussbildung, infolge Zunahme der abflussbildenden Fläche wegen der Reduzierung des Grundwasserabsenkungsgebietes, sind größer als die Differenzen zwischen den hydrologischen Modellen. Am größten sind jedoch die Änderungen auf Grund der jeweiligen Klimaszenarien.

2.2.3 Wasserbewirtschaftungsmodelle

Es wurde die lizenzpflichtige Software zur Langfristbewirtschaftungsmodellierung ArcGRM (KADEN et al., 2004) bzw. WBalMo (KADEN et al., 2005) genutzt, wobei das Modell WBalMo eine Weiterentwicklung von ArcGRM darstellt. Datengrundlage von ArcGRM/WBalMo sind das natürliche Dargebot von Teileinzugsgebieten, z. B. erzeugt mittels hydrologischer Modelle, sowie meteorologische Größen zur Bestimmung der wasserstandsabhängigen Verdunstung aus wasserwirtschaftlichen Speichern, Seen und Binnenfischereiteichen. Wassernutzer werden inklusive ihrer zeitlich variablen Entnahme und Abgabe berücksichtigt und an Bilanzprofilen verortet. Wasserwirtschaftliche Speicher werden hinsichtlich ihrer Kapazität, Wasserstands-Volumen-Beziehung und Bewirtschaftung beschrieben. Die Simulation erfolgt durch Bilanzierung des Wassers im System von Flussstrecken und Speichern, unter Berücksichtigung einer festgelegten Rangliste, die sich über die Simulationslaufzeit ändern kann. Komplexe Regeln der Bewirtschaftung, z. B. die Flutung von Bergbaufolgeseen oder Wasserüberleitungen, sind mittels dynamischer Elemente implementiert. Der im Allgemeinen genutzte Zeitschritt der Modellierung ist ein Monat, bei der Anwendung von INKA BB wurde eine Version mit wöchentlichem Zeitschritt entwickelt und genutzt. Die Basis des Modells für die Einzugsgebiete von Spree und Schwarzer Elster, d. h. Ausweisung der Teileinzugsgebiete bzw. deren natürliches Dargebot, Lage und Bedarfe der Wassernutzer, Lage und Steuervorgaben für wasserwirtschaftliche Objekte usw., sind zum Teil sensitive und deswegen öffentlich nicht zugängliche Daten der "länderübergreifenden Arbeitsgruppe" und werden beständig fortgeschrieben. In den verschiedenen Forschungsprojekten wurden diverse Änderungen und Ergänzungen, z. B. hinsichtlich Betrachtungsperiode, Wasserbedarfsentwicklung, Klimainput usw., vorgenommen.

Die Bewirtschaftung der Talsperren und Speicher, die Flutung und Nachsorge des aktuellen Sanierungsbergbaus (LMBV-Tagebaue) in den hierin ausgewerteten Wasserbewirtschaftungssimulationen entspricht den Planungen der "länderübergreifenden Arbeitsgruppe" des Jahres 2000. Ausführliche Informationen zur Bewirtschaftung finden sich in KALTOFEN et al. (2004) bzw. KOCH (2005).

2.2.4 Szenarien zur Braunkohleförderung und -verstromung

Die Entwicklung der Braunkohleförderung und -verstromung wurde mittels zweier Szenarien berücksichtigt. Diese weisen bis

zum Jahr 2022 keine Unterschiede auf, sodass sie für die hier vorgenommene Auswertung keine Bedeutung haben. Die Szenarien beinhalten u. a. die Flutung des Tagebaus Cottbus-Nord ab dem Jahr 2020 sowie einen kontinuierlichen Rückgang des Grundwasserabsenkungstrichters und der dort auftretenden Versickerungsverluste aus den Oberflächengewässern, der Sumpfungswassereinleitungen der Tagebaue und des Kühlwasserbedarfes der thermischen Kraftwerke.

Die Entwicklung der Grundwasserabsenkung wurde in der hydrologischen Simulation berücksichtigt, betroffene Gebiete tragen nicht zur Abflussbildung bei. Die Entwicklung der Versickerungsverluste, die Sumpfungswassereinleitungen, die Kühlwassernutzung der thermischen Kraftwerke, die Flutung und Nachsorge bzw. wasserwirtschaftliche Nutzung ehemaliger Tagebaue wurde in der Wasserbewirtschaftungssimulation berücksichtigt.

2.2.5 Ergebnisauswertung und -darstellung

Die Simulationen mit dem Wasserbewirtschaftungsmodell erfolgten unter Betrachtung von Fünfjahresperioden (KALTOFEN et al., 2004; POHLE et al., 2016), innerhalb derer beispielsweise das Grundwasserabsenkungsgebiet und die dort auftretenden Versickerungsverluste der Oberflächengewässer, der Kühlwasserbedarf der thermischen Kraftwerke konstant sind. Mit fortschreitender Zeit verringern sich Grundwasserabsenkungsgebiet, Versickerungsverluste und Kühlwasserbedarf. Die Ergebnisauswertung erfolgt entsprechend für Fünfjahresperioden, dabei umfasst die Periode 2005 die Jahre 2003 bis 2007 usw. Da mit Ausnahme der ISIMIP-Klimaszenarien jeweils 100 Realisierungen zur Verfügung standen, konnten je Fünfjahresperiode 500 Modelljahre zur statistischen Auswertung genutzt werden. Für die ISIMIP-Klimaszenarien mit 20 Modellläufen ergeben sich entsprechend 100 Modelljahre je Fünfjahresperiode.

In KALTOFEN et al. (2004) werden Ergebnisse für eine Überschreitungswahrscheinlichkeit (ÜWK) von 80 % dargestellt, z. B. Abfluss für den Monat Juli am Pegel Große Tränke UP/Spree (Zufluss nach Berlin über die Spree, Abb. 10 in KALTOFEN et al., 2004). Die ÜWK von 80 % wird als moderater Trockenwetterabfluss interpretiert, der im entsprechenden Monat statistisch einmal in fünf Jahren auftritt. Für diese moderaten Trockenverhältnisse wird im STAR 2K-Szenario eine deutliche Unterschreitung des Mindestabflusses von $8,00 \text{ m}^3/\text{s}$ am Pegel Große Tränke UP/Spree bereits ab dem Jahr 2003 und die Folgejahre dargestellt, woraus die Aussage resultiert, dass das gegenwärtige System der Wasserbewirtschaftung die Folgen des angenommenen Klimawandels nicht ausgleichen kann. Nach dem Jahr 2025 verbessert sich die Abflusssituation auch im STAR 2K-Szenario für einige Jahre, da neben dem WSS Lohsa II auch Abgaben aus dem Speicher Cottbus-Nord den Spreewald- bzw. Berlinzufluss in Niedrigwasserperioden stützen, nach dem Jahr 2030 verschlechtert sich die Situation als Konsequenz von Klimawandel und Rückgang der Sumpfungswassereinleitungen wieder.

Während KALTOFEN et al. (2004) auf eine Analyse potenzieller Niedrigwasser(-Konflikte) und Anpassungsmaßnahmen fokussierte (ÜWK von 80 %), stellt KOCH (2005) die ÜWK von 20 % und 80 % für das Referenzszenario bzw. STAR 2K-Szenario dar. Die zwischen ÜWK von 20 % und 80 % liegenden inneren 60 % können auch als Normalzustand, die oberhalb bzw. unterhalb liegenden Werte als moderate Abweichungen, statistisch je Monat einmal in fünf Jahren, interpretiert werden.

Da in den wasserwirtschaftlichen Simulationen Fünfjahresperioden genutzt wurden, werden im Folgenden die beobachteten mittleren monatlichen Abflüsse der Jahre 2003 bis 2022 für diese ausgewertet. Dabei würden bei statistischer Normalverteilung der Witterungsverhältnisse in jeder Fünfjahresperiode je Monat jeweils ein Wert oberhalb bzw. unterhalb der ÜWK von 20 % und 80 % liegen. Da die realen Witterungsverhältnisse oft zyklisch, z. B. als Aufeinanderfolge feuchterer bzw. trockenerer Jahre, bzw. grundlegend als stochastisch zu betrachten sind, können sich mehr oder weniger starke Differenzen zwischen den 500 simulierten Wetter-Realisierungen und der jeweiligen Ausprägung des tatsächlichen Wetters ergeben – anders ausgedrückt: das beobachtete Wetter ist nur eine Teilmenge der möglichen Witterungsabläufe. Sollten sich jedoch Trends in den beobachteten Witterungsdaten zeigen, sollte sich dies in noch deutlicheren Differenzen manifestieren.

Normalerweise entspricht die Reihenfolge der Ergebnisdarstellung der genutzten Modellkette: Klimamodelle => hydrologische Modelle => Wasserbewirtschaftungsmodelle. Bei der hydrologischen bzw. wasserwirtschaftlichen Modellierung erfolgt die Ergebnisdarstellung üblicherweise vom Ober- zum Unterlauf. Bezug nehmend auf das Zitat aus KALTOFEN et al. (2004) zum bewirtschafteten Abfluss am Pegel Große Tränke UP/Spree gehen wir hier den umgekehrten Weg: beginnend am genannten Pegel werden oberhalb gelegene Pegel ausgewertet, danach folgt eine Analyse von beobachteten und simulierten Wetterdaten. Auf diesem Weg wird dargestellt, warum die jeweils genutzte Modellkette zu kleineren oder größeren Abweichungen im Vergleich zu den beobachteten Abflüssen am Pegel Große Tränke UP/Spree führt.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Beobachtete und simulierte Abflüsse

In den folgenden Abbildungen werden Ergebnisse für in Abbildung 1 ausgewiesene Pegel für Fünfjahresperioden, z. B. für die Fünfjahresperiode 2003 bis 2007, dargestellt. Bei den beobachteten Daten sind die einzelnen Monatswerte der Jahre 2003 bis 2007 usw. dargestellt, für die Simulationen die aus den Realisierungen berechneten ÜWK der jeweiligen Fünfjahresperiode.

In Abbildung 2 sind die beobachteten und simulierten Abflüsse am Pegel Große Tränke UP/Spree dargestellt. In den Simulationen für das Referenzszenario (ohne Klimawandel, Abb. 2a) wird in den vier Fünfjahresperioden von 2003 bis 2022 auch unter moderaten Niedrigwasserverhältnissen (ÜWK 80 %) der Mindestabfluss (8,00 m³/s) durchgehend eingehalten. Die Abgaben aus den Talsperren und Speichern an der oberen und mittleren Spree erfüllen somit das Bewirtschaftungsziel Einhaltung des Mindestabflusses am Pegel Große Tränke UP/Spree. Die Beobachtungen für die Jahre 2003 bis 2007 zeigen dagegen für die Monate Juni bis September – in einigen Jahren auch im Mai und Oktober – in allen Jahren eine deutliche Unterschreitung des Mindestabflusses. Ebenfalls in der Folgeperiode 2008 bis 2012 wird der Mindestabfluss zwischen Juni bis September häufig unterschritten, lediglich im Jahr 2012 wird dieser durchgehend eingehalten. In den Jahren 2013 bis 2017 liegen die beobachteten Abflüsse fast durchgehend zwischen den simulierten ÜWK 20 % und 80 %, in einigen Monaten der Jahre 2015, 2016 und 2017 wird der Mindestabfluss unterschritten. Für die Jahre 2018 bis 2022 zeigen die Beobachtungen zwischen Mai und Oktober

fast durchgehend eine deutliche Unterschreitung des Mindestabflusses. Auch im Winterhalbjahr liegen die Beobachtungen fast durchgehend unterhalb der simulierten ÜWK 80 %.

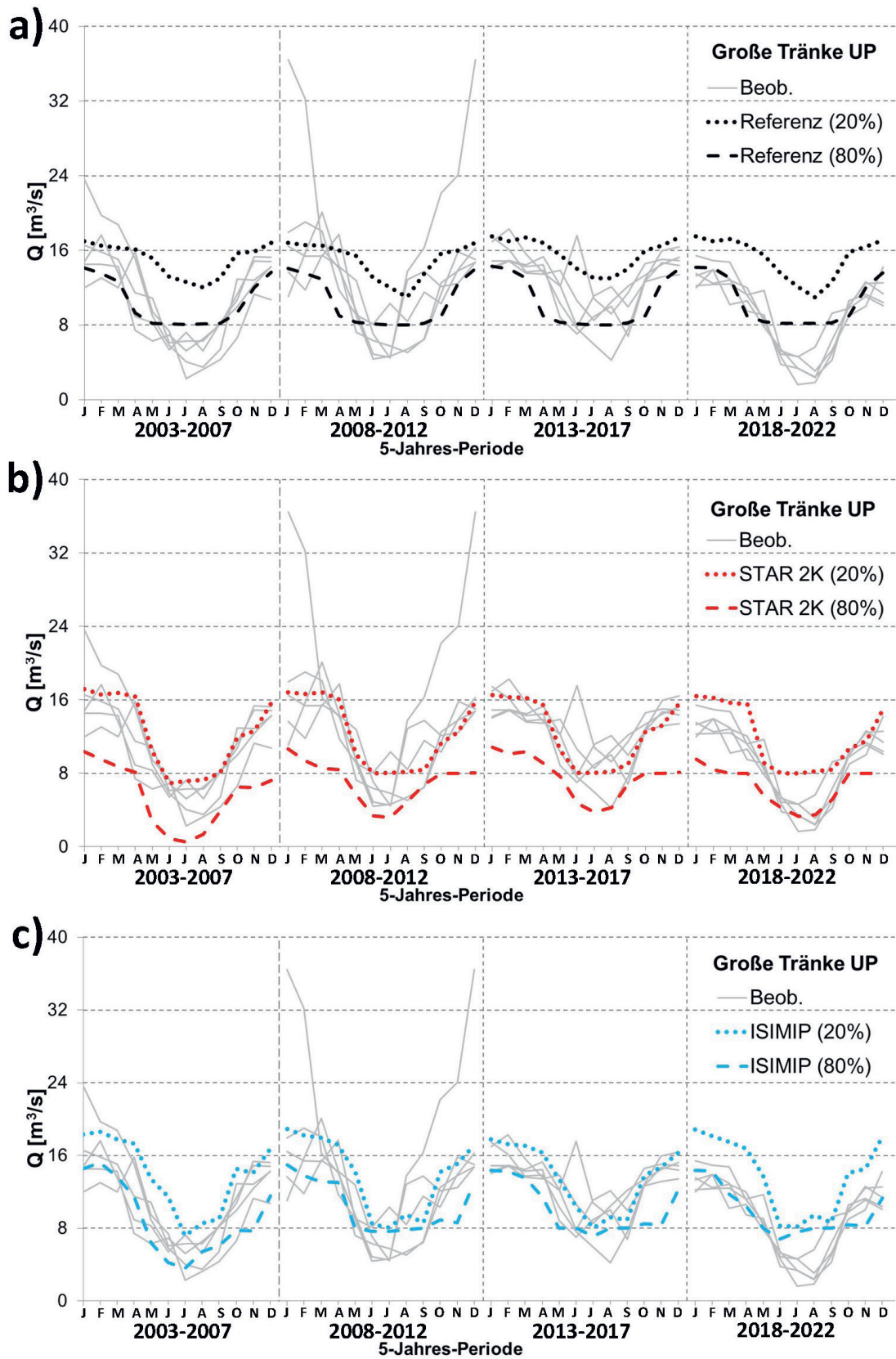
Im STAR 2K-Szenario wird der Mindestabfluss, mit Ausnahme der ersten Fünfjahresperiode, in den Sommermonaten unter moderat feuchten Bedingungen (ÜWK 20 %) eingehalten, unter moderat trockenen Bedingungen dagegen (ÜWK 80 %) in keiner Fünfjahresperiode (Abb. 2b).

Im ISIMIP-Szenario wird der Mindestabfluss, mit einer Ausnahme in der ersten Fünfjahresperiode, in den Sommermonaten unter moderat feuchten Bedingungen (ÜWK 20 %) eingehalten (Abb. 2c). Unter moderat trockenen Bedingungen (ÜWK 80 %) wird der Mindestabfluss in der ersten Fünfjahresperiode unterschritten, ab der zweiten Fünfjahresperiode ab dem Jahr 2008 wird dieser fast durchgängig eingehalten.

Abbildung 3 zeigt die beobachteten und simulierten Abflüsse am Pegel Leibsch UP/Spree. Grundsätzlich zeigen sich für diesen Pegel ähnliche Ergebnisse wie für den Pegel Große Tränke UP/Spree. In vielen Monaten liegen die beobachteten Abflüsse unter den für moderate Niedrigwasserverhältnisse (ÜWK 80 %) simulierten Werten im Referenzszenario (ohne Klimawandel, Abb. 3a), besonders ausgeprägt in der ersten und letzten Fünfjahresperiode sowie in den Sommermonaten. Im STAR 2K-Szenario (Abb. 3b) werden die Abflussverhältnisse deutlich besser abgebildet, im ISIMIP-Szenario (Abb. 3c) werden insbesondere Niedrigwasserabflüsse (ÜWK 80 %) deutlich überschätzt.

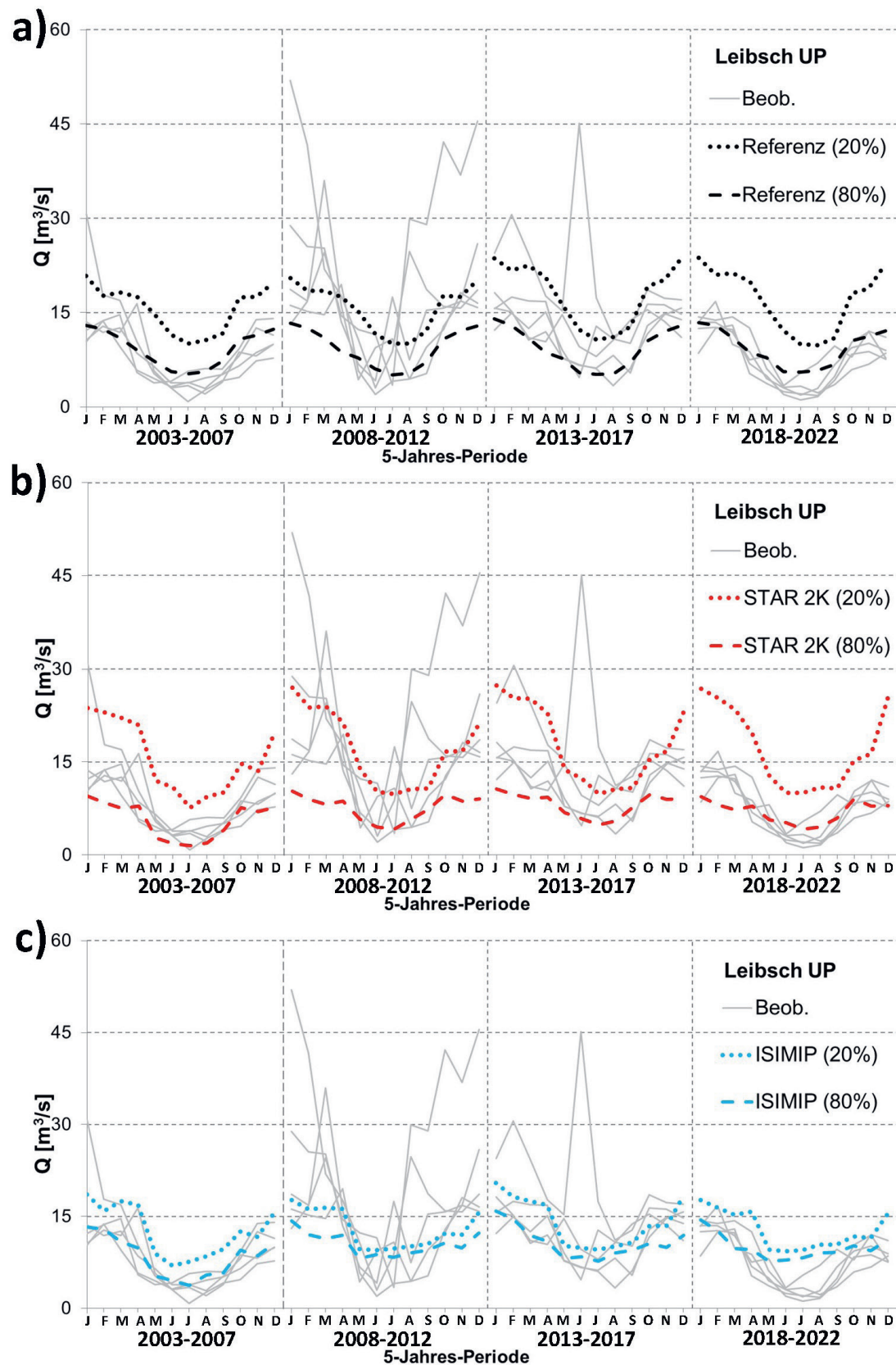
Es stellt sich die Frage, ob fehlende Abgaben aus dem WSS Lohsa II oder erhöhte Überleitungen über den Dahme-Umflutkanal für die niedrigen beobachteten Abflüsse an den aufgeführten Pegeln verantwortlich sind. In den Simulationen gibt das WSS Lohsa II ab Betriebsbereitschaft – je nach Flutungswasserverfügbarkeit in der entsprechenden Realisierung zwischen 2003 und 2007 – Wasser zur Stützung des Zuflusses zum Spreewald bzw. für den Abfluss am Pegel Große Tränke UP/Spree ab. Aufgrund von Gewässergüterrestriktionen für die der Ausleitungen aus dem WSS Lohsa II erfolgten diese Abgaben in den letzten Jahren in deutlich reduziertem Umfang (LMBV, 2021).

Aus diesem Grund sind in Abbildung 4 die beobachteten und simulierten Abflüsse am Pegel Cottbus Sandower Brücke/Spree, der unterhalb des WSS Lohsa II liegt, dargestellt. Es gibt nur wenige beobachtete Monate, an denen die für moderate Niedrigwasserverhältnisse (ÜWK 80 %) simulierten Abflüsse im Referenzszenario unterschritten werden (ohne Klimawandel, Abb. 4a). Die beobachteten Abflüsse liegen im Allgemeinen deutlich über den simulierten ÜWK 80 %. Dies gilt ebenfalls für das STAR 2K-Szenario (Abb. 4b). Lediglich im ISIMIP-Szenario (Abb. 4c) liegen die simulierten Abflüsse für moderate Niedrigwasserverhältnisse (ÜWK 80 %) in der letzten Periode 2018 bis 2022, entsprechend den Pegeln Große Tränke UP/Spree und Leibsch UP/Spree, deutlich oberhalb der beobachteten Abflüsse. Daraus ist zu schlussfolgern, dass die reduzierten Abgaben aus dem WSS Lohsa II nicht die Ursache für die verstärkt beobachteten Niedrigwasserabflüsse an den Pegeln Leibsch UP/Spree und Große Tränke UP/Spree sind bzw. dass die anderen Speicher, insbesondere die Talsperren Bautzen und Spremberg, die fehlenden Abgaben aus dem WSS Lohsa II teilweise ausgleichen konnten.

**Abbildung 2**

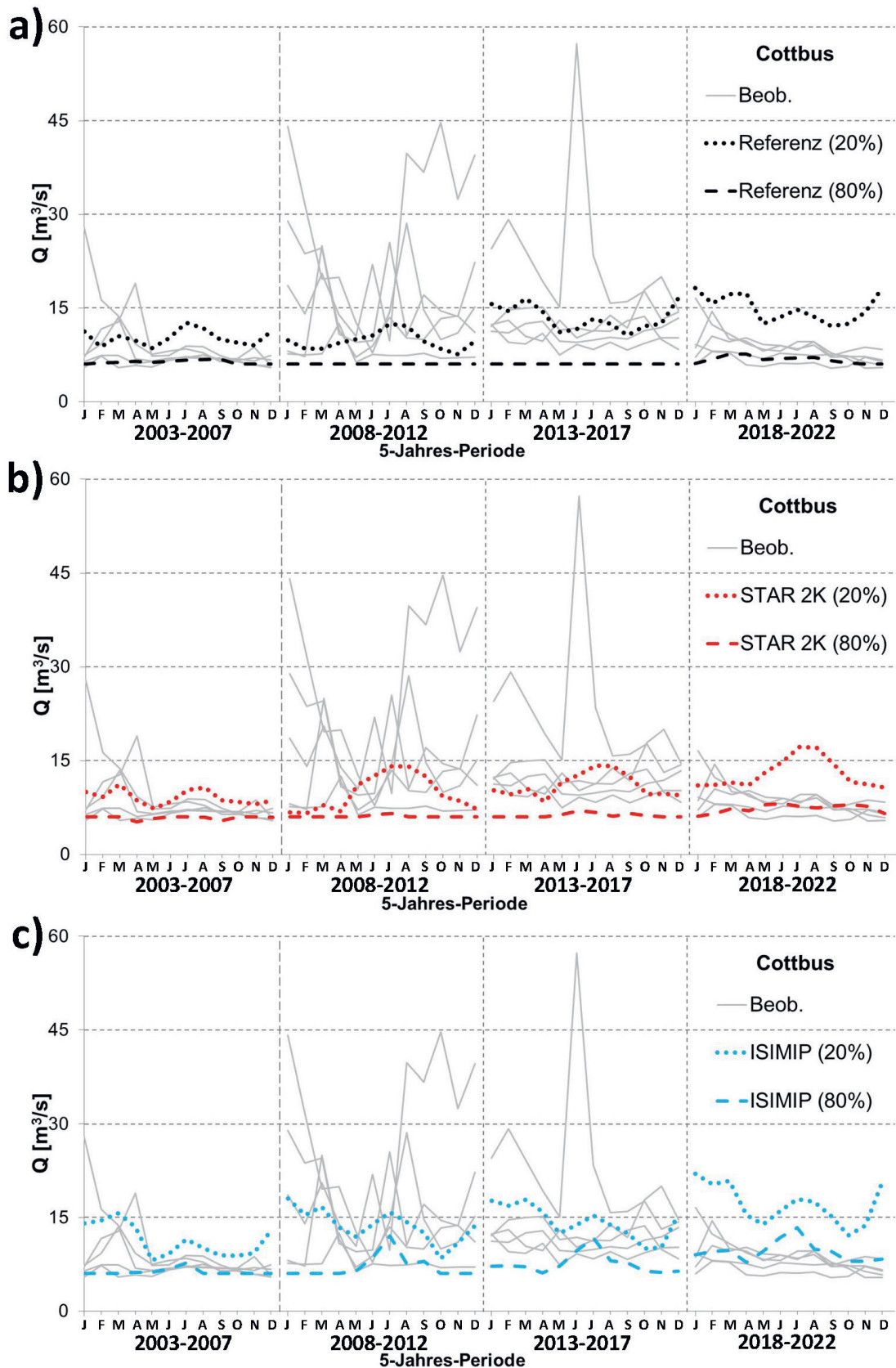
Pegel Große Tränke UP/Spree: Monatsmittelwerte beobachteter Durchflüsse sowie simulierter Durchfluss für Überschreitungswahrscheinlichkeiten von 20 % und 80 %; a) Referenzszenario, b) STAR 2K-Szenario, c) ISIMIP-Szenario; innerhalb der 5-Jahres-Perioden sind die beobachteten fünf Jahre als graue Linien dargestellt.

Gauge Große Tränke UP/Spree: mean monthly observed discharges and simulated discharge for exceedance probabilities of 20 % and 80 %; a) reference scenario, b) STAR 2K-scenario, c) ISIMIP-scenario; within 5-year-periods observed discharges of the respective five years are shown as grey lines.


Abbildung 3

Pegel Leibsch UP/Spree: Monatsmittelwerte beobachteter Durchflüsse sowie simulierter Durchfluss für Überschreitungswahrscheinlichkeiten von 20 % und 80 %; a) Referenzszenario, b) STAR 2K-Szenario, c) ISIMIP-Szenario; innerhalb der 5-Jahres-Perioden sind die beobachteten fünf Jahre als graue Linien dargestellt.

Gauge Leibsch UP/Spree: mean monthly observed discharges and simulated discharge for exceedance probabilities of 20 % and 80 %; a) reference scenario, b) STAR 2K-scenario, c) ISIMIP-scenario; within 5-year-periods observed discharges of the respective five years are shown as grey lines.

**Abbildung 4**

Pegel Cottbus Sandower Brücke/Spree: Monatsmittelwerte beobachteter Durchflüsse sowie simulierter Durchfluss für Überschreitungswahrscheinlichkeiten von 20 % und 80 %; a) Referenzszenario, b) STAR 2K-Szenario, c) ISIMIP-Szenario; innerhalb der 5-Jahres-Perioden sind die beobachteten fünf Jahre als graue Linien dargestellt.

Gauge Cottbus Sandower Brücke/Spree: mean monthly observed discharges and simulated discharge for exceedance probabilities of 20 % and 80 %; a) reference scenario, b) STAR 2K-scenario, c) ISIMIP-scenario; within 5-year-periods observed discharges of the respective five years are shown as grey lines.

Die beobachteten Überleitungen über den Dahme-Umflut-Kanal (nicht dargestellt) wurden ebenfalls mit den Simulationen verglichen und die Beobachtungen entsprechen den in den Modellen integrierten Regeln, z. B. bei Niedrigwasser nur Mindestwasserentnahme für die Stützung des Dahme-Umflut-Kanals, dessen Hauptaufgabe die Hochwasserentlastung der Spree ist.

Aus dem Vergleich der Abflüsse am Pegel Cottbus Sandower Brücke/Spree mit denen an den Pegeln Leibsch UP/Spree und Große Tränke UP/Spree lässt sich schlussfolgern, dass in den Simulationen die (Nutzungs-/Verdunstungs-)Verluste im Spreewald unterschätzt werden.

3.2 Klimadaten

Die im Wasserbewirtschaftungsmodell berücksichtigte Bewirtschaftung stellt entsprechend der bisher dargestellten Ergebnisse nicht den Grund für die teilweise großen Differenzen zwischen Beobachtungen und Simulationsergebnissen dar. Aus diesem Grund werden im Folgenden die genutzten Klimadaten analysiert.

Abbildung 5 zeigt die beobachteten und simulierten monatlichen Niederschlagssummen für das Spreegebiet. Grundsätzlich zeigt sich, dass die Wintermonate die niedrigsten Niederschlagssummen aufweisen. Die Bandbreite wird von den Modellen recht gut wiedergegeben, einzelne Beobachtungen liegen ober- bzw. unterhalb der ÜWK von 20 % und 80 %. Das STAR 2K-Szenario und das ISIMIP-Szenario zeigen mit fortschreitender Zeit eine Erhöhung der winterlichen Niederschlagssummen, während die Beobachtungen für die Wintermonate häufig sehr geringe Niederschlagssummen ausweisen.

In Abbildung 6 sind die beobachteten und simulierten monatlichen Temperaturen für das Spreegebiet dargestellt. Im Vergleich zum Referenzszenario sind die beobachteten Temperaturen mit fortschreitender Zeit in vielen Monaten deutlich höher, besonders ausgeprägt in den Sommermonaten (ohne Klimawandel, Abb. 6a). Im STAR 2K-Szenario werden die Temperaturen und ihre Entwicklung über die Zeit deutlich besser abgebildet (Abb. 6b). Dies gilt auch für das ISIMIP-Szenario (Abb. 6c).

Obwohl die in den Abbildungen 5 und 6 dargestellten Werte einen guten Überblick geben, können daraus noch keine Schlussfolgerungen aus hydrologischer Sicht gezogen werden. Die dargestellten Werte der ÜWK 20 % bzw. 80 % können aus unterschiedlichen Realisierungen stammen und liefern somit keine Information wie z. B. zur Andauer von Perioden mit hohen Temperaturen und/oder geringen Niederschlägen. Neben den für die einzelnen Szenarien simulierten bewirtschafteten Abflüssen (s. o.), welche das Klima räumlich und zeitlich integrieren, werden hier noch die jährlichen Niederschlagssummen bzw. Mitteltemperaturen analysiert.

Die dem Referenzszenario ohne Klimawandel zugrunde liegenden 100 Realisierungen der Referenz 2003 bis 2022 bilden das beobachtete Klima des Beobachtungszeitraumes 1961 bis 1990 gut ab, weisen allerdings sehr viele niederschlagsreiche und etwas zu kühle Jahre auf (Abb. 7). Wird der Beobachtungszeitraum 1881 bis 1960 hinzugezogen, zeigt sich gegenüber dem Beobachtungszeitraum 1961 bis 1990 eine größere Spannweite bei den Jahresmitteltemperaturen, während die Spannweite bei

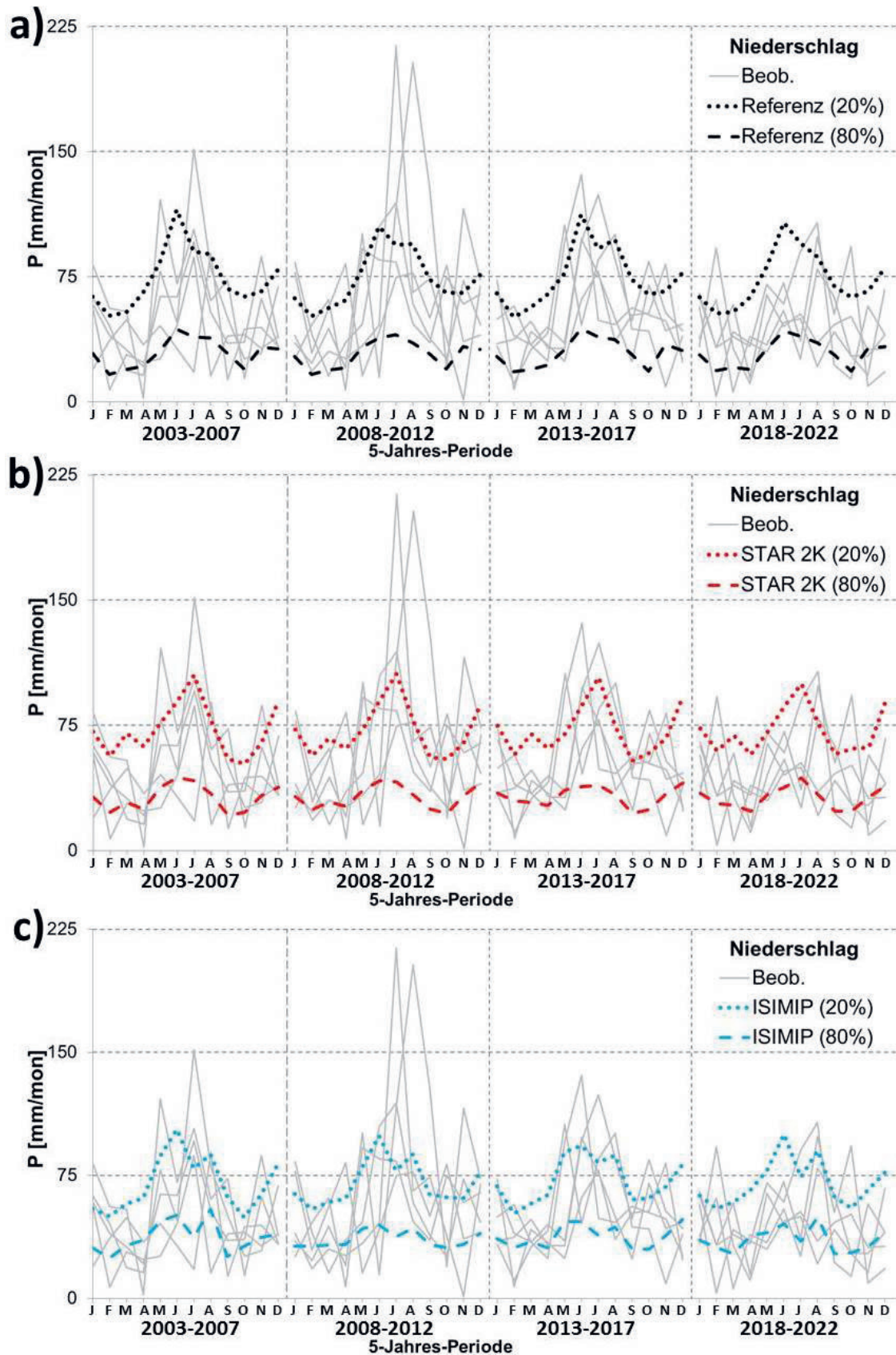
den Jahresniederschlägen ähnlich bleibt. Insgesamt bildet das Referenzszenario ohne Klimawandel das Klima für die 132 Jahre des Zeitraumes 1881 bis 2012 gut ab.

Ab dem Jahr 1991 sind gegenüber dem Beobachtungszeitraum 1881 bis 1990 steigende Temperaturen zu beobachten mit einer Temperaturzunahme von 1,1 °C für 1991 bis 2020 gegenüber 1961 bis 1990 (Abb. 7, mit Ausweisung der Fünfjahresperioden ab 2003). Während die Jahre 2003 bis 2012 noch im Möglichkeitsbereich des Referenzszenarios liegen, bezüglich der hohen Temperaturen und teilweise der Niederschlagssummen aber schon als Extrema angesehen werden müssten und das Jahr 2010 als Extrem mit geringer Mitteltemperatur und höchster Niederschlagssumme seit 1881 hervorsteicht, befinden sich zwei Jahre der Fünfjahresperiode 2013 bis 2017 und vier Jahre der Fünfjahresperiode 2018 bis 2022 mehr oder weniger deutlich außerhalb des Möglichkeitsbereichs. Insgesamt weist der Zeitraum 2003 bis 2022 gegenüber dem Zeitraum 1991 bis 2020 weiter steigende Temperaturen auf, dabei aber auch leicht sinkende Niederschlagssummen, obwohl der Zeitraum das niederschlagsreichste Jahr 2010 im Gesamtzeitraum 1881 bis 2022 beinhaltet. Die Fünfjahresperiode 2018 bis 2022 weist mit einem Temperaturmittelwert von 10,7 °C eine Steigerung von 2,1 °C gegenüber der Beobachtungsperiode 1960 bis 1990 auf. Die damit verbundene Zunahme der potenziellen Verdunstung beträgt etwa 15 %, ca. 80 bis 90 mm/a.

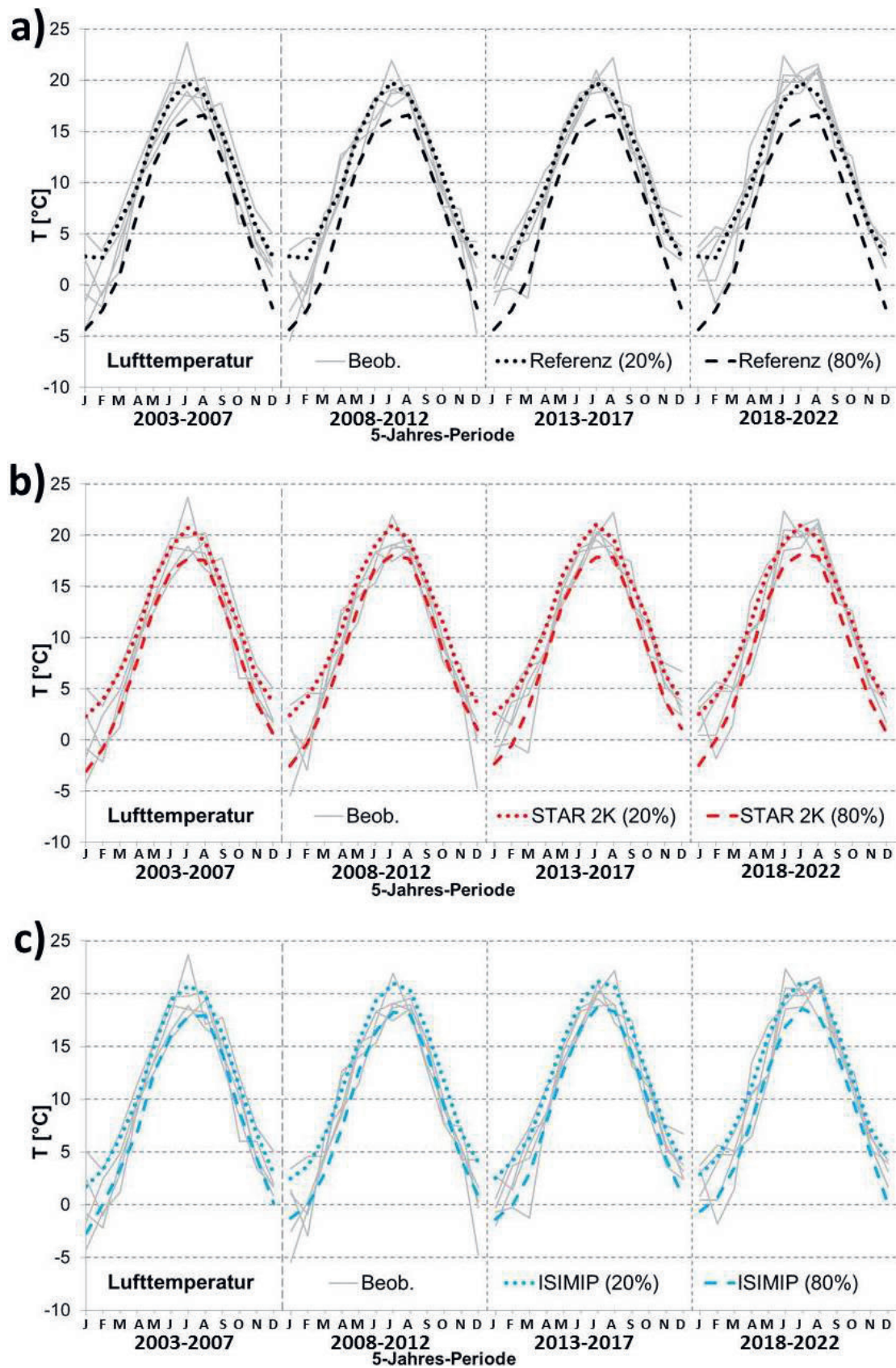
In Abbildung 8 werden Beobachtungen und ISIMIP-Klima von 1961 bis 1990 (Mittelwert) sowie von 2003 bis 2022 (mit Ausweisung der Fünfjahresperioden) den Realisierungen von STAR 2K bzw. ISIMIP gegenübergestellt. Beide Klimaszenarien weisen die beobachtete Temperaturzunahme aus. STAR 2K zeigt im Vergleich zu ISIMIP eine deutlich größere Variabilität in den jährlichen Niederschlagssummen, sowohl bezüglich niederschlagsarmer als auch -reicher Jahre. ISIMIP beinhaltet insgesamt ein etwas höheres Temperaturniveau. Da das ISIMIP-Modelljahr 2006 dem Jahr 2003 gleichgesetzt wurde, werden in Abbildung 8 die ersten 20 Jahre des ISIMIP-Szenarios (2006 bis 2025) dargestellt. Es sei darauf hingewiesen, dass im ISIMIP-Szenario fünf der sechs Jahre mit Jahresmitteltemperaturen von ca. 12 °C vor dem Jahr 2023 liegen.

3.3 Gesamtbewertung der Simulationsergebnisse

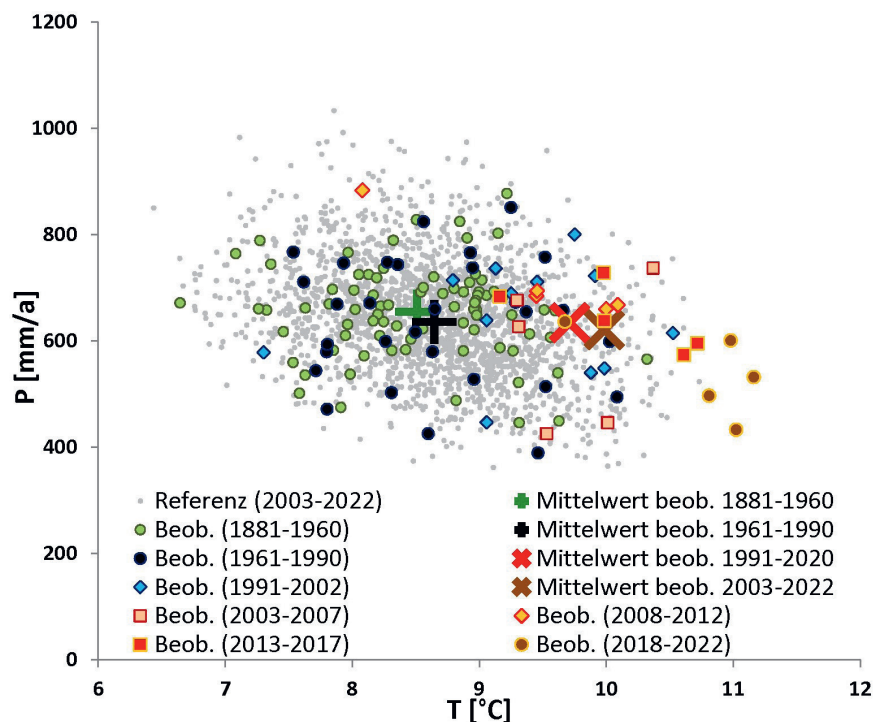
Werden die zwischen den Überschreitungswahrscheinlichkeiten (ÜWK) 20 % und 80 % liegenden inneren 60 % als Normalzustand interpretiert, die oberhalb bzw. unterhalb liegenden Werte als moderate Abweichungen, die statistisch einmal in fünf Jahren auftreten, sollten je Fünfjahresperiode 36 Monate (60 Monate x 0,6) zwischen den ÜWK 20 % und 80 % liegen. Über den gesamten Betrachtungszeitraum von 20 Jahren, und bedingt durch die Tatsache, dass durch den längeren Zeitraum die beobachteten Abflüsse die mögliche Schwankungsbreite besser umfassen, sollten 144 Monate (240 Monate x 0,6) zwischen den ÜWK 20 % und 80 % liegen. Tabelle 2 zeigt die Häufigkeit, in der die unterschiedlichen Simulationsläufe das aufgeführte Kriterium erfüllen. Es zeigt sich, dass die Simulationen unter Nutzung von STAR 2K in zwei der vier Perioden mehr als 36 Monate zwischen den ÜWK 20 % und 80 % aufweisen, unter Nutzung des Referenzszenarios bzw. ISIMIP jeweils eine Periode. Über den gesamten Betrachtungszeitraum von 20 Jahren erfüllen nur die Simulationen unter Nutzung von STAR 2K das Kriterium.

**Abbildung 5**

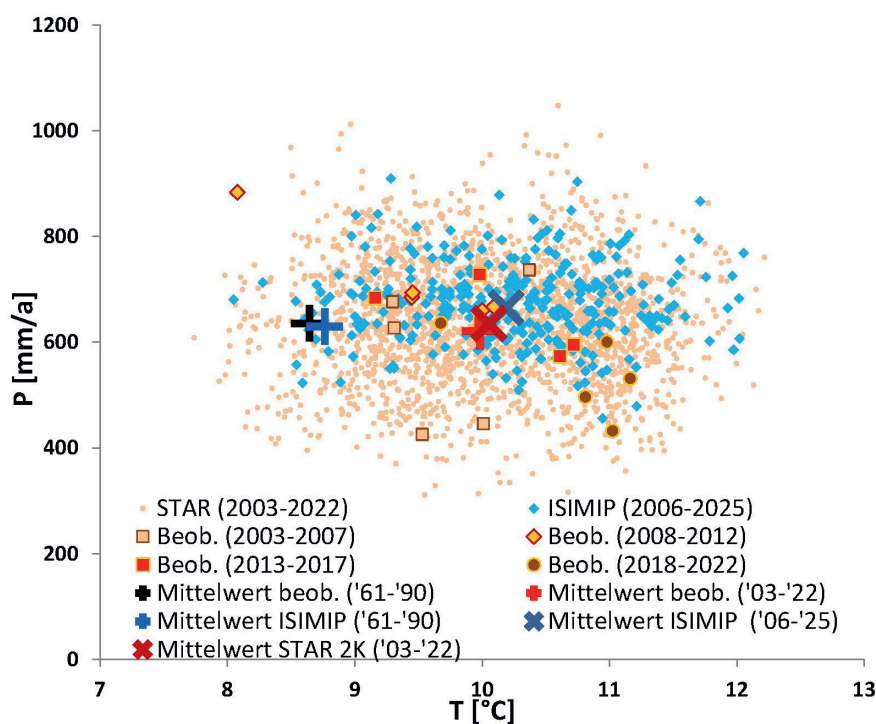
Niederschlag für das Spreegebiet: Monatssummen beobachtet und simulierte Überschreitungswahrscheinlichkeiten 20 % und 80 %; a) Referenzszenario, b) STAR 2K-Szenario, c) ISIMIP-Szenario; innerhalb der 5-Jahres-Perioden sind die beobachteten fünf Jahre als graue Linien dargestellt.
 Precipitation for the Spree catchment: monthly sums observed and simulated with exceedance probabilities of 20 % and 80 %; a) reference scenario, b) STAR 2K-szenario, c) ISIMIP-szenario; within 5-year-periods observed discharges of the respective five years are shown as grey lines.

**Abbildung 6**

Temperaturen für das Spreegebiet: Monatsmittelwerte beobachtet und simulierte Überschreitungswahrscheinlichkeiten 20 % und 80 %; a) Referenz-szenario, b) STAR 2K-Szenario, c) ISIMIP-Szenario; innerhalb der 5-Jahres-Perioden sind die beobachteten fünf Jahre als graue Linien dargestellt. Temperatures for the Spree catchment: mean monthly values observed and simulated with exceedance probabilities of 20 % and 80 %; a) reference scenario, b) STAR 2K-szenario, c) ISIMIP-szenario; within 5-year-periods observed discharges of the respective five years are shown as grey lines.

**Abbildung 7**

Thermopluviogramm für das Spreegebiet, Beobachtung 1881 bis 1960 sowie 1961 bis 1990, Referenzszenario (100 Realisierungen für die Jahre 2003 bis 2022 ohne Klimawandel basierend auf der Klimazeitreihe 1961 bis 1990), Beobachtungen ab 1991 mit Ausweisung der Fünfhresperioden ab 2003. *Thermopluviogram for the Spree catchment, observations 1881 to 1960 and 1961 to 1990, reference scenario (100 realisations for 2003 to 2022 without climate change based on the climate of 1961 to 1990), observations from 1991 onwards with designation of 5-year-periods from 2003 onwards.*

**Abbildung 8**

Thermopluviogramm für das Spreegebiet, Mittelwert Beobachtung und ISIMIP 1961 bis 1990, Beobachtungen ab 2003 mit Ausweisung der Fünfhresperioden, STAR 2K-Szenario (100 Realisierungen für 2003 bis 2022), ISIMIP-Szenario (20 Läufe für 2006 bis 2025). *Thermopluviogram for the Spree catchment, mean value of observations and ISIMIP 1961 to 1990, observations from 2003 onwards with designation of 5-year-periods, STAR 2K scenario (100 realisations representing the climate of 2003 to 2022), ISIMIP scenario (20 runs representing the climate of 2006 to 2025).*

Tabelle 2

Anzahl der Monate (absolut sowie als Prozentwert von 60 Monaten je Periode bzw. 240 Monaten gesamt) in der die beobachteten Abflüsse am Pegel Große Tränke UP/Spree zwischen den ÜWK 20 % und 80 % liegen (innere 60 %).

Number of months (absolute number, as percentage of 60 months per period and entire 240 months) where observed discharge at gauge Große Tränke UP/Spree is between exceedance frequencies of 20 % and 80 % (inner 60 %).

Periode	Anzahl Monate			Monate [%]		
	Referenz	STAR 2K	ISIMIP	Referenz	STAR 2K	ISIMIP
2003 – 2007	29	44	37	48 %	73 %	62 %
2008 – 2012	28	32	27	47 %	53 %	45 %
2013 – 2017	48	29	32	80 %	48 %	53 %
2018 – 2022	20	48	27	33 %	80 %	45 %
Summe	125	153	123	52 %	64 %	51 %

4 Schlussfolgerungen

In diesem Artikel werden die in verschiedenen Projekten zu den Auswirkungen des globalen Wandels im Spreegebiet genutzten Eingangsdaten, Szenarien und Modelle dargestellt. Der Vergleich der Simulationsergebnisse mit beobachteten Abflüssen der letzten 20 Jahre für ausgewählte Pegel zeigt, dass einige Studien eine hohe, andere eine geringere Übereinstimmung aufweisen. Als Hauptgrund für Übereinstimmung bzw. Abweichung werden die jeweils genutzten Klimaeingangsdaten ausgewiesen.

Nach KALTOFEN et al. (2004, S. 69) kann das gegenwärtige System der Wasserbewirtschaftung die Folgen des angenommenen Klimawandels nicht ausgleichen. Dieses Hauptergebnis von GLOWA Elbe 1 hat sich in den Beobachtungen der letzten 20 Jahre für das Einzugsgebiet der Spree als zutreffend erwiesen: die über die letzten 20 Jahre beobachtete Klimaentwicklung entspricht den Annahmen des Szenario STAR 2K. Dementsprechend wurden im analysierten Zeitraum verstärkt Niedrigwasserperioden beobachtet, in welchen die Abgaben der Talsperren und Speicher die Mindestabflüsse, z. B. an den Pegeln Leibsch UP/Spree und Große Tränke UP/Spree, nicht sicherstellen konnten.

Während die in den dargestellten Projekten genutzten Bergbauszenarien für das Lausitzer Revier der Entwicklung bis zum jetzigen Zeitpunkt entsprechen, wie z. B. das Auslaufen der Braunkohleförderung im Tagebau Cottbus-Nord und Flutungsbeginn des Tagebausees, wurden unterschiedliche Szenarien hinsichtlich der klimatischen Entwicklung genutzt. Von den in GLOWA Elbe 1 genutzten Szenarien weist das Referenzszenario ohne Klimawandel jährliche Niederschlagssummen in Höhe der Beobachtungen der letzten beiden Jahrzehnte auf, unterschätzen die Temperaturen jedoch deutlich. Das Klimaszenario STAR 2K zeigt mit den Beobachtungen korrespondierende Werte bei Niederschlägen und Temperaturen auf.

Das im Projekt KlimaCheck genutzte ISIMIP-Klimaszenario überschätzt die beobachtete Temperaturentwicklung leicht, weist jedoch eine zu geringe Niederschlagsvariabilität auf. Insgesamt weisen die in GLOWA Elbe 1 unter Nutzung des Klimaszenarios STAR 2K simulierten Abflüsse für die Spree die höchste Übereinstimmung mit den Beobachtungen auf. Die beobachteten und in den Klimaszenarien beinhalteten hohen Temperaturen führen zu deutlicher Steigerung der potenziellen Evapotranspiration, weshalb auch in normalen Niederschlagsjahren eine verstärkte Neigung zu Niedrigwasserperioden zu erwarten ist. In den

ISIMIP-Szenarien treten vergleichsweise wenige niederschlagsarme Jahre auf, woraus sich eine stabilere Dargebotssituation ergibt. Eine derartige Entwicklung wurde jedoch in den letzten Jahrzehnten nicht beobachtet.

Es ist zu beachten, dass im Lausitzer Revier seit Anfang der 1990er Jahre durch die Flutung ehemaliger Tagebaue die Wasserfläche bereits zum jetzigen Zeitpunkt um mehr als 140 km² zugenommen hat, bei einer endgültigen Fläche nach Flutung der noch aktiven Tagebaue von 250 km² (UMWELTBUNDESAMT, 2023). Die Flutung und Nachsorge der Tagebauseen sind in den hier dargestellten wasserwirtschaftlichen Simulationen berücksichtigt.

Der Vergleich der Abflüsse am Pegel Cottbus Sandower Brücke/Spree mit denen an den unterhalb gelegenen Pegeln Leibsch UP/Spree und Große Tränke UP/Spree weist darauf hin, dass in den Simulationen die Nutzungs-/Verdunstungs-Verluste im Spreewald unterschätzt werden. Deswegen sollten in hydrologischen Modellen zukünftig für die Parametrisierung der potenziellen und die Validierung der aktuellen Verdunstung Lysimeterdaten, z. B. von DIETRICH et al. (2019), genutzt werden. Die Größenordnung der nicht erfassten Wasserentnahmen, wie z. B. zur privaten Gartenbewässerung, im Spreewald sowie im gesamten Spreegebiet ist nicht bekannt und kann somit nicht in der Modellierung abgebildet werden.

Die hier dargestellten Auswertungen bestätigen die von GÄDEKE et al. (2017) getroffene Aussage, dass es für Klimafolgenstudien im Bereich von Hydrologie und Wasserwirtschaft unabdingbar ist, die genutzten Klimaeingangsdaten der Globalen Zirkulationsmodelle bzw. Erd-System-Modelle sowie der dynamischen regionalen Klimamodelle einer strikten Analyse zu unterziehen. Dies betrifft sowohl Absolutwerte, als auch Trends, beispielsweise von Temperatur und Niederschlag für den Referenzzeitraum bzw. das gegenwärtige Klima. Allerdings besteht auch bei derartigen Analysen keine Garantie, dass die Modelle auch eine bessere Prognosefähigkeit für die Zukunft aufweisen.

Es kann gezeigt werden, welcher Nutzen und welche Informationen für die wasserwirtschaftliche Planung, z. B. bezüglich Anpassungsnotwendigkeit/-maßnahmen, unter Nutzung etablierter Modellketten gezogen werden kann. Dies betrifft sowohl Änderungen in den Wassernutzungen/-bedarf oder Veränderungen in der Wasserverfügbarkeit, hervorgerufen durch Landnutzungsänderungen (hier Auslaufen der Braunkohleförderung/-verstromung) oder Klimaänderungen.

Derartige Studien benötigen allerdings umfangreiche Eingangsdaten, auch zu Wassernutzungen und wasserwirtschaftlicher Infrastruktur wie Talsperren/Speicher, Überleitungen sowie die Steuerung, welche häufig nicht verfügbar oder öffentlich zugänglich sind. Die Einbeziehung der Wasserbewirtschaftung in Klimafolgenstudien sowie Studien zum globalen Wandel erfordert im Vergleich zu hydrologischen Studien wegen des größeren Umfangs der zu beschaffenden, zu analysierenden und in den Modellen zu berücksichtigenden Datensätze höhere zeitliche und somit finanzielle Ressourcen.

Letztendlich zeigt sich auch wie stark die öffentliche Wahrnehmung der Ergebnisse von der Präsentationsform abhängig ist. Die Arbeiten in GLOWA Elbe fokussierten auf eine Analyse potenzieller Niedrigwasser-Konflikte und Anpassungsmaßnahmen. Deswegen wurden in KALTOFEN et al. (2004) Ergebnisse für eine Überschreitungswahrscheinlichkeit (ÜWK) von 80 % (moderater Niedrigwasserabfluss), in späteren Veröffentlichungen, z. B. WECHSUNG et al. (2013), auch ÜWK 95 % und 99 % (ausgeprägter bzw. extremer Niedrigwasserabfluss) dargestellt. Dies ist auch insofern sinnvoll, da es Ziel der Wasserbewirtschaftung ist, gerade in diesen Extrem-Situationen für wichtige Nutzer wie Wasserwerke, industrielle Nutzer inkl. thermischer Kraftwerke u. a. die benötigten Wassermengen verfügbar zu machen. Um eine unabsichtlich einseitige Darstellung zu verhindern, sollten Ergebnisdarstellungen den Großteil des Möglichkeitsraumes abdecken, z. B. Darstellung der ÜWK 20 % und 80 % (innere 60 %), ÜWK 10 % und 90 % (innere 80 %) oder Boxplots (KOCH, 2005; POHLE et al., 2016).

Conclusion

This article presents the input data, scenarios and models used in various projects on the impacts of global change in the Spree catchment. The comparison of the simulation results with observed discharges of the last 20 years for selected gauges shows that some studies show a high, others a lower agreement. The main reason for agreement or discrepancy is the climate input data used in the respective studies.

"The current water management system cannot compensate for the impacts of the assumed climate change" (KALTOFEN et al., 2004, p. 9). This sentence, being the main result of GLOWA Elbe 1, has proven to be true in the observations of the last 20 years for the Spree catchment: the climate development observed over the last 20 years corresponds to the scenario STAR 2K; as a result, low flow periods were increasingly observed in the analysed period, during which the releases of the dams and reservoirs could not ensure the minimum discharges, e. g. at the gauges Leibsch UP/Spree and Große Tränke UP/Spree.

While the mining scenarios for the Lusatian mining district (e. g. phasing out of lignite mining in the opencast mine Cottbus-Nord and start of flooding of its mining lake) used in the projects correspond to the development up to the present time, different scenarios were used with regard to the climatic development. The scenarios used in GLOWA Elbe 1 show annual precipitation sums at the level of the observations of the last two decades, but significantly underestimate temperatures ("reference scenario" without climate change) or show trends in precipitation and temperatures corresponding to the observations ("climate scenario" STAR 2K).

The ISIMIP climate scenario used in the KlimaCheck project overestimates the observed temperature development slightly, while precipitation variability generally is too low. Overall, the discharges for the Spree simulated in GLOWA Elbe 1 using the climate scenario STAR 2K show the highest agreement with the observations. The high temperatures observed and included in the climate scenarios lead to a significant increase in potential evapotranspiration, which is why an increased tendency to low-flow periods is to be expected even in normal precipitation years. Using the ISIMIP-scenarios results in a slight increase in precipitation and consequently stable water availability. However, such a development has not been observed in the last decades.

It should be noted that in the Lusatian mining region, the flooding of former opencast mines has already increased the water surface area by more than 140 km² since the beginning of the 1990s, with a final water surface area after flooding of the still active mines of 250 km² (UMWELTBUNDESAMT, 2023). The flooding and aftercare of the mining lakes is taken into account in the water management simulations presented here.

The comparison of the discharges at the gauge Cottbus Sandower Brücke/Spree with those at the downstream gauges Leibsch UP/Spree and Große Tränke UP/Spree indicates that the (water use/evaporation) losses in the Spreewald wetland are underestimated in the simulations. For this reason, lysimeter data, e. g. from DIETRICH et al. (2019), should be used in future hydrological models for the parameterisation of potential and the validation of actual evaporation. The magnitude of the unrecorded water withdrawals, e. g. for private garden irrigation, in the Spreewald wetland or in the entire Spree catchment is not known and thus cannot be represented in the modelling.

The analyses carried out here confirm the statement made by GÄDEKE et al. (2017) that it is essential for climate impact studies in the field of hydrology and water management to perform a strict quality control on the climate input data used. This concerns both absolute values and trends, e. g. of temperature and precipitation for the reference period and the current climate. However, even with such analyses, there is no guarantee that the models also have a better forecasting ability.

It can be shown which benefits and information for water management planning, e. g. with regard to adaptation needs/measures, can be obtained by using established model chains. This concerns both, changes in water use/demand or in water availability, e.g. caused by land use changes (here phasing out of lignite production/electricity generation) or climate change.

However, such studies require extensive input data on water uses and water infrastructure (reservoirs, water transfers and their operation), which are often not available or publicly accessible. Compared to hydrological studies, the inclusion of water management in climate impact studies or global change studies requires higher (time and thus financial) resources due to the larger volume of data sets to be acquired, analysed and implemented in the models.

Ultimately, it also shows how strongly the (public) perception of the results depends on the form of presentation. The GLOWA Elbe study focused on an analysis of potential low flow conditions and conflicts, and adaptation measures. Therefore, in KALTOFEN et al.

(2004) results were presented for an exceedance probability of 80 % (moderate low flow), in later publications, e. g. WECHSUNG et al. (2013), also exceedance probabilities of 95 % and 99 % (pronounced and extreme low flow, respectively). This makes sense because the aim of water resources management is to provide the required water quantities available for important users (waterworks, industrial users incl. thermal power plants, etc.) especially in these (extreme) situations. In order to avoid an (unintentionally) one-sided representation, the representations of the results should cover the major share of the probability space, e. g., representation of the exceedance probabilities of 20% and 80 % (inner 60 %), exceedance probabilities of 10 % and 90 % (inner 80 %) or boxplots (e. g., KOCH, 2005; POHLE et al., 2016).

Hinweis zu den ausgewerteten Daten

Entsprechend des wissenschaftlichen Standards sollen Projektergebnisse mindestens zehn Jahre gespeichert werden. Die in diesem Artikel ausgewerteten Eingangsdaten und Ergebnisse stammen aus der Zeit seit dem Jahr 2000. Die wasserwirtschaftlichen Simulationen innerhalb GLOWA Elbe 1 wurden vom Erstautor in den Jahren 2001 und 2003 an der damaligen BTU Cottbus durchgeführt. Diese Daten wurden, auch im Zusammenhang mit der Promotionsarbeit des Erstautors, über mehrere Generationen externer Festplatten gesichert.

Danksagung

Die Autoren danken T. Conradt, O. Dietrich, W. Finke, U. Grünewald, S. Kaden, M. Kaltofen, I. Pohle, M. Redetzky, M. Roers, M. Schramm, S. Schweigert, J. Steidel, S. Vögele und F. Wechsung für die gemeinsame Arbeit in den diversen Projekten.

Die Arbeiten wurden teilweise über das Forschungsprogramm WAX (Projekt SpreeWasser:N, FKZ: 02WEE1633F) durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. Die Autoren danken des Weiteren dem Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, dem Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg sowie der Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft LMBV mbH für die Bereitstellung von Daten.

Anschriften der Verfasser

Dr. habil. Hagen Koch
Prof. Dr. Fred Hattermann
Forschungsbereich II: Klimawirkung und Vulnerabilität
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)
Telegrafenberg A62
14412 Potsdam
hagen.koch@pik-potsdam.de
fred.hattermann@pik-potsdam.de

Dr. Anne Gädeke
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
Aufbaustab zur Einrichtung des Forschungs- und Entwicklungszentrums Bergbaufolgen (FEZB)
Gaglower Str. 17/18
03048 Cottbus
anne.gaedeke@bgr.de

Literaturverzeichnis

- DIETRICH, O., M. FAHLE, T. KAISER & J. STEIDL (2019): Eine Lysimeter-Studie zu Auswirkungen unterschiedlicher Grundwasser-Steuerregime auf den Bodenwasserhaushalt eines grundwassernahen Standorts. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 63 (1), 6-18. DOI:10.5675/HYWA_2019.1_1.
- GÄDEKE, A., I. POHLE, H. KOCH & U. GRÜNEWALD (2017): Trend analysis for integrated regional climate change impact assessments in the Lusatian river catchments (north-eastern Germany). *Reg Environ Change* 17, 1751-1762. DOI:10.1007/s10113-017-1138-0.
- GRÜNEWALD, U. (2001): Water Resources Management in River Catchments Influenced by Lignite Mining. *Ecological Engineering* 17 (2-3), 143-152.
- GRÜNEWALD, U., M. KALTOFEN, S. KADEN & M. SCHRAMM (2001): Ländübergreifende Bewirtschaftung der Spree und der Schwarzen Elster. *KA Wasserwirtschaft Abwasser Abfall* 2, 205-213.
- HATTERMANN, F.F., T. VETTER, L. BREUER, B. SU, P. DAGGUPATI, C. DONNELLY, B. FEKETE, F. FLÖRKE, S.N. GOSLING, P. HOFFMANN, S. LIERSCH, Y. MASAKI, Y. MOTOVILOV, C. MÜLLER, L. SAMANIEGO, T. STACKE, Y. WADA, T. YANG & V. KRYSANOVA (2018): Sources of uncertainty in hydrological climate impact assessment: a cross-scale study. *Environmental Research Letters* 13 (1), 015006. DOI:10.1088/1748-9326/aa9938.
- HEMPEL, S., K. FRIELER, L. WARSZAWSKI, J. SCHEWE & F. PIONTEK (2013a): Bias corrected GCM input data for ISIMIP Fast Track. *GFZ Data Services*. DOI:10.5880/PIK.2016.001
- HEMPEL, S., K. FRIELER, L. WARSZAWSKI, J. SCHEWE & F. PIONTEK (2013b): A trend-preserving bias correction – the ISI-MIP approach. *Earth System Dynamics* 4 (2), 219-236. DOI:10.5194/esd-4-219-2013
- KALTOFEN, M., H. KOCH, M. SCHRAMM, U. GRÜNEWALD & S. KADEN (2004): Anwendung eines Langfristbewirtschaftungsmodells für multikriterielle Bewertungsverfahren – Szenarien des globalen Wandels im bergbaugeprägten Spreegebiet. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 48 (2), 60-70.
- KOCH, H. (2005): Wasserbewirtschaftungsstrategien in vom Bergbau überprägten Einzugsgebieten im Kontext des globalen Wandels und deren integrierte Bewertung. *Cottbus: Aktuelle Reihe der BTU Cottbus*, 1/2005 (Dissertation). 156 S.
- KOCH, H., F. WECHSUNG & U. GRÜNEWALD (2010): Analyse jüngerer Niedrigwasserabflüsse im tschechischen Elbeeinzugsgebiet. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 54 (3), 169-178.
- KOCH, H., S. LIERSCH, J.R.G. DE AZEVEDO, A.L.C. SILVA & F.F. HATTERMANN (2018): Assessment of observed and simulated low flow indices for a highly managed River basin. *Hydrology Research*. DOI:10.2166/nh.2018.168.
- KRYSANOVA, V., F.F. HATTERMANN, S. HUANG, C. HESSE, T. VETTER, S. LIERSCH, H. KOCH & Z.W. KUNDZEWICZ (2015): Modelling climate and land use change impacts with SWIM: lessons learnt from multiple applications. *Hydrological Sciences Journal* 60 (4), 606-635.
- LMBV (2021): *Wasserwirtschaftlicher Jahresbericht 2020*. Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH, Senftenberg, 164 S.
- ORLOWSKY, B., F.W. GERSTENGARBE & P.C. WERNER (2008): A resampling scheme for regional climate simulations and its performance compared to a dynamical RCM. *Theoretical and Applied Climatology* 92 (3-4), 209-223.
- PFÜTZNER, B. & E. GLOS (1986): Das Einzugsgebietsmodell EGMOD für wasserwirtschaftliche Planung und Durchflußvorhersagen im Flachland der DDR. *Wasserwirtschaft – Wassertechnik* 7.

- POHLE, I., H. KOCH, K. ZIMMERMANN, A. GÄDEKE, T. CLAUS, W. UHLMANN, M. KALTOFEN, M. REDETZKY, M. SCHRAMM, F. MÜLLER, D. SCHOENHEINZ & U. GRÜNEWALD (2016): Modellensemble zur Abschätzung der Auswirkungen regionaler Entwicklungen auf Wassermenge und Wasserbeschaffenheit – Anwendung am Beispiel des Spreeeinzugsgebiets. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 60 (3), 176-195.
- POHLE, I., A. GÄDEKE, S. SCHÜMBERG, C. HINZ & H. KOCH (2019): Management Influences on Stream-Flow Variability in the Past and Under the Potential Climate Change in a Central European Mining Region. *Water Resources Management* 33 (15), 5191-5206. DOI: 10.1007/s11269-019-02432-3.
- ROERS, M. & F. WECHSUNG (2015): Neubewertung der Auswirkung des Klimawandels auf den Wasserhaushalt im Elbegebiet. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 59 (3), 109-119.
- SENATSVORWALTUNG FÜR UMWELT, VERKEHR UND KLIMASCHUTZ (2021): Die Niedrigwasserjahre 2018, 2019 und 2020 – Analysen und Auswirkungen für das Land Berlin. 67 S.
- SCHOENHEINZ, D., U. GRÜNEWALD & H. KOCH (2011): Aspects of Integrated Water Resources Management in River Basins Influenced by Mining Activities in Lower Lusatia. *DIE ERDE* 142 (1-2), 163-186.
- UMWELTBUNDESAMT (2023): Wasserwirtschaftliche Folgen des Braunkohleausstiegs in der Lausitz (Abschlussbericht). UBA-TEXTE 90/2023. Dessau-Roßlau, 266 S.
- VETTER T., J. REINHARDT, M. FLÖRKE, A. VAN GRIENSVEN, F.F. HATTERMANN, S. HUANG, H. KOCH, I. PECHLIVANIDIS, G. S. PLÖTNER, O. SEIDOU & V. KRYSANOVA (2017): Evaluation of sources of uncertainty in projected hydrological changes under climate change in 12 large-scale river basins. *Climatic Change* 141 (3), 419-433. DOI:10.1007/s10584-016-1794-y.
- WARSAWSKI, L., K. FRIELER, V. HUBER, F. PIONTEK, O. SERDECZNY & J. SCHEWE (2014): The Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project (ISI-MIP): Project framework. *P. Natl. Acad. Sci. USA* 111, 3228-3232. DOI:10.1073/pnas.1312330110.
- WECHSUNG, F., V. HARTJE, S. KADEN, M. VENOH, B. HANSJÜRGENS & P. GRÄFE (Hrsg.) (2013): Die Elbe im globalen Wandel - Eine integrative Betrachtung. Konzepte für die nachhaltige Entwicklung einer Flusslandschaft, Bd. 9, Weißensee Verlag Berlin, 630 S., ISBN 978-3-89998-213-8.
- WERNER, P.C. & F.W. GERSTENGARBE (1997): Proposal for the development of climate scenarios. *Climate Research* 8 (3), 171-182.

Alexander Strom, Jenny Kröcher, Philipp Wolke, Stephan Hannappel & Christian Fokuhl

Hochaufgelöste Dürremodellierung am Fallbeispiel des Landkreises Cuxhaven im Norddeutschen Tiefland

High-resolution drought modeling in the case study of the Cuxhaven district in the North German Lowlands

Häufigere und intensivere Dürreereignisse unterstreichen vor dem Hintergrund des fortschreitenden Klimawandels die Notwendigkeit von Instrumenten zur Zustandsbeschreibung der Umweltkompartimente Boden und Wasser unter Dürre für die Öffentlichkeit und Praxis. Bestehende Tools bieten Informationen in einer mesoskaligen Auflösung von mehreren Kilometern an, was keine Aussagen auf der Ebene von Flurstücken ermöglicht. Zudem wird auf der Mesoskala kein kapillarer Aufstieg aus dem Grundwasser in die effektive Wurzelzone berücksichtigt, was die Aussagefähigkeit zum Bodenfeuchtezustand in den grundwassergeprägten Gebieten Norddeutschlands zusätzlich einschränkt.

In der vorliegenden Arbeit wurde eine Dürremodellierung in räumlich hoher Auflösung von $100 \times 100 \text{ m}^2$ unter Einbeziehung der Grundwasserflurabstände jeweils getrennt für Böden mit und ohne Grundwasseranbindung im Landkreis Cuxhaven durchgeführt. Von der Landkreisfläche weisen 41 % eine Anbindung der effektiven Wurzelzone an das Grundwasser bei mittleren Grundwasserständen auf. Bei niedrigen Grundwasserständen erfolgt eine Grundwasserabkopplung auf 4 % der grundwasserangeordneten Flächen, die meist lokal in Senken oder in den Geestrandbereichen ausgeprägt ist. Auf Böden ohne Grundwasseranbindung wurde eine Modellierung der Bodenfeuchte und des Dürrezustands für den Zeitraum von 1991 bis Juni 2023 im täglichen Intervall durchgeführt. Die Ergebnisse veranschaulichen den Verlauf von Dürren auf Flurstücksebene mit ihren Auswirkungen auf den Bodenfeuchtezustand. Am Beispiel der Dürre im Jahr 2018 konnte herausgearbeitet werden, dass der Dürrezustand bei Torfböden mit hohem Wasserspeichervermögen später einsetzt, aber wesentlich länger andauert (9 bis 10 Monate) als bei sandigen Böden auf der Geest mit geringem Wasserspeichervermögen (4 bis 6 Monate). Auf dieser Grundlage wurden mögliche Gefährdungsparameter mit dem Ziel eines flächendifferenzierten und landnutzungsbezogenen Dürerrerisikomanagements abgeleitet. Die maximale Dürredauer und die Abkopplung der Grundwasseroberfläche bei niedrigen Grundwasserständen erweisen sich dabei als geeignete und praxistaugliche Parameter.

Die gewonnenen Erkenntnisse regen die Diskussion über neue Ansätze in der Dürremodellierung an. Dazu gehört die Einbeziehung der Grundwasserflurabstände in bestehende hydrologische Modelle zur Berechnung des Bodenwasserhaushalts und die Etablierung von Gefährdungs- und Risikoparametern in Hinblick auf ein zukünftiges Dürerrerisikomanagement auf einer Skala von $100 \times 100 \text{ m}^2$ zur räumlichen Auflösung von Flurstücken.

Schlagwörter: Klimawandel, Klimaanpassung, Dürre, Dürregefährdung, Dürrerisiko, Dürremonitor, Norddeutsches Tiefland, Niedersachsen, Cuxhaven

More frequent and intense drought events underscore the necessity of tools for the public and for practitioners to describe the condition of the environmental compartments soil and water in the context of progressing climate change. Existing tools provide information at a mesoscale resolution of several kilometers, which does not allow for conclusions at the parcel level. In addition, no capillary rise from the groundwater into the effective root zone is taken into account at the mesoscale, further limiting the interpretability of soil moisture conditions in the groundwater-influenced areas of Northern Germany.

In the present study, droughts were modelled separately for soils with and without groundwater connection in a spatially high resolution of $100 \times 100 \text{ m}^2$, incorporating the depth to groundwater in the Cuxhaven district. Within the district area, 41 % exhibit a connection of the effective root zone to the groundwater surface at average groundwater levels. During low groundwater levels, a decoupling from the groundwater surface occurs on 4 % of these areas, predominantly localized in depressions or at the margins of the geest areas. For soils without groundwater connection, modeling of the soil moisture and the drought condition was conducted from 1991 to June 2023 on a daily basis. The results illustrate the course of drought events at the parcel level and their implications on soil moisture conditions. Using the example of the drought in 2018, it was revealed that in peat soils with a high water storage capacity the drought condition sets in later, but lasts longer (9 to 10 months) compared to sandy soils on the geest areas with a low water storage capacity (4 to 6 months). On this basis, possible hazard parameters were derived with the aim of an area- and landuse-specific drought risk management. The maximum drought duration and the decoupling of the groundwater surface from the effective root zone at low groundwater levels have proven to be suitable parameters.

The insights gained stimulate the discussion about new approaches in drought modeling. This includes incorporating the depth to groundwater into existing hydrological models for calculating soil water balance and establishing hazard and risk parameters with regard to future drought risk management at the scale of $100 \times 100 \text{ m}^2$ for the spatial resolution of parcels.

Keywords: climate change, climate adaptation, drought, drought hazard, drought risk, German Drought Monitor, North German Lowlands, Lower Saxony, Cuxhaven

1 Einleitung

Trotz der im langjährigen Durchschnitt hohen sommerlichen und gesamtjährlichen Niederschläge stellen die Folgen des Klimawandels den Landkreis Cuxhaven vor neue Herausforderungen. Für Deutschland werden häufigere und länger andauernde Trocken- und Dürreperioden prognostiziert, welche die Gefahren durch Trockenstress und das Risiko von Ertragsverlusten erhöhen. Bei Erwärmungen um 3 °C im Vergleich zur Periode 1971 bis 2000 sind bereits längere Dürredauern um 20 bis 40 % im Norden Niedersachsens zu erwarten (THOBER et al., 2018). Weitere regionale Studien in Niedersachsen stützen diese Prognosen und deuten ebenfalls auf eine solche Entwicklung hin (MUEBK, 2019; NLWKN, 2019; SCHEIHING, 2019). Die zeitlich außergewöhnlich langen Dürren seit dem Jahr 2018 zeigen bereits erste Anzeichen für eine eintretende Intensivierung von Extremwetter in Nordeuropa während der Sommermonate, die durch den Klimawandel begünstigt wird (MANN et al., 2018; WWA, 2018).

Die Klimawirkungsstudie Niedersachsen prognostiziert eine zunehmende Sommertrockenheit im Flachland (MUEBK, 2019). Die wasserwirtschaftlichen Folgen des Klimawandels für das niedersächsische Binnenland werden im Rahmen des Projektes KLiBiW (Globaler Klimawandel – Wasserwirtschaftliche Folgenabschätzung für das Binnenland) durch den Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) quantitativ erfasst (NLWKN, 2021). Im jährlichen Mittel ist von einer Verringerung der Bodenfeuchte auszugehen, die in naher Zukunft (2021 bis 2050) mit -5 % für den langjährigen Durchschnitt zwar niedrig ausfällt, sich jedoch in der fernen Zukunft (2071 bis 2100) auf ca. -10 % weiter verringern wird (NLWKN, 2021). Obwohl die Veränderungen der durchschnittlichen Bodenfeuchten zunächst gering erscheinen, sind sowohl eine stetig abnehmende Entwicklung, als auch die räumlich-zeitliche Verteilung mit wahrscheinlich höheren Abnahmen in der Vegetationsperiode besonders problematisch für wasserabhängige Ökosysteme und die Landwirtschaft.

In Hinblick auf die Niedrigwasserverhältnisse sind die Ergebnisse der Klimawirkungsmodelle nicht eindeutig zu interpretieren. Während in naher Zukunft in Teilen Niedersachsens eine Entspannung der Situation erwartet wird, sind in ferner Zukunft auch Anzeichen für eine drastische Verschärfung der Niedrigwassersituationen zu erkennen (NLWKN, 2019).

Die klimatisch bedingte Veränderung der Grundwasserneubildung ist ortsabhängig und saisonal unterschiedlich. In Wintermonaten ist im Allgemeinen eine Zunahme der Grundwasserneubildung zu erwarten, in Sommermonaten hingegen eine Abnahme (MUEBK, 2019). Eine Folge wären womöglich höhere Amplituden im jahreszeitlichen Verlauf der Grundwasserstände, weshalb sich in Sommermonaten die Niedrigwassersituation lokal weiter verschärfen könnte.

Die Entwicklung der Grundwasserstände ist in den Grundwasserberichten des NLWKN ausführlich dokumentiert. Die Dürrejahre 2018 bis 2020 äußerten sich im Grundwasser in vielen Grundwassermessstellen durch historische Tiefststände, die meist im September 2019 erreicht wurden. Im Landkreis Cuxhaven lagen die Abweichungen zu diesem Zeitpunkt bei bis zu einem Meter unter dem Mittelwert (NLWKN, 2020). Bis in das

Jahr 2021 lagen die Grundwasserstände im zentralen und östlichen Teil Niedersachsens noch auf einem niedrigen Niveau als Folgeerscheinung der Jahre 2018 und 2019. Besonders sind die Geeststandorte, z. B. Stader Geest, mit sich fortsetzenden Grundwasserdürren und sinkenden Grundwasserständen betroffen (NLWKN, 2022).

Für das Monitoring von Dürre und Niedrigwasser wurden in den vergangenen Jahren Werkzeuge auf unterschiedlichen räumlich-zeitlichen Skalen entwickelt. So bietet die Europäische Kommission im Rahmen des Dienstes Copernicus das European Drought Observatory (EDO) an. Auf der Plattform werden anhand von Bodenmess- und Satellitendaten sowie modellierter Daten u. a. Informationen zu Niederschlag, Bodenfeuchte und dem Zustand der Vegetation anhand entsprechender Indizes bereitgestellt. In einem kombinierten Dürreindikator (CDI – Combined Drought Indicator, CAMMALLERI et al., 2021) werden die Indizes zusammengefasst, um Warnstufen auszuweisen. Die Auflösung liegt zeitlich bei zehn Tagen und räumlich bei 5 x 5 km² (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2023).

Der Dürreatlas des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (BKG, 2023) bündelt relevante Daten zu Trockenheit und Dürre für Deutschland. Er integriert Pegelstände, Fernerkundungsdaten zum Zustand und Wasserstress der Vegetation, Landnutzung, meteorologische Daten und den Dürremonitor des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung (UFZ) zum aktuellen Tag. Der Dürremonitor stellt das pflanzenverfügbare Bodenwasser sowie den Dürrezustand des Ober- und Gesamtbodens täglich in einer Auflösung von 4 x 4 km² dar (MARX et al., 2016; ZINK et al., 2016). Im zugrundeliegenden mesoskaligen Hydrologischen Modell "mHM" (SAMANIEGO et al., 2010; SAMANIEGO et al., 2013) wird der kapillare Aufstieg aus dem Grundwasser in die Bodenzone nicht berücksichtigt. Dies ist für Niederschlags-Abfluss-Modelle aufgrund der Zielorientierung zur Abbildung des gesamten Wasserhaushalts und die dazu notwendige Abstraktion zwar üblich, z. B. im Soil & Water Assessment Tool "SWAT" (ARNOLD et al., 1998; ARNOLD et al., 2012). In grundwasser-geprägten Niederungen führt das jedoch zu Einschränkungen der Aussagefähigkeit des Bodenwasserhaushalts (KRÖCHER et al., 2023), da der kapillare Aufstieg aus dem Grundwasser bei Flurabständen von weniger als einem Meter maßgeblichen Einfluss auf die reale Evapotranspiration und damit auf die Wasserversorgung der Vegetation hat (WESSOLEK et al., 2011).

Die bestehenden Werkzeuge wie z. B. das EDO, der Dürreatlas und der Dürremonitor bieten für lokale Akteure aus der Wasserwirtschaft, der Landwirtschaft und dem Naturschutz einen regionalen Überblick zum Zustand der Umweltkompartimente Boden und Wasser im Zusammenhang mit Dürre. Für quantitative Detailaussagen auf Flurstücksebene sind sie jedoch aufgrund der groben Auflösung und der fehlenden Berücksichtigung des kapillaren Aufstiegs aus dem Grundwasser wenig aussagekräftig. Das Ziel der vorliegenden Studie ist daher eine GIS-gestützte Dürremodellierung in räumlich hoher Auflösung unter Berücksichtigung der Bodenfeuchten sowie der Grundwasseranbindung des Bodens in der Kulturlandschaft des Landkreises Cuxhaven. Damit wird eine Grundlage für die Ermittlung der Gefahren durch Trockenheit und Dürre sowie für ein effektives Dürre-risikomanagement auf Flurstücksebene geschaffen (STROM et al., in Veröffentlichung; HYDOR, 2023).

2 Untersuchungsgebiet – der Landkreis Cuxhaven

Der Landkreis Cuxhaven zeichnet sich durch seine hohe naturräumliche Vielfalt mit Geest- und Marschlandschaften sowie zahlreichen Hoch- und Niedermoorstandorten aus (LK CUXHAVEN, 2000). Er liegt im Norden Niedersachsens und wird nordwestlich von der Nordsee, im Norden von der Elbemündung und im Südwesten von der Wesermündung begrenzt. Östlich und südlich sind ihm die Landkreise Stade, Rotenburg (Wümme) und Osterholz benachbart. Zusammen mit der Stadt Cuxhaven beträgt seine Fläche 2.057 km².

Charakteristisch für den Landkreis sind die ausgedehnten und zahlreichen Moorgebiete, die vereinzelt noch bestehenden Hochmoore und die sandig-lehmigen Geestflächen. Letztere sind in Abbildung 1 in Gelb- und Brauntönen dargestellt. Die höchste Erhebung stellt der Silberberg auf der Wingst mit 74 m NHN dar. Abseits davon befinden sich ausgedehnte Marschgebiete (Grün- und Blautöne), z. B. die Hadelner Marsch im Norden oder die Wesermarsch im Südwesten. Hydrologisch ist das Gebiet im Süden durch die Geeste, die Lune und die Drepte

geprägt, die die Geestflächen im Südosten hin zur Weser entwässern.

Die tiefliegenden Sietländer der Marschen stellen zusammen mit der Geeste-Niederung mit Geländehöhen von bis zu -2 m NHN die tiefsten Gebiete im Landkreis dar. In den Marschgebieten sind die hydrologischen Verhältnisse durch ein dichtes Entwässerungsnetz mit Schöpfwerksbetrieb gekennzeichnet. Die Entwässerung des Marschlands und der Hoch- und Niedermoores ermöglicht eine landwirtschaftliche Nutzung, die einen Flächenanteil von rund 75 % vereinnahmt, überwiegend geprägt durch Grünlandnutzung. Der Anteil bewaldeter Flächen ist mit etwa 10 % (inkl. Bruch- und Moorwälder) relativ gering. Ein Anteil von 4 % der Landkreisfläche entfällt auf Moorgebiete ohne primäre landwirtschaftliche Nutzung, die bedeutende Habitate für zumeist geschützte Arten darstellen.

Im Zeitraum 1961 bis 1990 lag die durchschnittliche Niederschlagssumme bezogen auf das hydrologische Jahr an der DWD-Station Cuxhaven bei 819 mm/a und stieg im Zeitraum 1991 bis 2020 leicht auf 828 mm/a an (Abb. 2). In den Trockenjahren 2018 und 2019 lagen die jährlichen Niederschläge bei 680 bis 690 mm/a. Insbesondere die Summe der Niederschlagshöhen in den Sommermonaten während dieser Trockenjahre fiel mit rund 200 mm bzw. 400 mm deutlich geringer aus als im Mittel der Jahre 1991 bis 2020 (469 mm). Die Jahresdurchschnittstemperatur zeigt einen stetigen Anstieg mit zu erwartenden höheren Verdunstungsraten.

Geologisch ist das Gebiet eiszeitlich und von holozänen Küstenablagerungen geprägt. Die Geestflächen bestehen oberflächennah meist aus glazifluvialen Sedimenten mit sandig-kiesigen Schmelzwasserablagerungen aus der Saale-Kaltzeit, die teilweise von Geschiebelehm überlagert werden. Vor allem im Süden des Landkreises häufen sich Flächen mit Geschiebelehm, weshalb dort vermehrt bedeckte Grundwasserleiter zu erwarten sind. Die Grundwasserneubildungsraten liegen nach den Ergebnissen des Modells mGROWA22 ("monatlicher Großräumiger Wasserhaushalt"; LBEG, 2022; ERTL et al., 2019) auf den nördlichen Geestflächen meist bei 400 bis 500 mm/a, während sie im Süden bei 200 bis 400 mm/a liegen. An den Geesträndern erreichen die Neubildungsraten 100 bis 200 mm/a, während die Marschen überwiegend Grundwasserzehrungsgebiete darstellen.

Die Verteilung der Bodenarten und -typen folgt in groben Zügen der naturräumlichen Gliederung in Geest, Marschgebiete und Niederungen. Dies schlägt sich in der Verteilung der nutzbaren Feldkapazität in Abbildung 5 nieder. Auf den Geestflächen überwiegen Podsole aus Lehmsand, zum Teil auch Reinsand. Die nutzbaren Feldkapazitäten des effektiven Wurzelraums (nF_{We}) liegen laut Bodenkarte 1 : 50.000 (BK 50; LBEG, 2017) im Bereich zwischen 50 bis 140 mm. Im Norden des Landkreises dominieren auf der Hochmarsch im Land Hadeln Sandlehme mit einer nF_{We} zwischen 140 und 200 mm. Nach Süden zum Sietland hin finden sich Organo- und Kleimarschen mit tonig-schluffigem Charakter. Der Einfluss geringer Grundwasserflurabstände zeigt sich hier besonders an den geringen effektiven Durchwurzelungstiefen von 20 bis 40 cm und nF_{We} -Werten zwischen 50 und 90 mm. In den Niederungsbereichen liegt die nF_{We} der Niedermoorböden im Bereich von 140 bis 200 mm, während die Hochmoorböden, z. B. im Ahlenmoor oder im Langen Moor, nF_{We} von teilweise über 300 mm aufweisen (Abb. 5).

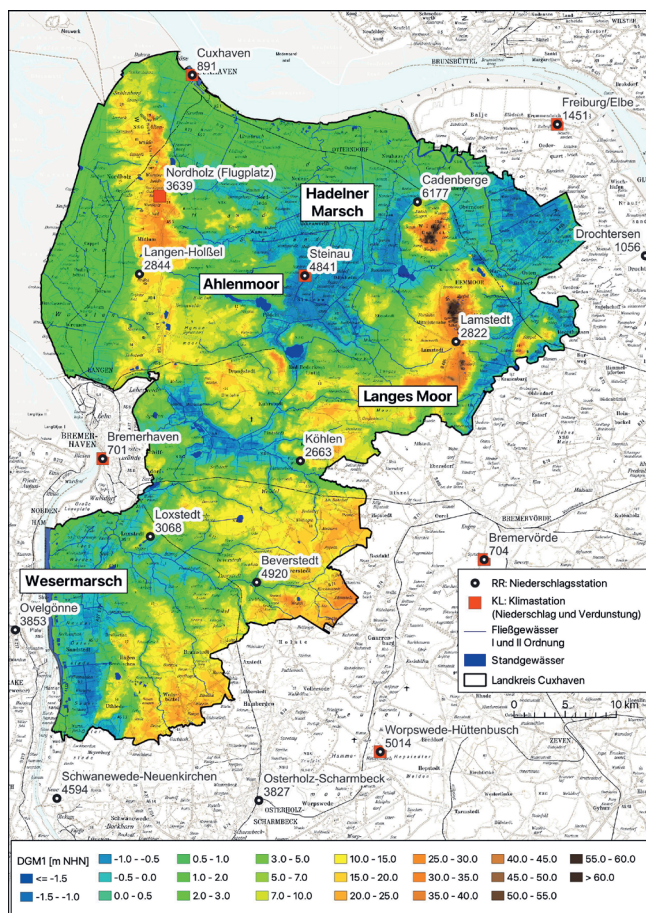
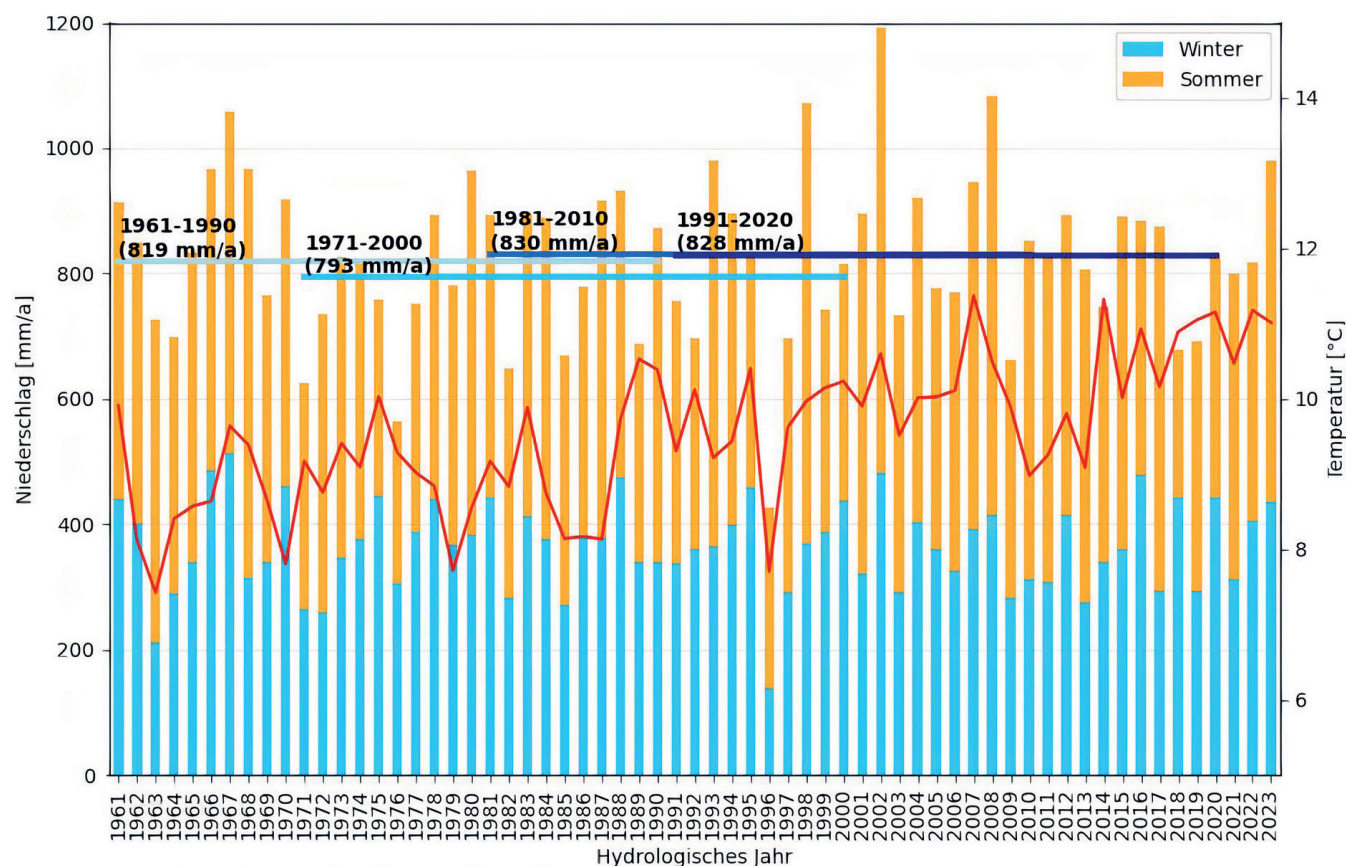


Abbildung 1

Übersicht über den Landkreis Cuxhaven in Niedersachsen mit Topographie, Gewässernetz und verwendeten Wetterstationen für die Dürremodellierung (Datenquellen: LGLN, NLWKN, DWD, BKG).
Overview of the Cuxhaven district in Lower Saxony with topography, stream network and weather stations used for drought modeling (data sources: LGLN, NLWKN, DWD, BKG).

**Abbildung 2**

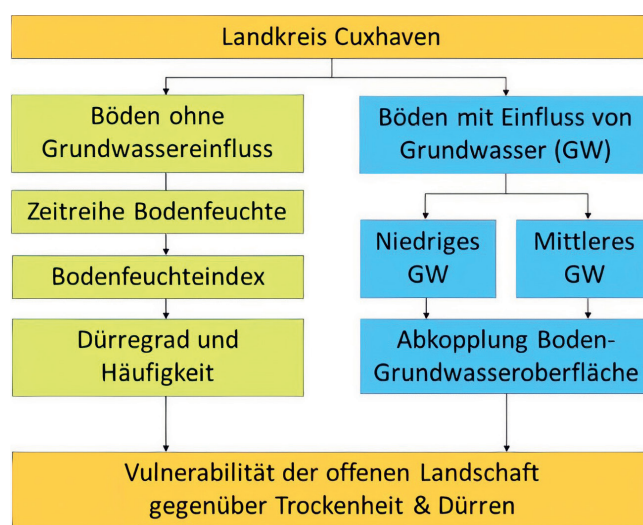
Jährliche Niederschlagssummen und Durchschnittstemperaturen für die hydrologischen Jahre von 1961 bis 2022 an der DWD-Wetterstation Cuxhaven. Annual sum of precipitation and mean temperature for the hydrological years from 1961 to 2022 at the Cuxhaven weather station. (data sources: LGLN, NLWKN, DWD).

3 Methodik

3.1 Überblick und Datengrundlagen

Die Grundlage zur Ermittlung der Dürrevulnerabilität in der Kulturlandschaft ist der Bodenwasserhaushalt, der nicht nur von den meteorologischen Faktoren und bodenphysikalischen Eigenschaften des Bodens abhängt, sondern auch vom Grundwassereinfluss. Böden mit Grundwasseranbindung besitzen neben infiltriertem Niederschlag eine zusätzliche Quelle, die dem Bodenkörper über den kapillaren Aufstieg Wasser zuführen kann. Aus diesem Grund erfolgt die Ermittlung der Dürrevulnerabilität spezifisch jeweils für Böden mit und ohne Grundwassereinfluss in zwei Teilmodellen (Abb. 3).

Die räumliche Trennung des anzuwendenden Teilmodells erfolgte anhand neu erstellter Flurabstandskarten für mittlere und niedrige Grundwasserstände im Landkreis Cuxhaven. Für Böden mit Grundwasseranbindung der effektiven Wurzelzone bei mittleren Grundwasserständen wurde die Veränderung der Anbindung, d. h. die Abkopplung unter niedrigen Grundwasserständen, ermittelt. Für Böden ohne Grundwasseranbindung der effektiven Wurzelzone bei mittleren Grundwasserständen wurde eine Bodenfeuchtemodellierung durchgeführt. In Tabelle 1 sind die verwendeten Datengrundlagen zur Übersicht zusammengestellt.

**Abbildung 3**

Überblick der Vorgehensweise zur Ermittlung der Dürrevulnerabilität. Overview of the methodology for the assessment of drought vulnerability.

Tabelle 1

Übersicht zur Datengrundlage für die Bodenfeuchtemodellierung und die Erfassung der Grundwasseranbindung des Bodens (DWD: Deutscher Wetterdienst; LGLN: Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen; LBEG: Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie; NLWKN: Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz; WVU: Wasserversorgungsunternehmen; WSA: Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt; WBV: Wasser- und Bodenverbände; UHV: Unterhaltungsverbände).

Overview of used data for modeling the soil moisture and assessment of the groundwater connection of the soil.

Grundwasseranbindung/-abkopplung	Parameter	Datensatz	Räumliche Auflösung	Zeitliche Auflösung	Datenquelle
	Niederschlag	Stationsmessdaten	Punktdaten	Täglich	DWD
	Pot. Evapotranspiration	Stationsbezogene Modellierung AMBAV 2.0	Punktdaten	Täglich	DWD
	Landnutzung	ATKIS Basis-DLM	1 : 5.000	–	LGLN
	Nutzbare Feldkapazität	Bodenkarte BK 50	1 : 50.000	–	LBEG
	Effektive Durchwurzelungstiefe	Bodenkarte BK 50	1 : 50.000	–	LBEG
	Bodenart, Torfart, Zersetzungsstufe, Substanzvolumen	Bodenkarte BK 50	1 : 50.000	–	LBEG
	Oberflächennahe Lithologie	Geologische Karte GK 50	1 : 50.000	–	LBEG
	Grundwasserstände	Grundwassermessstellen	Punktdaten	Täglich bis monatlich	NLWKN, WVU
	Wasserstände oberirdische Gewässer	Pegeldaten	Punktdaten	Täglich	NLWKN, WSA, WBV, UHV
	Geländehöhe	Digitales Geländemodell	1 m	–	LGLN

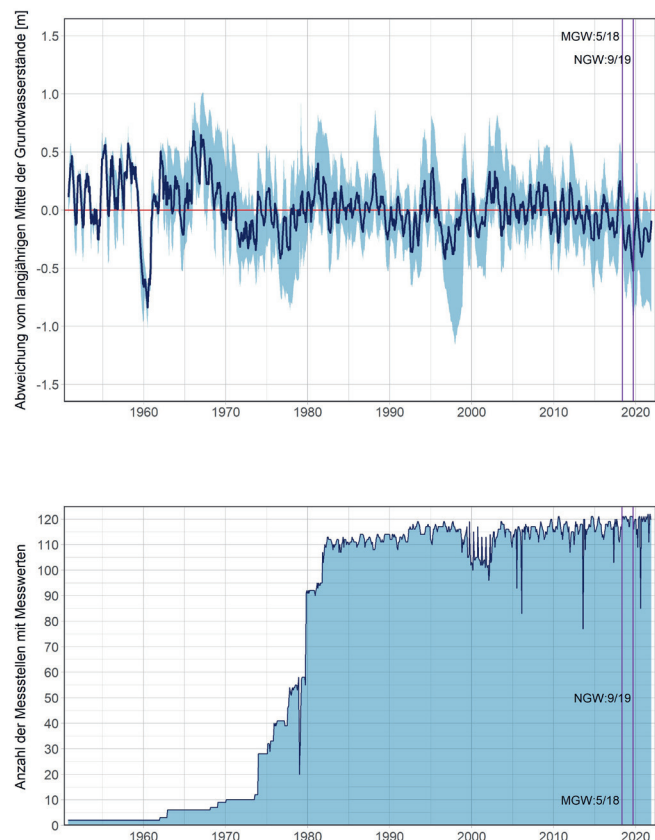
3.2 Erstellung detaillierter Flurabstandskarten

Die Regionalisierung der Grundwasserdruckfläche und Berechnung des Grundwasserflurabstands erfolgte für die zwei hydrogeologischen Systemzustände mittleres Grundwasser (MGW) und niedriges Grundwasser (NGW). Zur Auswahl der charakteristischen Zeitpunkte wurde analog zu HYDOR (2021) eine mittlere Zeitreihe aus den vorliegenden Grundwasserstandszeitreihen (1951 bis 2022) von 107 Messstellen des NLWKN berechnet. Dafür wurden zunächst messstellenbezogene Monatsmittelwerte berechnet und die Grundwasserstände jeder Zeitreihe durch Subtraktion des entsprechenden Mittelwerts der Zeitreihe zentriert. Daraus wurden anschließend über alle Messstellen hinweg das Monatsmittel und die Perzentile berechnet, woraus eine mittlere Zeitreihe für das Gebiet resultiert (Abb. 4).

Die zwei charakteristischen Zeitpunkte der hydrogeologischen Systemzustände wurden nach folgenden Kriterien ausgewählt:

- ein mittlerer bzw. niedriger gemittelter Wasserstand über alle Messstellen hinweg,
- eine möglichst hohe Anzahl an Messwerten zu den Zeitpunkten,
- die Aktualität der Zeitpunkte und
- eine möglichst geringe Streuung der Grundwasserstände der Messstellen zum über alle Messstellen gemittelten Wasserstand zu diesem Zeitpunkt.

Zur Abwägung wurde Abbildung 4 herangezogen, die die Kriterien grafisch zusammenfasst. Im Ergebnis wurde für den Zeitpunkt des mittleren Grundwassers (MGW) der Mai 2018 und des niedrigen Grundwassers (NGW) der September 2019 identifiziert. Die gebietsbezogene mittlere Abweichung zwischen den beiden Systemzuständen beträgt 55 cm.


Abbildung 4

Oben: gebietsbezogene Zeitreihe der mittleren Grundwasserstände (dunkelblau: Mittelwert der Messwerte je Monat; hellblau: 2,5 bis 97,5 Perzentile). Unten: Anzahl der Messstellen mit Messwerten. Top: area-related time series of medium groundwater levels (darkblue: mean value of measurements per month; light blue: 2.5 to 97.5 percentiles). Bottom: number of available observation wells..

Für die sich anschließende Regionalisierung der Grundwasserdruckfläche wurden zusätzlich Daten von 12 Oberflächenwasserpiegeln und 64 Schöpfwerken zusammengetragen sowie insgesamt 954 Stützpunkte entlang der Fließgewässer I. und II. Ordnung erstellt. Die Übertragung der punktuell vorliegenden Informationen von Grundwassermessstellen, Pegeln, Schöpfwerken und Gewässerstützpunkten in die Fläche erfolgte durch Variogrammanalyse (PEBESMA, 2004; GRÄLER et al., 2016) und anschließendes Kriging-Verfahren, das in der Modellierung von Grundwasseroberflächen vielfach Anwendung findet (UETRECHT et al., 2019).

Der Grundwasserflurabstand ergibt sich durch Subtraktion der regionalisierten Grundwasseroberfläche vom digitalen Geländemodell. Die Gebiete mit bedecktem und ggf. gespanntem Grundwasserleiter wurden aus der Geologischen Karte 1 : 50.000 (GK 50 in Abb. 5; LBEG, 2007) abgeleitet und exkludiert, da in diesen Fällen die meist unbekannte Lage der Unterkante des Grundwassergeringleiters für den Flurabstand entscheidend ist. Darüber hinaus sind die bedeckten Gebiete für die Betrachtung des Grundwasseranschlusses an den effektiven Wurzelraum der Pflanzen nicht relevant und wurden daher in die Bodenfeuchtemodellierung integriert.

3.3 Ermittlung der Grundwasseranbindung

Die Grundwasseranbindung der effektiven Wurzelzone beschreibt die Verfügbarkeit von Grundwasser für eine Versorgung der Vegetation durch den kapillaren Aufstieg. Die Ableitung erfolgte hier nach BUG et al. (2020) jeweils für das mittlere Grundwasser (MGW) im Mai 2018 und das niedrige Grundwasser (NGW) im September 2019. Die Anbindung an das Grundwasser ist vom Grundwasserflurabstand (FA), der kapillaren Aufstiegshöhe (kh) und der effektiven Durchwurzelungstiefe (We) abhängig. Die notwendigen Daten wurden aus der BK 50 (LBEG, 2017) entnommen.

Die kapillare Aufstiegshöhe leitet sich nach BUG et al. (2020) bei mineralischen Böden aus der Feinbodenart und bei organischen Böden aus der Torfart, der Zersetzungsstufe und dem Substanzvolumen ab. Dabei wird zwischen verschiedenen Kennwerten der kapillaren Aufstiegshöhe in Abhängigkeit der Wasserversorgung unterschieden: kapillarer Aufstieg für eine optimale (kh_{opt}) und eine ertragsrelevante Wasserversorgung (kh_{Ertrag}) sowie eine Notwasserversorgung der Vegetation in Trockenphasen (kh_{min}). Letztere beschreibt die Höhe, bis zu der das Grundwasser mit einer Rate von mindestens 0,3 mm/d bei einer Wasserspannung von pF4 kapillar aufsteigen kann (DIN 4220 aus BUG et al., 2020), um eine Notwasserversorgung der Vegetation zu gewährleisten. Um die Auswirkungen niedriger Grundwasserstände durch Trockenheit und Dürre auf die Vegetation zu charakterisieren, wurde daher der Kennwert kh_{min} zur Ableitung des Grundwasseranschlusses verwendet.

Die Methodik zur Ableitung von kh_{min} ist in BUG et al. (2020) beschrieben. Dabei wird zunächst für jeden Bodenhorizont zwischen der Unterkante der effektiven Durchwurzelungstiefe und der Oberkante des Grundwassers der horizontspezifische Kennwert $kh_{min,j}$ bestimmt. Die kapillare Aufstiegshöhe des gesamten Bodenprofils leitet sich anschließend aus dem Kennwert des Horizonts mit der geringsten kapillaren Aufstiegshöhe bei einer Mindestmächtigkeit von 2 dm ab.

Die Summe aus der effektiven Durchwurzelungstiefe (We) und der kapillaren Aufstiegshöhe zur Notwasserversorgung der Vegetation (kh_{min}) ergibt den Grenzflurabstand, aus dem nach der Subtraktion des vorherrschenden Grundwasserflurabstands (FA) die Grundwasseranbindung abgeleitet wird:

$$Grundwasseranschluss = \begin{cases} ja, & We + kh_{min} - FA \geq 0 \\ nein, & We + kh_{min} - FA < 0 \end{cases} \quad \text{Gl. 1}$$

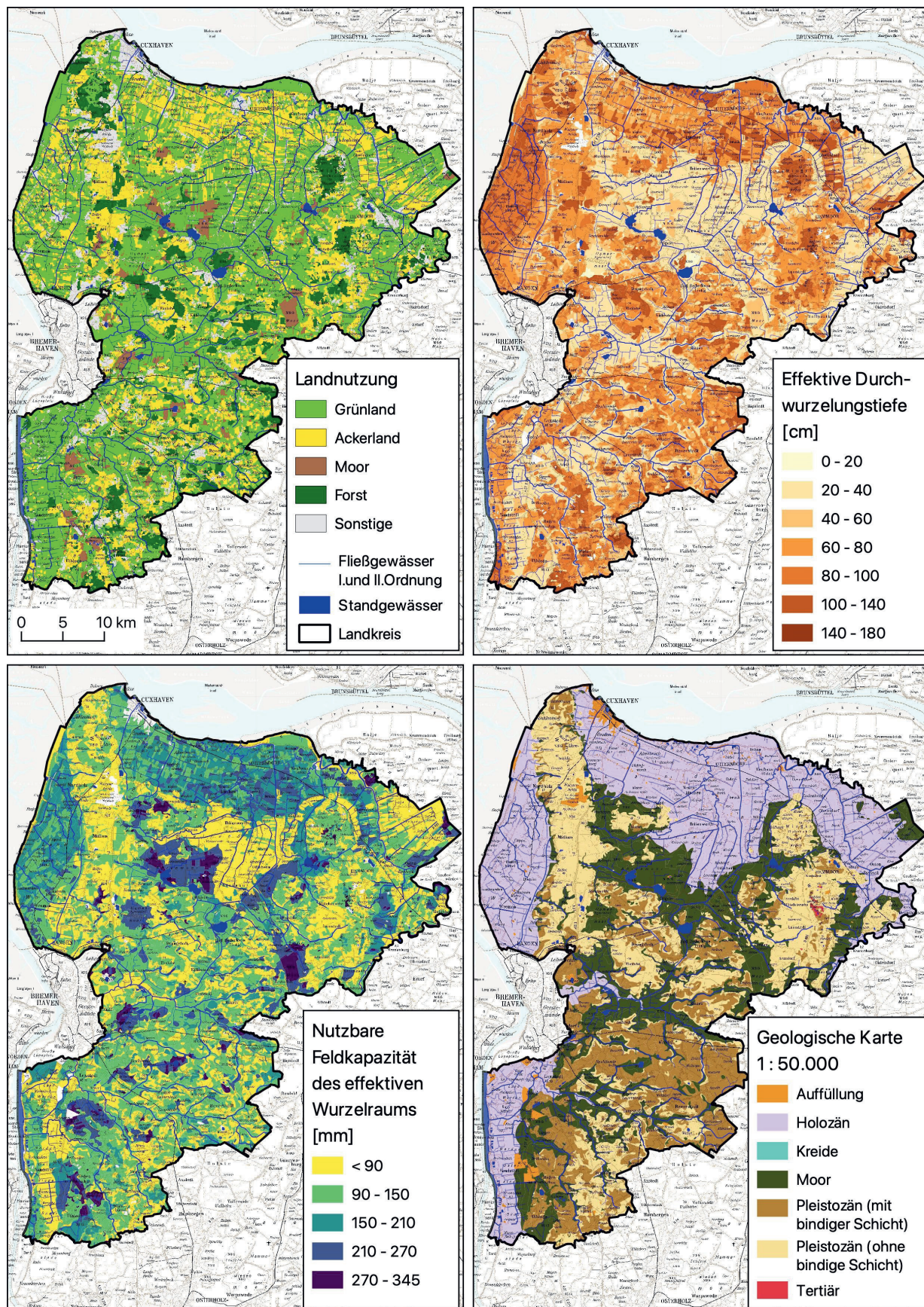
3.4 Modellierung der Bodenfeuchte

Die Bodenfeuchte und der Dürrezustand wurden für Böden ohne Grundwasseranbindung im täglichen Intervall in einer Auflösung von 100 x 100 m² ab 1. Januar 1991 modelliert. Das Modell wurde in der Programmiersprache Python entwickelt und speist sich aus frei verfügbaren behördlichen Daten. Die ausführliche Modelldokumentation ist in HYDOR (2023) veröffentlicht.

Die Modelldomäne besteht aus 100.579 Rasterzellen (1.006 km²). Sie geht aus der Landkreisfläche (2.072 km²) hervor, die um die Siedlungsflächen und die Flächen mit Grundwasseranbindung bei mittleren Grundwasserständen reduziert wurde. Die Parametrisierung der Böden (We und nFK_{We}) erfolgt anhand der Daten der BK 50 (LBEG, 2017). Die räumliche Verteilung der Parameter ist in Abbildung 5 dargestellt.

In die Niederschlagsverteilung bzw. Verteilung der potenziellen Evapotranspiration fließen die Daten von 17 bzw. 7 Stationen des DWD ein (Abb. 1). Die Punktdaten werden mittels linearer Radialer Basisfunktion (RBF) auf das Raster interpoliert. Dafür wird in Python das Paket Scipy (VIRTANEN et al., 2020) und die Funktion `scipy.interpolate.Rbf` verwendet. FELIX & JUNG (2022) zeigten, dass die Interpolation mittels RBF eine geeignete Methode für die Komplementierung hydrologischer Modelle darstellt.

Die potenzielle Evapotranspiration wird kulturspezifisch vom Deutschen Wetterdienst (DWD) als Produkt des Modells AMBAV 2.0 bereitgestellt (Agrarmeteorologische Berechnung der aktuellen Verdunstung; LÖPMEIER, 1994; HERBST et al., 2021); z. B. für Gras, Winterweizen, Mais und Zuckerrüben, weshalb auf eine gesonderte Modellierung verzichtet wurde. Die Grundlage für die dafür notwendige Parametrisierung der Landnutzung liefert das digitale Landschaftsmodell (Basis-DLM, Stand Juni 2020), das sich bei der Erstellung an der Deutschen Grundkarte 1 : 5.000 orientierte und laufend anhand digitaler Orthophotos aktualisiert wird (LGLN, 2024). Bei Grünland wurde zur Ermittlung der potenziellen Evapotranspiration der Wert für Gras und bei Ackerflächen der Mittelwert aus Winterweizen und Mais angesetzt. Für die Waldflächen gilt ein Pauschalansatz, bei dem die Verdunstung auf Basis der potenziellen Verdunstung von Gras multipliziert mit einem Faktor f_w abgeschätzt wurde. Die Ermittlung des Faktors erfolgte spezifisch für Nadel- ($f_w = 1,6$), Laub- ($f_w = 1,35$) und Mischwald ($f_w = 1,47$) auf Grundlage forsthydrologischer Modellierungen in der Lüneburger Ostheide (UDATA, 2015) sowie Lysimetermessungen in St. Arnold in Nordrhein-Westfalen (KLEIN, 2000 aus ZIMMERMANN et al., 2008). Die abgeleiteten Faktoren stimmen gut mit anderen klimatischen Räumen in Deutschland überein. So liegt für den Standort Britz in Brandenburg die langjährige Verdunstung von Kiefern um rund 20 % höher als die von Buchen (MÜLLER, 2005).

**Abbildung 5**

Räumliche Verteilung der für die Dürremodellierung verwendeten Parameter (für Datenquellen siehe Tabelle 1).

Spatial distribution of the parameters used for drought modelling (for data sources see table 1).

Aus der potenziellen Evapotranspiration ETP [mm] wird die reale Verdunstung ETA [mm] mithilfe eines Korrekturfaktors f_{Bf} in Abhängigkeit der vorherrschenden Bodenfeuchte Bf_d [mm] und der nFK_{We} [mm] bestimmt:

$$ETA = f_{Bf} * ETP \quad \text{mit } f_{Bf} = Bf_d / nFK_{We} \quad \text{Gl. 2}$$

Die Bodenfeuchte Bf_d [mm] wird am aktuellen Tag aus der Bodenfeuchte des Vortags Bf_{d-1} [mm], dem Niederschlag N_d [mm] und der realen Evapotranspiration ETA_d [mm] für einen Bodenmonolith bis zur effektiven Wurzelzone berechnet:

$$Bf_d [mm] = Bf_{d-1} + N_d - ETA_d \quad \text{Gl. 3}$$

Aufgrund der bodenkundlichen und hydrogeologischen Gegebenheiten wird angenommen, dass kein relevanter Oberflächenabfluss stattfindet. Überschüssiges Bodenwasser über die nutzbare Feldkapazität hinaus wird als Sickerwasser abgeführt. In Abbildung 6 ist das Bodenfeuchtemodell schematisch skizziert.

3.5 Ableitung des Bodenfeuchteindex und der Dürrestufe

Die Bodenfeuchtezeitreihe liefert die Grundlage zur Ermittlung des Bodenfeuchteindex (Soil Moisture Index – SMI; SAMANIEGO et al., 2013), der die Unterschreitungswahrscheinlichkeit einer Bodenfeuchte angibt. Die Ermittlung des SMI erfolgt in Anlehnung an die Methodik des UFZ, die im Rahmen der Modellierung für den deutschlandweiten Dürremonitor angewendet wird (MARX et al., 2016; ZINK et al., 2016). Der Ansatz gründet auf demjenigen von SVOBODA et al. (2002), der im Rahmen des U.S. Drought Monitors entwickelt wurde. In Tabelle 2 sind die Perzentile dargestellt, die entsprechende SMI-Spannen und Dürrestufen repräsentieren (nach SVOBODA et al., 2002).

Die einzelnen Schritte zur Ermittlung des SMI sind in Abbildung 6 dargestellt. Da aus dem SMI letztlich eine Dürrestufe abgeleitet werden soll, wird aus Gründen der Recheneffizienz die SMI-Spanne bzw. Dürrestufe direkt ermittelt und auf eine exakte Berechnung des SMI verzichtet. Dafür wird auf die Zeitreihe der Bodenfeuchte vorbereitend ein gleitendes Mittel von 30 Tagen

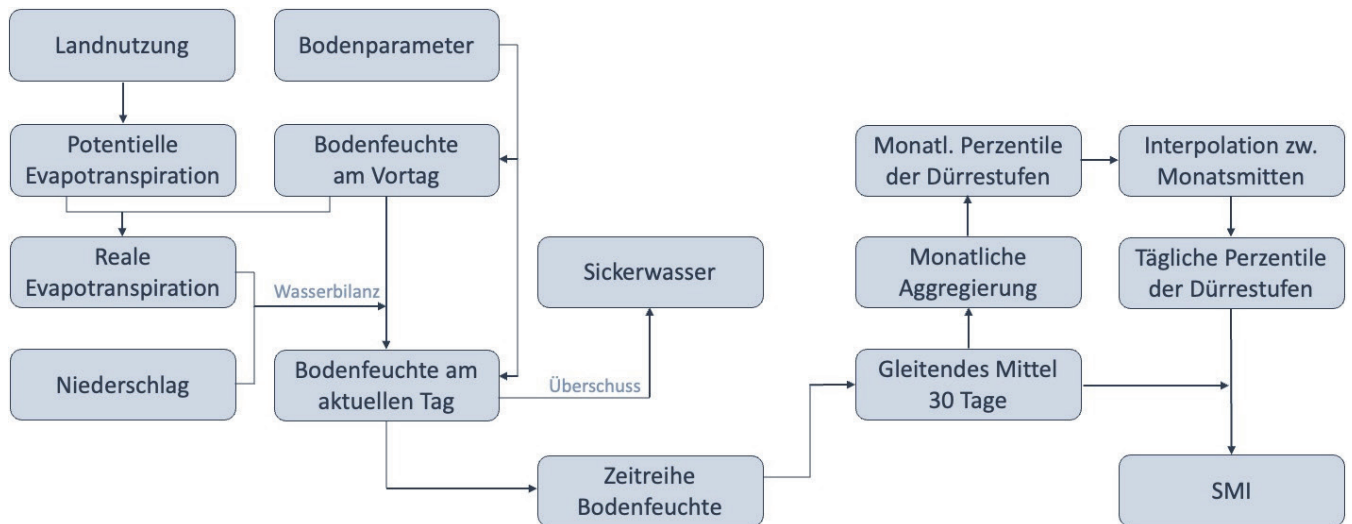


Abbildung 6

Aufbau des Teilmodells zur Berechnung der Bodenfeuchte und zur Ermittlung des SMI.
Structure of the partial model for the estimation of soil moisture and determination of the SMI.

Tabelle 2

Perzentile für Trockenheits- und Dürrestufen. Die Erläuterungen wurden aus dem Englischen übersetzt (Originalquelle: SVOBODA et al., 2002).
Percentiles for conditions of dryness and drought. The explanations were translated from the original source (SVOBODA et al., 2002).

Perzentil	Trockenheits- bzw. Dürrestufe	Erläuterung
≤ 30 – 20	1 – Ungewöhnliche Trockenheit	Auswirkungen auf Pflanzenwachstum
≤ 20 – 10	2 – Moderate Dürre	Schadwirkung auf Grünland und Ackerkulturen
≤ 10 – 5	3 – Schwere Dürre	Ertragsverluste auf Grünland und Acker zu erwarten
≤ 5 – 2	4 – Extreme Dürre	Hohe Ertragsverluste auf Grünland und Acker
≤ 2	5 – Außergewöhnliche Dürre	Außergewöhnlich hohe und flächenhafte Ertragsverluste

angewendet. Im Anschluss erfolgt eine monatliche Aggregation, d. h. aus jeder Zeitreihe einer Rasterzelle werden 12 Teildatensätze. Danach werden die Perzentile (30, 20, 10, 5 und 2) der monatlichen Teildatensätze rangstatistisch ermittelt. Die daraus resultierenden monatlichen Perzentile der Bodenfeuchten sind äquivalent zu den Bodenfeuchten der $SMI = \{0.3, 0.2, 0.1, 0.05, 0.02\}$ und entsprechen den Dürrestufen 1 bis 5. Um Sprünge zwischen den Monatswechseln zu vermeiden, erfolgt eine lineare Interpolation zwischen den Monatsmitteln. Für jede Rasterzelle und für jeden Kalendertag im Jahr ergeben sich fünf Bodenfeuchtenstufen, die jede perzentilabhängige SMI-Spanne bzw. Dürrestufe abbilden. So kann jeder aktuellen Bodenfeuchte eine SMI-Spanne bzw. Dürrestufe zugeordnet werden.

4 Dürregefährdung in der Kulturlandschaft

4.1 Flurabstände und Grundwasseranbindung der effektiven Wurzelzone bei Niedrigwasser

In Abbildung 7 (links) ist die Flurabstandskarte für den Systemzustand des mittleren Grundwassers (MGW) dargestellt. Darin werden die geringen Flurabstände in den Niedermoor- und Marschgebieten mit Flurabständen von weniger als 2 Metern ver-

ortet, wo eine Anbindung an das Grundwasser zu erwarten ist. Mit zunehmender Nähe zur Küste steigt der Flurabstand in den Marschgebieten an. Dies zeigt sich am Hochland der Hadelner Marsch im Norden mit Flurabständen zwischen 2 bis 3 m, lokal sogar bis zu 5 m. In den Hochmooren (z. B. Ahlenmoor) betragen die Flurabstände ebenfalls 2 bis 5 m.

Die Geestflächen sind durch Flurabstände von mehr als 5 m gekennzeichnet. Dort ergibt sich eine Absenkung der Grundwasseroberfläche vom Zeitpunkt des MGW im Mai 2018 zum Zeitpunkt des niedrigen Grundwassers (NGW) im September 2019 von 0,2 bis 1 m (Abb. 7, rechts). In den Moor- und Marschgebieten ergeben sich hingegen nur geringe Abnahmen von wenigen Zentimetern oder zum Teil geringfügige Zunahmen des Grundwasserstands zwischen 5 und 20 cm. Diese lokal erhöhten Grundwasserstände bei Niedrigwasser sind auf den Schöpfwerksbetrieb zurückzuführen, bei dem im Trockenjahr 2019 geringfügig höhere Wasserstände gehalten wurden (HADELNER DEICH- UND GEWÄSSERVERBAND, 2023).

In den Gebieten mit Flurabständen von mehr als 3 m ist in der Regel keine Anbindung der effektiven Wurzelzone an die Grund-

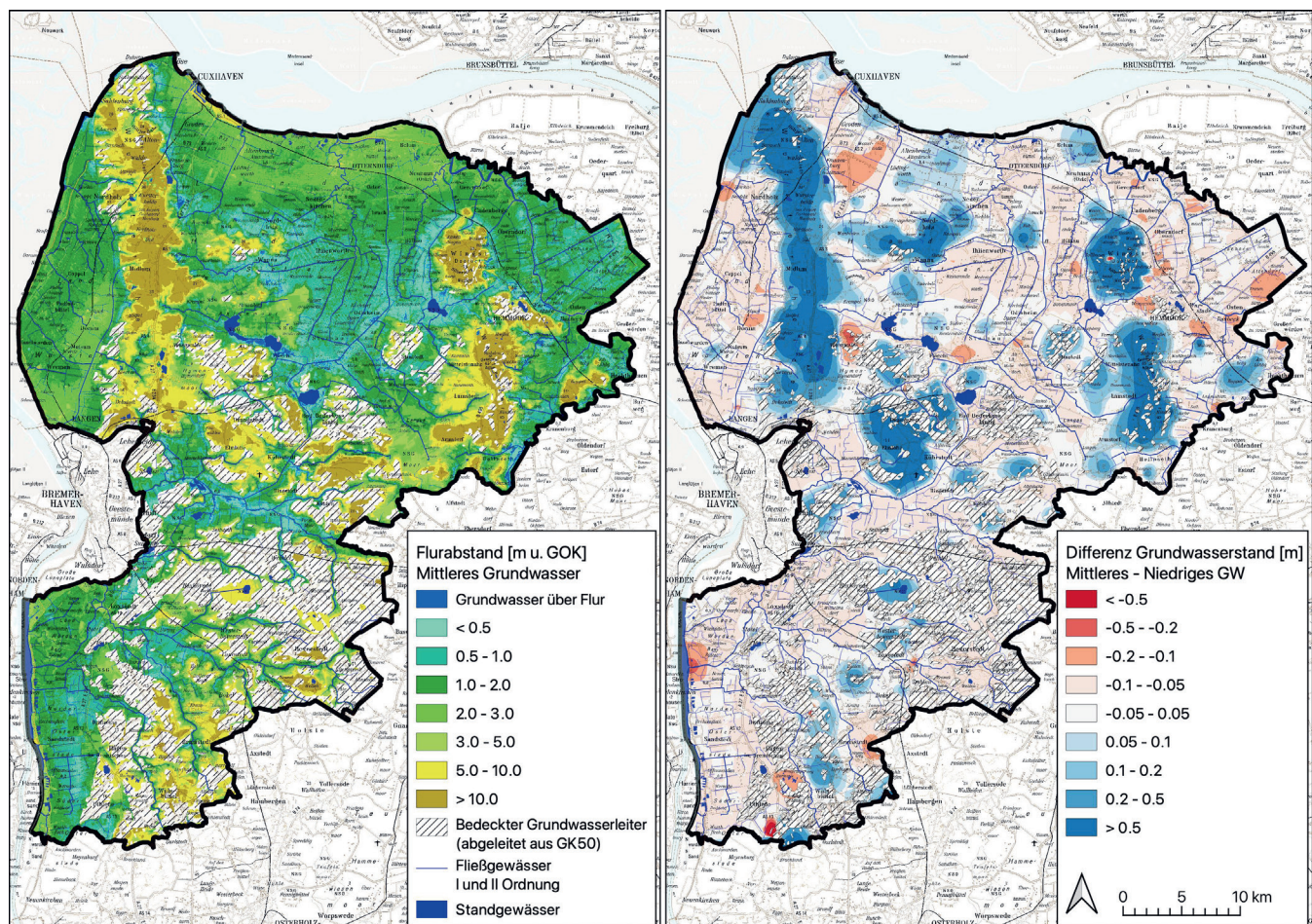


Abbildung 7

Links: Flurabstandskarte für mittlere Grundwasserstände im Mai 2018. Rechts: Differenzkarte zwischen mittleren und niedrigen Grundwasserständen. Datenquellen: NLWKN, WSA, lokale Wasserversorger, Wasser- und Bodenverbände, Unterhaltungsverbände, LBEG, LGLN, BKG.

Left: Map of depth to groundwater table for medium groundwater levels in May 2018. Right: Difference map between medium and low groundwater levels. Data sources: NLWKN, WSA, local water suppliers, associations for water and soil management, LBEG, LGLN, BKG.

wasser Oberfläche zu erwarten. Entsprechend können Flächen ohne Grundwasseranbindung auf den Geestflächen und in den Hochmooren identifiziert werden (Abb. 8, links), die insgesamt einen Flächenanteil von 41 % (845 km²) aufweisen. Die Flächen mit Grundwasseranbindung liegen in den Niedermooren und in den tiefliegenden Sietländern der Marschen. Im feinkörnigem Bodensubstrat kann dort das Grundwasser kapillar bis zu 2,1 m aufsteigen und ist dadurch noch bei einem Grundwasserflurabstand von 2,5 m und teilweise höher pflanzenverfügbar.

Unter niedrigen Grundwasserständen treten Abkopplungen des effektiven Wurzelraums vom Grundwasser meist lokal in den Geestrandbereichen und Senken auf (Abb. 8, rechts). So kann z. B. im Dorumer Moor, das sich in einer abflusslosen Senke bildete, eine Abkopplung großer Flächen beobachtet werden, auf denen bei niedrigen Grundwasserständen die Notwasserversorgung der Vegetation nicht mehr gewährleistet wird. Bezogen auf die gesamte Landkreisfläche erfahren 4 % der bei mittlerem Grundwasser hydraulisch angebundenen Flächen eine Abkopplung unter Verhältnissen niedriger Grundwasserstände.

4.2 Bodenfeuchten und Dürrestufen exemplarisch für das Jahr 2018

Das Jahr 2018 war im Landkreis Cuxhaven sehr warm und durch einen besonders niederschlagsarmen Sommer gekennzeichnet (Abb. 2). In Abbildung 9 sind daher die räumlichen Verteilungen der relativen Bodenfeuchten in der effektiven Wurzelzone (oben) und die entsprechenden Dürrestufen (unten) für die Böden ohne Grundwasseranschluss außerhalb der Siedlungsgebiete exemplarisch für das Jahr 2018 dargestellt. Der Winter 2017/18 und das Frühjahr 2018 waren zunächst niederschlagsreich, sodass die Bodenspeicher gefüllt waren, ohne eine Abweichung von den jahreszeittypischen Bodenfeuchten aufzuweisen. Bis zum 1. Mai konnte daher noch keine Dürre festgestellt werden.

Nach dem Eintritt der Vegetationsperiode erfolgte eine intensive Entleerung der Bodenwasserspeicher aufgrund der Trockenphase. Anfang Mai lagen die Bodenfeuchten teilweise noch bei 70 bis 80 % und sanken in weiten Teilen des Landkreises auf meist unter 30 % nFK_{We} im Juni 2018. Innerhalb weniger Wochen wurde bereits eine moderate bis schwere Dürre erreicht. Die Moore, z. B. Ahlenmoor und Langes Moor, wiesen zum Zeitpunkt

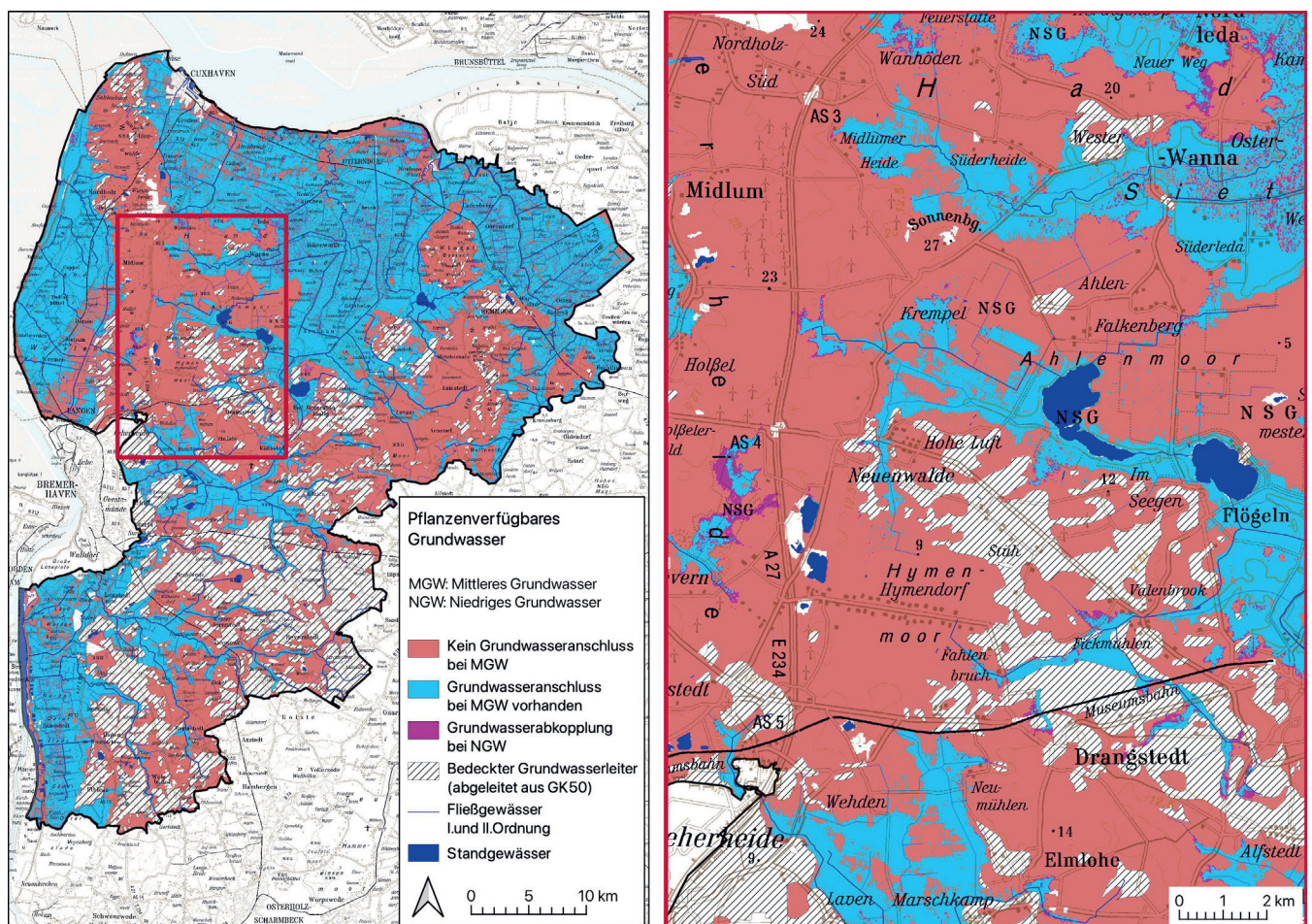


Abbildung 8

Links: Anbindung der effektiven Wurzelzone bei mittleren Grundwasserständen und abgekoppelte Flächen bei niedrigem Grundwasser. Rechts: Detailschnitt zur Veranschaulichung der lokal ausgeprägten Grundwasserabkopplung. Datenquellen: NLWKN, WSA, lokale Wasserversorger, Wasser- und Bodenverbände, Unterhaltungsverbände, LBEG, LGLN, BKG.

Left: Connection of the effective root zone at medium groundwater levels and disconnected areas at low groundwater levels. Right: Detailed map showing the disconnected areas as local features. Data sources: NLWKN, WSA, local water suppliers, associations for water and soil management, LBEG, LGLN, BKG..

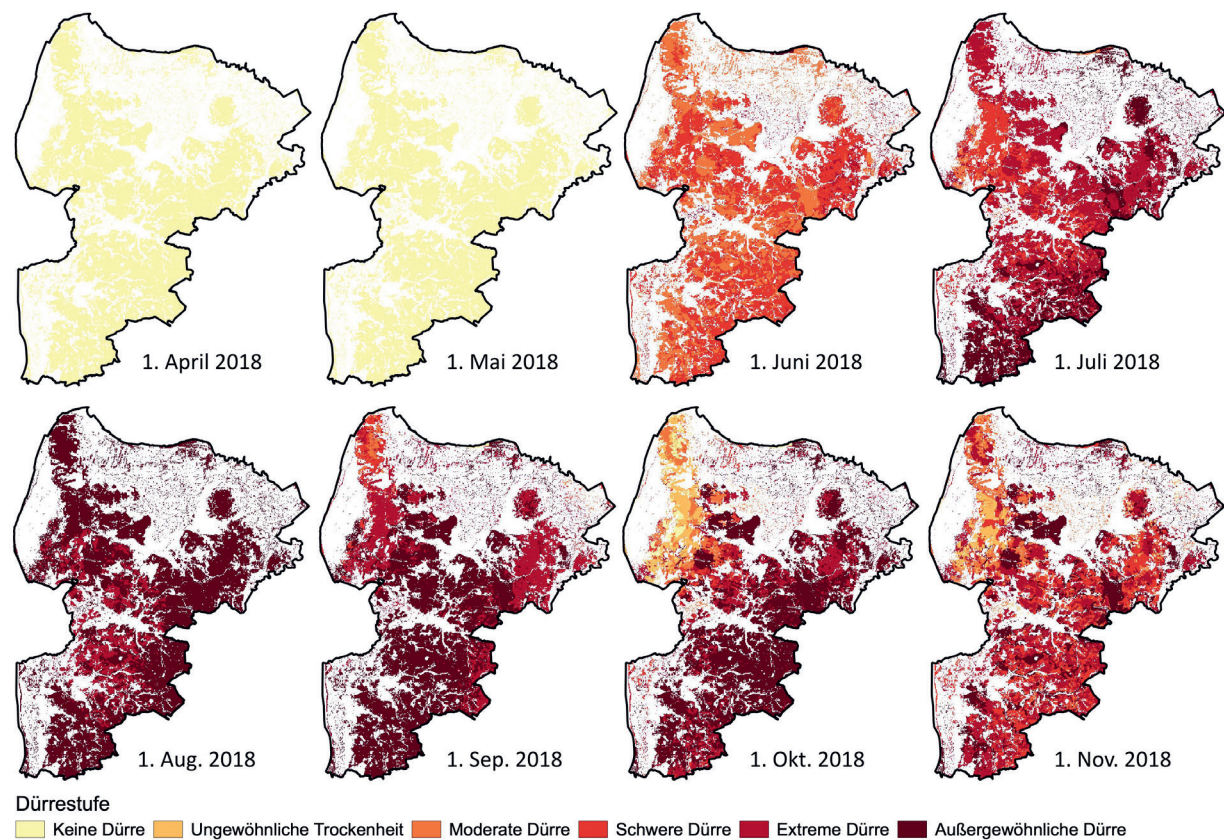
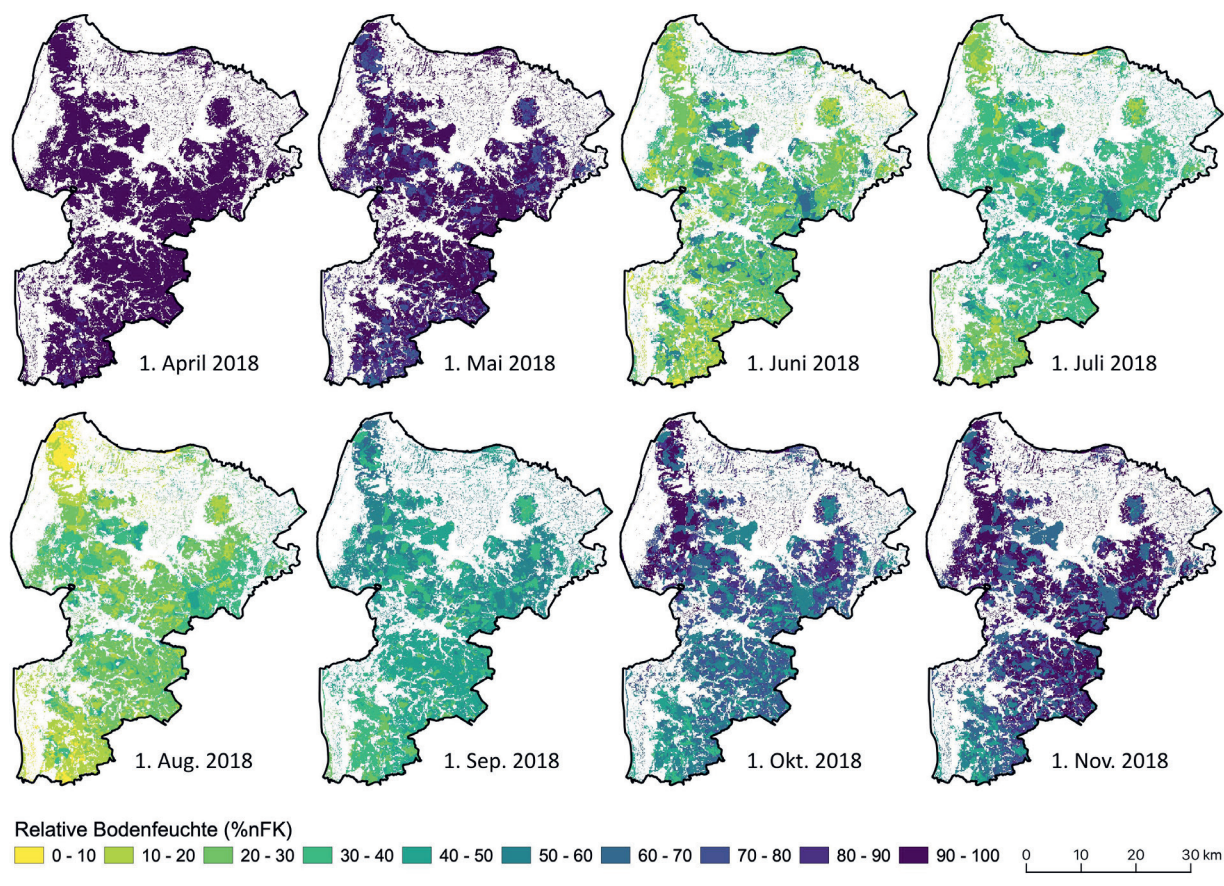


Abbildung 9

Räumlich-zeitliche Verteilung der Bodenfeuchten und der Dürrestufe für Böden ohne Grundwasseranschluss von April bis November 2018.
Spatio-temporal distribution of the soil moisture and drought level for soils without connection to groundwater from April to November in 2018..

noch relativ hohe Werte von 50 bis 70 % auf, da die Wasserspeicherkapazität der Torfböden im Vergleich zu den sandigen Böden auf den Geestflächen wesentlich höher ist. Im Verlauf von Juni bis Juli erfolgte lokal nur eine kurzfristige Entspannung bzw. Stagnation der Trockenheit. Die Situation verschärfte sich mit dem folgenden Eintritt der extremen Dürre Anfang Juli, die sich bis Anfang August zu einer außergewöhnlichen Dürre entwickelte. Die Bodenfeuchten sanken meist auf unter 30 %. Auch die Moore wiesen Tiefstwerte von teilweise weniger als 40 % auf.

Im September erfolgte eine allmähliche Füllung der Bodenspeicher, vor allem im Norden des Landkreises mit höheren Niederschlagsmengen. Aufgrund der für diese Jahreszeit noch untypisch niedrigen Bodenfeuchten, dauerte die außergewöhnliche Dürre weiter an. Im Oktober 2018 lagen die relativen Bodenfeuchten auf den Geestflächen im nordwestlichen Teil bereits bei über 90 %, da dort die Niederschlagssummen an den DWD-Stationen von August und September bei 128 bis 151 mm lagen, während sie im übrigen Teil des Landkreises 76 bis 111 mm betrugen (DWD, 2021). Da es sich auf den nordwestlichen Geestflächen um sandige Böden mit geringen nutzbaren Feldkapazitäten handelt, erfolgte die Füllung der Bodenspeicher relativ schnell und der Dürrezustand entspannte sich dort zu einer ungewöhnlichen Trockenheit. Die Moorflächen mit hohem Wasserspeichervermögen benötigten hingegen eine deutlich längere Regenerationszeit. Im Oktober lagen die Bodenfeuchten dort noch bei 50 bis 60 %. Da eine solche Bodenfeuchte im Moor für diese Zeit sehr untypisch ist, lag im Oktober weiterhin eine außergewöhnliche Dürre vor. Bis November dauerte diese Situation auf den Moorflächen mit Bodenfeuchten von 60 bis 70 % an.

Ein Vergleich des Dürreverlaufs mit den Ergebnissen des UFZ-Dürremonitors (UFZ, 2024) zeigt, dass solche flächenspezifischen Analysen damit nicht möglich sind. So gehen daraus für das Jahr 2018 zwar Unterschiede im Dürreverlauf zwischen Küste und Binnenland hervor, aber differenzierte Aussagen zum Dürrezustand von Geestflächen und Mooren sind aufgrund der groben Auflösung von 4 x 4 km² daraus nicht ableitbar.

4.3 Identifikation von Gefährdungsparametern: Dürredauer und Grundwasserabkopplung bei Niedrigwasser

Im Rahmen der Gefährdungsanalyse zu Dürreereignissen sind zunächst geeignete Parameter zu identifizieren. Eine Gefährdung der Kulturlandschaft durch Trockenheit impliziert, dass die auszuwählenden Parameter Stressfaktoren für die Wasserverfügbarkeit der Vegetation darstellen müssen. Für Böden mit Grundwasseranbindung wurde daher die Abkopplung der effektiven Wurzelzone vom Grundwasser bei niedrigen Grundwasserständen als Gefährdungsparameter ausgewählt, während für Böden ohne Grundwasseranbindung die Dürredauer herangezogen wurde. ZINK et al. (2016) verwenden u. a. die Dürredauer erfolgreich, um die Magnituden von historischen Dürreereignissen in Deutschland zu quantifizieren.

Im modellierten Zeitraum 1991 bis 2022 wurde für jede Rasterzelle die maximale Dürredauer eines Kalenderjahres ermittelt (Abb. 10). Sie entspricht der Summe der Tage, die das 20-Perzentil in einem Kalenderjahr unterschreiten. Die Spanne der resultierenden Verteilung liegt zwischen 4 bis 10 Monaten und bietet ausreichend Raum für eine räumliche Differenzierung. Sie

erweist sich damit grundsätzlich als geeignetes Maß für eine flächendifferenzierte Dürregefährdung.

Die Geestflächen im Nordwesten des Landkreises weisen eine relativ geringe maximale Dauer von 4 bis 6 Monaten auf, da die sandigen Bodenspeicher auch bei geringen oder mittleren Niederschlagsmengen am Ende einer Dürre relativ schnell wieder gefüllt werden können. Darüber hinaus sind die nordwestlichen Geestflächen stärker der Küste und damit potenziell dem Niederschlag exponiert. Im übrigen Teil des Landkreises werden meist maximale Dürredauern von 6 bis 8 Monaten erreicht, wobei sie im südlichen Teil länger ausfallen. Bemerkenswert sind die Moorgebiete, z. B. Langes Moor und Ahlenmoor, mit den längsten Dauern von 8 bis zu 10 Monaten. Die Unterschiede sind primär auf das Wasserspeichervermögen der Böden zurückzuführen. Von Bedeutung sind jedoch auch die regionalen und lokalen Niederschlagsmuster sowie die Verteilung der Evapotranspiration.

5 Diskussion und Schlussfolgerungen

In dieser Studie wurde eine Dürremodellierung im Landkreis Cuxhaven in einer räumlichen Auflösung von 100 x 100 m² durchgeführt. Im Vergleich zum Dürremonitor (MARX et al., 2016; ZINK et al., 2016), der eine Auflösung von 4 x 4 km² besitzt, konnte so die Dürreentwicklung im Jahr 2018 räumlich differenzierter nachvollzogen und Unterschiede in den Dürrezuständen zwischen benachbarten Geest- und Moorflächen erkannt werden. Aus den Ergebnissen können verallgemeinerbare Rückschlüsse auf die Dürregefährdung unterschiedlicher Landnutzungsgruppen im norddeutschen Raum gezogen werden. Es konnte herausgearbeitet werden, dass Standorte mit hohem Wasserspeichervermögen im Boden wie z. B. Moore mit hohen Torfmächtigkeiten und Standorte mit geringem Wasserspeichervermögen, z. B. Heideflächen auf der Geest, sehr unterschiedlich auf lange Zeiträume mit ausgeprägter Trockenheit bzw. Dürre reagieren. Böden mit hohem Wasserspeichervermögen zeigen in Bezug auf die relative Bodenfeuchte eine trägere Reaktion auf trockene Witterungsverhältnisse als Böden mit geringem Wasserspeichervermögen, d. h. die Dauer der Speicherentleerung ist höher. Dieses Trägheitsphänomen tritt auch bei der sich anschließenden Speicherfüllung auf, d. h. die Böden mit hohem Wasserspeichervermögen verharren länger im Dürrezustand als die Böden mit geringem Wasserspeichervermögen. Im Ergebnis tritt der Dürrezustand bei Böden mit geringem Wasserspeichervermögen häufig und kurz auf, während er bei Böden mit hohem Wasserspeichervermögen seltener auftritt und länger anhält. Das häufigere Eintreten von Dürren auf Sandböden im Vergleich zu Tonböden bei ähnlichem Klima wird durch Bodenfeuchtemessungen von YU et al. (2023) bestätigt.

Der effektive Wurzelraum der Böden weist auf etwa 41 % der Landkreisfläche eine Grundwasseranbindung bei mittleren Grundwasserständen auf, wobei es sich um Niederungen und die tiefliegenden Sietländer der Marschgebiete handelt. Eine Abkopplung des effektiven Wurzelraums vom Grundwasser bei niedrigen Grundwasserständen (September 2019) wurde nur sehr lokal, z. B. im Gebiet des Dorumer Moors, sowie den Geestrandbereichen beobachtet. Insgesamt erfahren 4 % der grundwasserangebotenen Flächen eine Abkopplung bei niedrigem Grundwasser (31 km²). Daraus lässt sich schlussfolgern, dass in den Niedrigwassersituationen seit dem Jahr 2018 auf

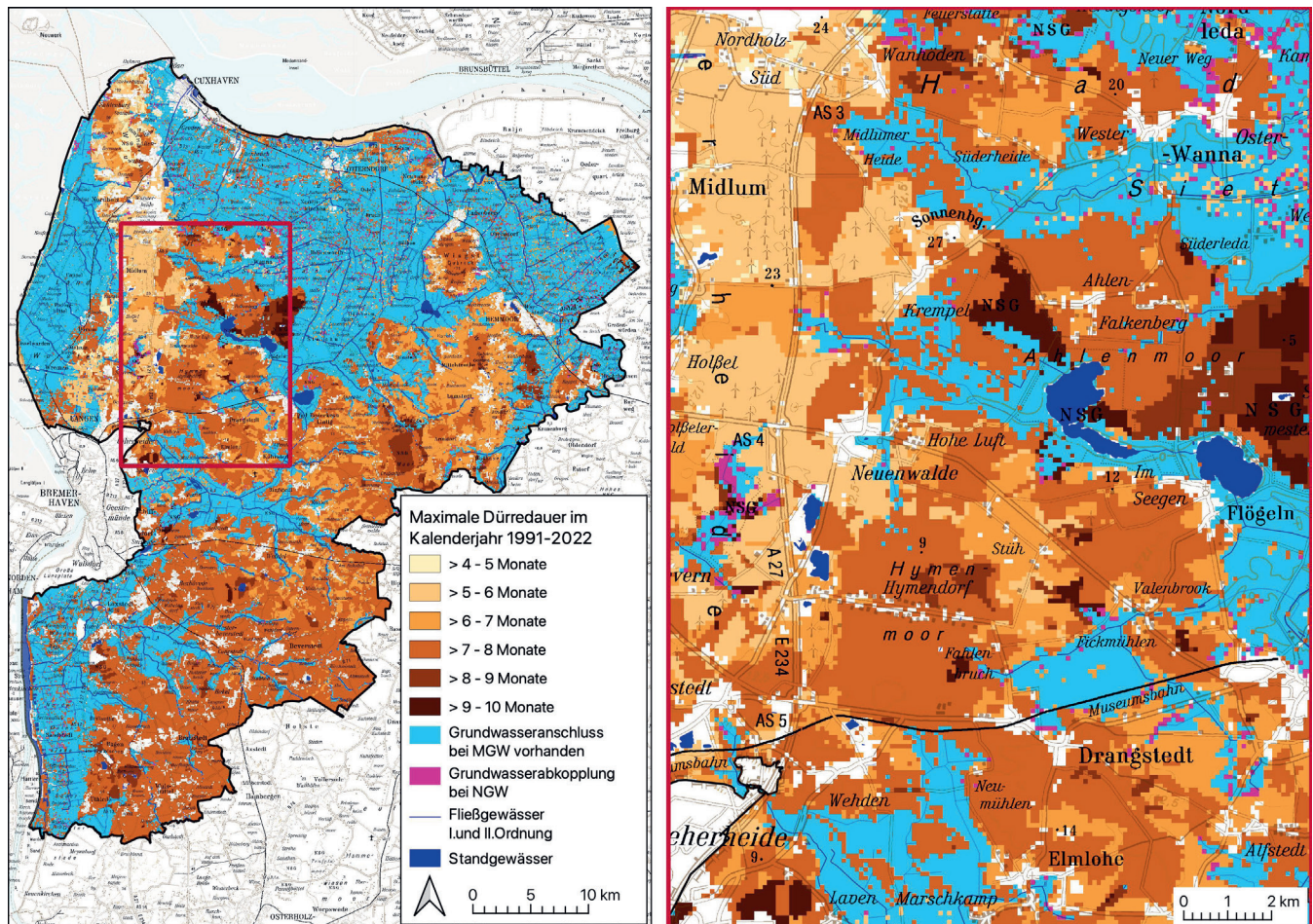


Abbildung 10

Maximale Dürredauer in einem Kalenderjahr von 1991-2022 in gemeinsamer Darstellung mit der Grundwasseranbindung in einer räumlichen Auflösung von $100 \times 100 \text{ m}^2$.

Maximum drought duration per calendar year from 1991 to 2022 together with the groundwater connection in a spatial resolution of $100 \times 100 \text{ m}^2$.

Böden mit Grundwasseranschluss die Notwasserversorgung der Vegetation weitestgehend gedeckt war und die Abkopplung nur lokal ein Problem darstellte. Ein Grund dafür ist das Wassermenagement, das in den Niederungen und Marschgebieten durch die Schöpfwerke betrieben wird und die Grundwasserstände reguliert. Durch die Drosselung der Entwässerung können Grundwasserschwankungen in Dürreperioden ausgeglichen werden. Methodisch ist daraus abzuleiten, dass die Einbeziehung detaillierter Grundwasserflurabstände auf grundwassergeprägten Böden, wie sie in Norddeutschland häufig vorkommen, unerlässlich für die Modellierung der Gefahren und Risiken durch Trockenheit und Dürre sind, weil das oberflächennahe Grundwasser in weiten Teilen des Landkreises wichtig für die Wasserversorgung von Boden und Vegetation ist.

Als geeignete Parameter zur Beschreibung der Dürregefährdung in der Kulturlandschaft wurden die maximale Dauer einer Dürre und die Abkopplung der Grundwasseroberfläche von der effektiven Wurzelzone bei niedrigen Grundwasserständen jeweils für Böden ohne und mit Grundwasseranbindung identifiziert. Der Vorteil dieser Parameter ist, dass sie selbst sowie auch ihre Zahlenwerte für die allgemeine Öffentlichkeit im Gegensatz zu zusammengesetzten Indizes nachvollziehbar sind. Nachteile

ist bei der maximalen Dürredauer die Begrenztheit der Aussage über die Dürreintensität. ZINK et al. (2016) nutzen diese als zeitlich-räumliches Integral der negativen Abweichungen von einem $\text{SMI} = 0,2$ (Eintritt des Dürrezustands) zur Beschreibung der Magnituden von Dürreereignissen in Deutschland. Das Ergebnis ist ein abstrakter Zahlenwert, der selbst wenig aussagekräftig ist, aber neben der Dürredauer den Dürrezustand diskreter Flächen komplementiert.

Die gewonnenen Erkenntnisse sind auf die Wahl einer räumlich hohen Auflösung von $100 \times 100 \text{ m}^2$ bei der Bodenfeuchtemodellierung zurückzuführen. Eine erhöhte Auflösung des UFZ-Dürremonitors (MARX et al., 2016; ZINK et al., 2016) von $1,2 \times 1,2 \text{ km}^2$ anstatt $4 \times 4 \text{ km}^2$ wurde bereits von BOEING et al. (2022) erfolgreich unter Verwendung der BÜK 200 (BGR, 2020) demonstriert. Die länderspezifischen Bodenkarten in der Auflösung von $1 : 50.000$ bieten diesbezüglich weiterführende Datengrundlagen für zukünftig noch höhere Zielaufösungen, um die Praxistauglichkeit dieser wertvollen Informationen zu erhöhen. Gleichzeitig wurde von BOEING et al. (2022) hervorgehoben, dass für ein nachhaltiges, bundesweites Dürreinformationssystem nicht nur verlässliche Bodenfeuchtemodellierungen notwendig sind, sondern auch flächendeckende Bodenfeuchtemessungen.

Die Wahl der hohen Auflösung impliziert jedoch auch Fehler, da vor allem die hydrometeorologischen Eingangsdaten aufgrund der Stationsdichte und der erreichbaren Genauigkeit in der Interpolation maximal in einer Auflösung von $1 \times 1 \text{ km}^2$ bereitgestellt werden, z. B. die regionalisierten Niederschläge (REGNIE) des Deutschen Wetterdienstes (DWD, 2020; RAUTHE et al., 2013). Der induzierte Fehler in der Bodenfeuchte durch die Regionalisierung des Niederschlags wird im Vergleich zur räumlichen Variabilität der nutzbaren Feldkapazität als gering und hinnehmbar eingeschätzt. Ein Fehler in der Größenordnung von Millimetern entspricht bei derselben Bodenart schon der Schwankung der nFK zwischen verschiedenen Lagerungsdichten (BUG et al., 2020). Hinzu kommt ein Fehler in der nFK durch die Übertragung punktuell aufgenommener Bodenprofile auf die Fläche im Zuge der Erstellung der Bodenkarten.

Die Modellierung der realen Evapotranspiration stellt eine zusätzliche Fehlerquelle dar. Das etablierte Modell AMBAV 2.0 (HERBST et al., 2021) berücksichtigt die komplexen Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre, Pflanze und Boden und bietet plausible Modellergebnisse für die potenzielle Evapotranspiration diverser Hauptkulturen. Die reale Evapotranspiration wird jedoch nur für die Bodenarten sandiger Lehm und lehmiger Sand bereitgestellt (DWD, 2019), weshalb hier zur Berechnung der realen Evapotranspiration auf einen Proportionalitätsfaktor in Abhängigkeit der Bodenfeuchte zurückgegriffen wurde. Zudem wurden pauschale Annahmen für forstlich genutzte Flächen getroffen, die u. a. in Abhängigkeit der genauen Bestandszusammensetzung und des Baumalters womöglich nicht auf allen Flächen zutreffend sind. Dies gilt auch für die Annahmen, dass die Ackerflächen mit einer Mischform aus Mais und Winterweizen parametrisiert werden und auf nicht landwirtschaftlich genutzten Moorflächen eine Grünlandverdunstung angesetzt wird. Die Ergebnisse der realen Evapotranspiration liegen jedoch insgesamt in einem plausiblen Bereich und folgen der allgemeinen Vorstellung einer abnehmenden Verdunstungsleistung in der Reihenfolge "Wald – Grünland – Acker". Die Herangehensweise bietet Raum für eine Weiterentwicklung zur präziseren Modellierung lokaler Auswirkungen von Dürreereignissen.

Darüber hinaus wurden Modellannahmen zum Oberflächenabfluss getroffen, der im Landkreis Cuxhaven vollständig vernachlässigt wird. Im südlichen Gebiet ist die Annahme womöglich nicht an jedem Ort zutreffend, da die Böden vereinzelt sehr feinkörnig sind und ein einsetzender Oberflächenabfluss nicht vollständig ausgeschlossen werden kann. Diese Teilbereiche besitzen jedoch nur eine geringe Ausdehnung, wie aus den modellierten Direktabflüssen des Modells mGROWA22 hervorgeht (LBEG, 2023). Zudem ist nach Einsetzen einer Abflussbildung auf dem folgenden Fließweg nach oberflächlicher Passage der geringdurchlässigen Bodenschichten mit einer anschließenden Versickerung in benachbarten Böden mit sandiger Ausprägung zu rechnen. Der Mehrwert der Modellvereinfachung im gesamten Landkreis ist deshalb wesentlich höher als der sehr lokal ausgeprägte Fehler durch diese Modellannahme.

Um die genannten Unsicherheiten und die Modellgüte in Bezug auf die Wasserhaushaltskomponenten einzuordnen, wurden Modellvergleiche mit zwei etablierten Wasserhaushaltsmodellen durchgeführt. Die Bodenfeuchte wurde exemplarisch für Gras auf lehmigem Sand mit AMBAV 2.0 (HERBST et al., 2021) und die Grundwasserneubildung eines Geeststandorts mit mGROWA22

(LBEG, 2022) abgeglichen. In beiden Fällen wurden gute Übereinstimmungen zwischen den Modellen erreicht (HYDOR, 2023). Vor dem Hintergrund des fortschreitenden Klimawandels ist mit einer Intensivierung der Gefährdungssituation in Hinblick auf Niedrigwasser und agrarische Dürren zu rechnen. Räumlich und zeitlich hochaufgelöste, flächenspezifische Instrumente zum Monitoring von Dürre und Trockenheit stellen daher zukünftig wichtige Informations- und Entscheidungsgrundlagen für die Akteure der landwirtschaftlichen und naturschutzfachlichen Praxis sowie der Verwaltungen dar. Der hier dargestellte Ansatz liefert eine auf die Bedürfnisse der Praxis angepasste Dürremodellierung als Grundlage für ein zukünftiges Dürreerisikomanagement und bietet Raum für spezifische Weiterentwicklungen.

Discussion & Conclusions

In this study, drought modeling was carried out in the Cuxhaven district at a spatial resolution of $100 \times 100 \text{ m}^2$. Compared to the German Drought Monitor (MARX et al., 2016; ZINK et al., 2016), which has a resolution of $4 \times 4 \text{ km}^2$, the course of the drought in 2018 could be tracked spatially in a more differentiated manner and differences between geest and bog areas could be recognized. The results allow generalized conclusions to be drawn about the drought hazard of different land use groups in Northern Germany. It was possible to work out that locations with high soil water storage capacity (e.g. bog areas with high thicknesses of peat layers) and low soil water storage capacity (e.g. heathlands in the geest areas) react very differently to long periods of pronounced dryness or drought. With regard to the relative soil moisture, soils with a high water storage capacity show a time-shifted reaction to dry weather conditions compared to soils with a low water storage capacity, i.e. the duration of the drainage is longer. This time-shift also occurs when the soil water body is subsequently filled after the peak of the drought, i.e. the soils with a high water storage capacity remain in a state of drought longer than the soils with a low water storage capacity. As a result, the drought condition occurs more frequently, but for a shorter period of time in soils with low water storage capacity, while it occurs less frequently, but for a longer period in soils with high water storage capacity. Higher occurrence of droughts in sandy soils compared to clay soils at similar climate conditions is confirmed by soil moisture measurements of YU et al. (2023).

The effective root zone of the soils reveals a connection to the groundwater surface at average groundwater levels on about 41 % of the district area, representing the conditions of the lowlands and the low-lying parts of the marsh areas. A decoupling of the effective root zone from the groundwater surface at low groundwater levels (September 2019) was only observed very locally, e.g. in the area of the "Dorumer Moor" and the margins of the geest areas. In total, around 4 % of the groundwater-connected areas are decoupled, when the groundwater level is low (31 km^2). It can be concluded that the minimum water supply for the vegetation was largely covered and the decoupling from the groundwater surface was only a local problem in the low-water situations since 2018. One reason for this is the local water management, which is carried out by the pumping stations in the lowlands and marsh areas, that regulates the groundwater levels. By reducing drainage, groundwater fluctuations can be compensated during periods of drought. Methodologically, it can be concluded that the consideration of groundwater surface

information (depth to groundwater) in areas with soils under strong influence of groundwater, as they often occur in Northern Germany, is essential for modeling the hazards and risks of drought because near-surface groundwater is important for the water supply of soil and vegetation in large parts of the Cuxhaven district.

The maximum duration of a drought and the decoupling of the groundwater surface from the effective root zone at low groundwater levels are proposed as suitable parameters for describing the risk of drought in the cultivated landscape for soils with and without groundwater connections. The advantage of these parameters is that their meaning, as well as their numerical values, are easy to understand for the general public, in contrast to composite indices. The disadvantage of the maximum drought duration is the limited information about the drought intensity. ZINK et al. (2016) use it as a spatio-temporal integral of the negative deviations from an SMI = 0.2 (onset of drought) to describe the magnitudes of drought events in Germany. The result is an abstract numerical value, that is not easy to interpret, but it complements information on the drought condition in addition to the sole duration of the drought.

The knowledge gained is based on the choice of a spatially high resolution of 100 x 100 m² for the soil moisture modeling. An increased resolution of the German Drought Monitor (MARX et al., 2016; ZINK et al., 2016) of 1.2 x 1.2 km² instead of 4 x 4 km² has already been successfully tested by BOEING et al. (2022) using the digital soil map of Germany at a scale of 1 : 200,000 (BGR, 2020). The soil maps with a resolution of 1 : 50,000 held by the federal states offer possibilities of even higher target resolutions in the future to further encourage the practical use of this important information on drought. Simultaneously, BOEING et al. (2022) highlighted that not only reliable soil moisture models are necessary, but also soil moisture measurements with high coverage for a sustainable, nationwide drought information system.

The choice of the high resolution implies errors, since the hydro-meteorological input data in particular are provided in a maximum resolution of 1 x 1 km² due to the station density and the achievable accuracy in the interpolation, e.g. the interpolated precipitation (REGNIE) of the DWD (DWD, 2020; RAUTHE et al., 2013). However, the error in soil moisture induced by the interpolation is estimated to be small and acceptable compared to the spatial variability of the soil parameters.

The modeling of the real evapotranspiration is an additional source of error. The model AMBAV 2.0 (HERBST et al., 2021) takes into account the complex interactions between atmosphere, plant and soil and offers plausible model results for the potential evapotranspiration of various crops. However, the real evapotranspiration is only provided for the soil types sandy loam and loamy sand (DWD, 2019), which is why a proportionality factor depending on the soil moisture was used to calculate the real evapotranspiration in this study. In addition, general assumptions were made for forest, which may not apply to all areas depending on the exact composition of the type and age of the trees. This also applies to the assumptions that arable land is parameterized with a mixed form of maize and winter wheat and that grassland evaporation is assumed on natural bog areas without agricultural use. The results of the real evapotranspiration are within a plausible range and follow the general idea of a decreasing evaporation

rate in the order "forest – grassland – crops". However, the approach also offers possibilities for further development towards more precise modeling of local effects of drought events.

In addition, model assumptions were made on surface runoff, which was completely neglected in the Cuxhaven district. In the southern part, the assumption may not be correct for all the model cells, since some of the soils are very fine-grained and surface runoff cannot be completely ruled out. However, these sub-areas only have a small extent, as can be seen from the modelled direct runoff of the mGROWA22 model (LBEG, 2023). Assuming a runoff generation on these areas, after passing the low-permeability soil layers surficially, a subsequent seepage into neighboring sandy soils can be assumed. The major advantage of the model simplification in the entire district is therefore significantly higher than the locally pronounced error caused by it.

In order to assess uncertainty and model quality in relation to the water balance components, model comparisons were carried out with two established water balance models. The soil moisture was compared for grass on loamy sand with the model AMBAV 2.0 (HERBST et al., 2021) and the groundwater recharge at a geest site with the model mGROWA22 (LBEG, 2022). In both cases, good agreement between the models was achieved (HYDOR, 2023).

Against the background of the ongoing climate change, an intensification of the hazard situation with regard to low-water and agricultural droughts is expected. Spatially and temporally high-resolution, area-specific tools for monitoring drought and dryness will therefore provide important information and decision-making bases for the stakeholders in agricultural and nature conservation practice as well as for administrations in the future. This study presents a drought modeling approach adapted to the needs of the local practitioners as a basis for future drought risk management and leaves space for further development.

Datenverfügbarkeit

Die Modellierung basiert auf frei verfügbaren Daten des Climate Data Center des Deutschen Wetterdienstes (DWD) (www.dwd.de/DE/klimaumwelt/cdc/cdc_node.html) und frei verfügbaren Daten von Landesbehörden (LBEG, NLWKN, LGLN, WSA), die auf Anfrage übermittelt werden. Darüber hinaus wurden Daten von Wasser- und Bodenverbänden bzw. Unterhaltungsverbänden und kommunalen Wasserversorgungsunternehmen verwendet, die nicht frei verfügbar sind.

Über den Vulnerabilitätskartendienst des Landkreises Cuxhaven sind die Forschungsergebnisse für Forschende und die breite Öffentlichkeit einsehbar: www.landkreis-cuxhaven.de/redirect.phtml?extlink=1&La=1&url_fid=3189.1822.1 (zuletzt aufgerufen am 22. Januar 2024).

Anschriften der Verfasser

Alexander Strom
Freiberuflicher Hydrogeologe, Berlin
alexander@strom-hydro.de

Jenny Kröcher
Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V.
Eberswalder Straße 84, 15374 Müncheberg
jenny.kroecker@zalf.de

Stephan Hannappel
Philipp Wolke
HYDOR Consult GmbH
Am Borsigturm 31, 13507 Berlin
hannappel@hydor.de
wolke@hydor.de

Christian Fokuhl
Landkreis Cuxhaven
Einrichtung 06 - GIS-Service
Vincent-Lübeck-Straße 2, 27470 Cuxhaven
c.fokuhl@landkreis-cuxhaven.de

Literaturverzeichnis

- ARNOLD, J.G., R. SRINIVASAN, R. MUTTIAH, J. WILLIAMS (1998): Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development, *J. Am. Water Resour. Ass.* 34(1), 73-89.
- ARNOLD, J.G., D.N. MORIASI, P.W. GASSMANN, K.C. ABBASPOUR, M.J. WHITE, R. SRINIVASAN, C. SANTHI, R.D. HARMEL, A. VAN GRIENSVEN, M.W. VAN LIEW, N. KANNAN, M.K. JHA (2012): SWAT: model use, calibration and validation, *Trans. ASABE* 55(4), 1491-1508.
- BGR (2020): Bodenübersichtskarte 1 : 200.000 (BÜK 200), Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Informationsgrundlagen/Bodenkundliche_Karten_Datenbanken/BUK200/buek200_node.html (zuletzt aufgerufen am 31. August 2023).
- BKG (2023): Dürreatlas, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, <https://tigris.bkg.bund.de/duerreatlas/> (zuletzt aufgerufen am 31. August 2023).
- BOEING, F., O. RAKOVEC, R. KUMAR, L. SAMANIEGO, M. SCHRÖN, A. HILDEBRANDT, C. REBMAN, S. THOBER, S. MÜLLER, S. ZACHARIAS, H. BOGENA, K. SCHNEIDER, R. KIESE, S. ATTINGER, A. MARX (2022): High-resolution drought simulations and comparison to soil moisture observations in Germany, *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 26, 5137-5161. DOI: 10.5194/hess-26-5137-2022.
- BUG, J., S. HEUMANN, U. MÜLLER, A. WALDECK (2020): Auswertungsmethoden im Bodenschutz. Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS), *GeoBerichte* 19, hrsg. v. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover.
- CAMMALLERI, C., C. ARIAS-MUÑOZ, P. BARBOSA, A. DE JAGER, D. MAGNI, D. MASANTE, M. MAZZESCHI, N. MCCORMICK, G. NAUMANN, J. SPINONI, J. VOGT (2021): A revision of the Combined Drought Indicator (CDI) used in the European Drought Observatory (EDO), *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 21(2), 481-495. DOI: 10.5194/nhess-21-481-2021.
- DIN 4220 (2008): Bodenkundliche Standortbeurteilung - Kennzeichnung, Klassifizierung und Ableitung von Bodenkennwerten (normative und nominale Skalierungen), Ausg. 2008-11, hrsg. v. Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth-Verlag, Berlin, DOI: 10.31030/3181018.
- DWD (2019): Berechnete tägliche Werte von charakteristischen Elementen aus dem Boden und dem Pflanzenbestand, Version v19.3, Deutscher Wetterdienst Climate Data Center, https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/derived_germany/soil/daily/historical/BESCHREIBUNG_derivgermany_soil_daily_historical_de.pdf (zuletzt aufgerufen am 31. August 2023).
- DWD (2020): REGNIE (REGionalisierte NIEederschläge) – Verfahrensbeschreibung & Nutzeranleitung, Interner Bericht, Deutscher Wetterdienst, Offenbach.
- DWD (2021): Historische tägliche Stationsbeobachtungen (Temperatur, Druck, Niederschlag, Sonnenscheindauer, etc.) für Deutschland, Version v21.3, Deutscher Wetterdienst Climate Data Center, https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/climate/daily/kl/historical/BESCHREIBUNG_obsgermany_climate_daily_kl_historical_de.pdf (zuletzt aufgerufen am 31. August 2023).
- ERTL, G., J. BUG, J. ELBRACHT, N. ENGEL, F. HERRMANN (2019): Grundwasserneubildung von Niedersachsen und Bremen – Berechnungen mit dem Wasserhaushaltsmodell mGROWA18, *GeoBerichte* 36, hrsg. v. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen, Hannover.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (2023): European Drought Observatory (EDO), Europäische Kommission, <https://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1111> (zuletzt aufgerufen am 31. August 2023).
- FELIX, M.L., K. JUNG (2022): Impacts of Spatial Interpolation Methods on Daily Streamflow Predictions with SWAT, *Water* 14(20), 3340. DOI: 10.3390/w14203340.
- GRÄLER, B., E.J. PEBESMA, G. HEUVELINK (2016): Spatio-Temporal Interpolation using gstat, *The R Journal* 8(1), 204-218, <https://journal.r-project.org/archive/2016/RJ-2016-014/index.html> (zuletzt aufgerufen am 31. August 2023).
- HADELNER DEICH- UND GEWÄSSERVERBAND (2023): Telefongespräch am 29.03.2023.
- HERBST, M., E. FALGE, C. FRÜHAUF (2021): Regionale Klimamodellierung – Perspektive Landwirtschaft, In: Regionale Klimamodellierung II – Anwendungen, hrsg. v. Deutscher Wetterdienst, promet 104, 55-62.
- HYDOR (2021): Emslandplan 2.0: Nachhaltiges Wassermengenmanagement in die Fläche bringen, Abschlussbericht der HYDOR Consult GmbH, https://www.emsland.de/pdf_files/klima-und-umwelt/emslanplan-2-0-hydor-2021_4970_1.pdf (zuletzt aufgerufen am 31. August 2023).
- HYDOR (2023): Vulnerabilitätskartendienst – Modellierung der Gefahren durch Trockenheit und Dürre im Landkreis Cuxhaven, Abschlussbericht der HYDOR Consult GmbH, https://cuxland-gis.landkreis-cuxhaven.de/gisdata/vulnerabilitaet_trockenheit_duerre/HYDOR-Consult_Vulnerabilitaet-Trockenheit-Duerre_Landkreis-Cuxhaven_Abschlussbericht_2023_09_19 (zuletzt aufgerufen am 22. Januar 2024).
- KLEIN, M. (2000): Langjähriger Wasserhaushalt von Gras- und Waldbeständen – Entwicklung, Kalibrierung und Anwendung des Modells LYFE am Großlysimeter St. Arnold, Dissertation am Institut für Umweltsystemforschung der Universität Osnabrück.
- KRÖCHER, J., A. STROM, S. HANNAPPEL (2023): Wirkungsbetrachtung einer grundwasserangepassten Entwässerungsinfrastruktur in einem landwirtschaftlich geprägten Tieflandeinzugsgebiet in Nordwestdeutschland, *Grundwasser – Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie* 28, 135-146, <https://doi.org/10.1007/s00767-023-00544-7>.
- LBEG (2007): GK 50 – Geologische Karte 1:50.000, Niedersächsisches Bodeninformationssystem NIBIS®, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover, <http://nibis.lbeg.de/cardomap3/> (zuletzt aufgerufen am 25. August 2023).
- LBEG (2017): BK 50 – Bodenkarte von Niedersachsen 1 : 50.000, Kartenserver des Niedersächsischen Bodeninformationssystems NIBIS®, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover, <http://nibis.lbeg.de/cardomap3/> (zuletzt aufgerufen am 25. August 2023).
- LBEG (2022): Mittlere jährliche Grundwasserneubildung 1991 – 2020 (Methode mGROWA22), Kartenserver des Niedersächsischen Bodeninformationssystems NIBIS®, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover, <http://nibis.lbeg.de/cardomap3/> (zuletzt aufgerufen am 25. August 2023).
- LBEG (2023): Direktabfluss (Methode mGROWA22), Kartenserver des Niedersächsischen Bodeninformationssystems NIBIS®, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover, <http://nibis.lbeg.de/cardomap3/> (zuletzt aufgerufen am 25. August 2023).
- LGLN (2024): Digitales Landschaftsmodell (Basis-DLM), Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen, https://www.lgln.niedersachsen.de/startseite/geodaten_karten/topographische_geodaten_aus_atkis/dlm/digitale-landschaftsmodelle-dlm-atkis-144141.html (zuletzt aufgerufen am 9. Januar 2024).

- LK CUXHAVEN (2000): Landschaftsrahmenplan für den Landkreis Cuxhaven – Endfassung 2000, hrsg. v. Landkreis Cuxhaven.
- LÖPMEIER, F.-J. (1994): Berechnung der Bodenfeuchte und Verdunstung mittels agrarmeteorologischer Modelle. *Z. Bewässerungswirtsch.* 29(2). 157-167.
- MANN, M.E., S. RAHMSTORF, K. KORNUBER, B.A. STEINMAN, S.K. MILLER, S. PETRI, D. COUMOU (2018): Projected changes in persistent extreme summer weather events: The role of quasi-resonant amplification, *Science Advances* 4(10), DOI: 10.1126/sciadv.aat3272.
- MARX, A., L. SAMANIEGO, R. KUMAR, S. THOBER, J. MAI, M. ZINK (2016): Der Dürremonitor – Aktuelle Information zur Bodenfeuchte in Deutschland, Konferenzbeitrag zum Tag der Hydrologie am 17./18. März 2016 in Koblenz.
- MUEBK (2019): Klimawirkungsstudie Niedersachsen – Wissenschaftlicher Hintergrundbericht, hrsg. v. Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz, Hannover.
- MÜLLER, J. (2005): 30 Jahre forsthydrologische Forschung auf der Großlysimeteranlage in Britz – Zielstellung und Ergebnisse, Konferenzbeitrag auf der 11. Gumpensteiner Lysimetertagung am 5. und 6. April 2005.
- NLWKN (2019): Globaler Klimawandel – Wasserwirtschaftliche Folgenabschätzung für das Binnenland – Gesamtbericht des Projektes KliBiW – Themenbereich Niedrigwasser, hrsg. v. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, NLWKN-Schriftenreihe Grundwasser, Bd. 42, Norden.
- NLWKN (2020): Grundwasserbericht Niedersachsen – Sonderausgabe zur Grundwasserstandssituation in den Trockenjahren 2018 und 2019, hrsg. v. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, NLWKN-Schriftenreihe Grundwasser, Bd. 41, Norden.
- NLWKN (2021): Globaler Klimawandel – Wasserwirtschaftliche Folgenabschätzung für das Binnenland – Abschlussbericht des Projektes KliBiW Phase 6 – Vertiefende Hochwasseranalysen, hrsg. v. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, NLWKN-Schriftenreihe Oberirdische Gewässer, Bd. 45, Norden.
- NLWKN (2022): Grundwasserbericht Niedersachsen – Grundwasserbericht Niedersachsen – Sonderausgabe zur Grundwasserstandsentwicklung im Jahr 2021, hrsg. v. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, NLWKN-Schriftenreihe Grundwasser, Bd. 54, Norden.
- PEBESMA E.J. (2004): Multivariable geostatistics in S: the gstat package. In: *Computers & Geosciences* (30), S. 683-691.
- RAUTHE, M., H. STEINER, U. RIEDIGER, A. MAZURKIEWICZ, A. GRATZKI, (2013): A Central European precipitation climatology – Part I: Generation and validation of a high-resolution gridded daily data set (HYRAS), 22(3), 235-256. DOI:10.1127/0941-2948/2013/0436.
- SAMANIEGO, L., R. KUMAR, S. ATTINGER (2010): Multiscale parameter regionalization of a grid-based hydrologic model at the mesoscale, *Water Resources Research* 46. DOI: 10.1029/2008WR007327.
- SAMANIEGO, L., R. KUMAR, M. ZINK (2013). Implications of Parameter Uncertainty on Soil Moisture Drought Analysis in Germany, *Journal of Hydrometeorology*, 14(1), 47-68. DOI: 10.1175/JHM-D-12-075.1.
- SCHEIHING, K. (2019): Klimawandel in Niedersachsen und mögliche Folgen für die Grundwasserbewirtschaftung: ein Review, *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 63, 85-97. DOI: 10.5675/HyWa_2019.2_2
- STROM, A., J. KRÖCHER, P. WOLKE, S. HANNAPPEL, C. FOKUHL (in Veröffentlichung): Dürreerisikokarten als Instrument für ein lokales Dürreerisikomanagement in der Kulturlandschaft am Fallbeispiel des Landkreises Cuxhaven, KW Korrespondenz Wasserwirtschaft, hrsg. v. DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef.
- SVOBODA, M., D. LECOMTE, M. HAYES, R. HEIM, K. GLEASON, J. ANGEL, B. RIPPEY, R. TINKER, M. PALECKI, D. STOOKSBURY, D. MISKUS, S. STEPHENS (2002): The drought monitor. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83 (8), 1181-1190, https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/83/8/1520-0477-83_8_1181.xml (zuletzt aufgerufen am 25. August 2023).
- THOBER, S., A. MARX., F. BOEING (2018): Auswirkungen der globalen Erwärmung auf hydrologische und agrarische Dürren und Hochwasser in Deutschland, Ergebnisse aus dem Projekt HOKLIM: Hochaufgelöste Klimaindikatoren bei einer Erderwärmung von 1.5 Grad, hrsg. v. Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ, Leipzig.
- UETRECHT, R.M., A.C. ELMORE, J.D. GUGGENBERGER, Z.D. HELWIG (2019): Practical considerations for kriging groundwater surfaces, *Remediation* 29(4), 83-91. DOI: 10.1002/rem.21615.
- UFZ (2024): Entwicklung der Trockenheit im Jahr 2018, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ, <https://www.ufz.de/index.php?de=40990> (zuletzt aufgerufen am 22. Januar 2024).
- UDATA (2015): Wasserhaushaltssimulationen, Versickerungstabellen und Versickerungskarten – Projekt: "Wasserwald im Privatwald der östlichen Lüneburger Heide in Niedersachsen" – Abschlussbericht, UDATA – Umweltschutz und Datenanalyse.
- VIRTANEN, P., R. GOMMERS, T.E. OLIPHANT, M. HABERLAND, T. REDDY, D. COURNAPEAU, E. BUROVSKI, P. PETERSON, W. WECKESSER, J. BRIGHT, S.J. VAN DER WALT, M. BRETT, J. WILSON, K.J. MILLMAN, N. MAYOROV, A.R.J. NELSON, E. JONES, R. KERN, E. LARSON, C.J. CAREY, I. POLAT, Y. FENG, E.W. MOORE, J. VANDERPLAS, D. LAXALDE, J. PERKTOLD, R. CIMRMAN, I. HENRIKSEN, E.A. QUINTERO, C.R. HARRIS, A.M. ARCHIBALD, A.H. RIBEIRO, F. PEDREGOSA, P. VAN MULBREGT, SCIPY 1.0 MITWIRKENDE (2020): SciPy 1.0: Fundamental Algorithms for Scientific Computing in Python, *Nature Methods*, 17(3), 261-272. DOI: 10.1038/s41592-019-0686-2.
- WESSOLEK, G, K. BOHNE, W. DUIJNISVELD, S. TRINKS (2011): Development of hydro-pedotransfer functions to predict capillary rise and actual evapotranspiration for grassland sites, *Journal of Hydrology* 400(3-4), 429-437. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2011.01.059.
- WWA (2018): Heatwave in northern Europe – summer 2018, World Weather Attribution, <https://www.worldweatherattribution.org/attribution-of-the-2018-heat-in-northern-europe/> (zuletzt aufgerufen am 31. August 2023).
- YU, M., J. ZHANG, L. WEI, G. WANG, W. DONG, X. LIU (2023): Impact of soil textures on agricultural drought evolution and field capacity estimation in humid regions, *Journal of Hydrology*, 626(Part A), 130257. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2023.130257.
- ZIMMERMANN, L., S. SASPE, C. SCHULZ, W. GRIMMEISEN, W. (2008): Wasserverbrauch von Wäldern – Bäume und Bestände verdunsten unterschiedlich stark, LWF aktuell 66/2008.
- ZINK, M., L. SAMANIEGO, R. KUMAR, S. THOBER, J. MAI, D. SCHÄFER, A. MARX (2016): The German drought monitor, *Environ. Res. Lett.* 11. DOI: 10.1088/1748-9326/11/7/074002.

Aktuelles

Wie wirkt Landwirtschaft auf Gewässer? – Europaweite Studie

Die Landwirtschaft sichert die Ernährung der Gesellschaft und ist ein wichtiger Wirtschaftsfaktor. Sie hinterlässt aber auch Spuren in der Umwelt, z. B. in Böden, im Grundwasser oder in der Biodiversität. Ein internationales Forschungsteam unter Leitung der Universität Duisburg-Essen hat hierzu nun untersucht, wie sich in Europa unterschiedliche landwirtschaftliche Nutzungsformen und Intensitäten auf den ökologischen Zustand von Fließgewässern auswirken.

Noch nicht einmal 10 % der Fließgewässer in Deutschland befinden sich in einem guten, naturnahen Zustand; europaweit sind es nur rd. 40 %. Die Landwirtschaft als eine der größten Flächennutzerin gilt möglicherweise als mitverantwortlich für diese Situation.

Um dies zu beantworten, analysierte ein Wissenschaftlerteam der Universität Duisburg-Essen (UDE) für 27 europäische Länder Daten zur landwirtschaftlichen Nutzung. Diese setzte es in Zusammenhang mit Daten zum ökologischen Zustand der dortigen Fließgewässer – darunter waren Bäche, aber auch große Flüsse wie Ruhr, Rhein oder Schelde.

Als eines der Ergebnisse stellte sich heraus, dass die Art der Landwirtschaft mitentscheidend für den Zustand der Gewässer ist. Am stärksten wirkt sich die Intensivlandwirtschaft auf die Gewässersysteme aus. Dazu zählt der Bewässerungsfeldbau, wie er in Südeuropa beispielsweise in Spanien, Portugal und Italien betrieben wird, und der intensive Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und Dünger auf Flächen in Westeuropa. Das ist vor allem in Frankreich, den Niederlanden, in Belgien, in Deutschland oder auch in Großbritannien verbreitet. Durch die intensive Bewirtschaftung können Nitrate, Pflanzenschutzmittel und andere Stoffe in den Gewässern landen. Zudem werden Auen zu Ackerland umgewandelt, Flüsse begradigt oder in Südeuropa zur Bewässerung von Feldern genutzt. Das bedroht bzw. zerstört zudem wichtigen Lebensraum für Pflanzen und Tiere.

Anders verhält es sich mit weniger intensiven Landwirtschaftsformen: Laut Studie wirken sie sich kaum bis gar nicht auf den ökologischen Zustand aus. Denn die Anbauflächen sind kleinteilig, Düngemittel und Pflanzenschutzmittel werden sparsamer eingesetzt, und es werden Hecken und Blühstreifen für mehr Biodiversität angelegt. Die Ergebnisse unterstreichen, dass der Wandel hin zu nachhaltigeren Landwirtschaftsformen, wie dem ökologischen Landbau, gut für die Gewässer ist. Gewässerschutz und Landwirtschaft sollten, so die Forscher, Hand in Hand gehen können. Dies sollte die EU auch durch einen Umbau der Agrarförderung unterstützen, damit Umweltleistungen der Landwirtschaft stärker honoriert werden.

Fachartikel:

Schürings, C., Globevnik, L., Lemm, J.U., Psomas, A., Snoj, L., Hering, D., Birk, S. (2024): River ecological status is shaped by agricultural land use intensity across Europe. *Water Research*, Vol. 251. DOI:

Weitere Informationen:

Fachbereich "Aquatische Ökologie", Universität Duisburg-Essen
https://www.uni-due.de/aquatische_oekologie/

(aus: Pressemitteilung Universität Duisburg-Essen
 vom 25. Januar 2024)

Großprojekt zum Schutz der Moore in Österreich

Zum Schutz und zur Renaturierung der Moore in Österreich startet jetzt das Projekt "LIFE AMooRe – Austrian Moor Restoration". Es hat zum Ziel, die Moorstrategie Österreich 2030+ umzusetzen. Dafür erhalten die 13 Projektpartner insgesamt 44 Mio. € für eine Dauer von 10 Jahren von der Europäischen Union und dem Land Österreich. Einziger ausländischer Projektpartner ist die Forschungsgruppe Angewandte Ökologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU). Die dortige Arbeitsgruppe forscht schon seit 8 Jahren in der sehr moorreichen Region des Kleinwalsertals im Nordwesten der österreichischen Alpen. Die Aufgabe innerhalb des LIFE-Projekts wird sein, die Böden und den Wasserhaushalt von fünf Moorengebieten zu erkunden und die Entwicklungsmöglichkeiten der Moore abzuschätzen.

Moore sind wahre Alleskönner in den Bereichen Klima, Wasser und Natur: Sie speichern große Mengen an Kohlenstoff und sind damit Klimaschützer. Sie können enorme Mengen Wasser aufnehmen und dadurch Hochwässer abmildern. Sie tragen zur Filterung und Reinigung des Wassers sowie zur Anreicherung des Grundwassers bei und sind wertvolle Lebensräume für gefährdete Tier- und Pflanzenarten.

Der Zustand der Moore in Österreich wie in Deutschland ist allerdings kritisch. Laut einer Studie des Umweltbundesamts in Österreich weisen mehr als 90 % der österreichischen Moore einen Sanierungsbedarf auf. Vor diesem Hintergrund wurde das LIFE-Projekt "AMooRe" konzipiert. Beteiligt sind alle neun Bundesländer Österreichs, das Klimaschutzministerium und das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft sowie die Uni Wien und die Uni Kiel. In insgesamt 13 Arbeitspaketen geht es um die Umsetzung von Renaturierungsprojekten, den Aufbau von Wissen, Sensibilisierungsmaßnahmen und den intensiven Austausch mit allen relevanten Stakeholdern in allen Fachbereichen wie Naturschutz, Land- und Forstwirtschaft, Wasserwirtschaft, Klimapolitik sowie Raumplanung und Tourismus.

Die Renaturierung ist insbesondere aus Klimaschutzgründen relevant. Denn wenn Moore entwässert werden, setzen sie stetig Treibhausgase (CO₂, Lachgas) frei, und sie können ihrer Funktion als Wasserspeicher nicht mehr nachkommen. Intakte Moore sind extrem wichtig – sie sind in der Lage, mehr Kohlenstoff als jedes andere Ökosystem der Welt zu speichern. Werden sie aber entwässert, kommt es zur Freisetzung großer Mengen klimaschädlicher Gase. Eine Wiedervernässung hilft, dass die Treibhausgasfreisetzung gestoppt wird und die Moorflächen ihre Funktion als Wasser- und Kohlenstoffspeicher wiederaufnehmen können.

Wie wichtig diese Maßnahmen sind, zeigt auch eine aktuelle Publikation des Kieler Instituts zur Klimabilanz der Moore Schles-

wig-Holsteins: Die dargelegten Kalkulationen besagen, dass die Moore in Schleswig-Holstein aufgrund ihres schlechten Zustands insgesamt zu 16 % an den gesamten Treibhausgasen von Schleswig-Holstein beteiligt sind.

Innerhalb des Österreichischen Moorprojekts kümmern sich die Kieler Forscher primär um die Moorböden und deren Entwicklung insbesondere hinsichtlich des Wassermanagements. Durch die Entwässerung verändert sich die Struktur der Moorböden, die sogenannte Torfmatrix. Die Struktur ist teilweise unwiederbringlich verändert. Die Wissenschaftler erfassen die aktuelle Situation der Moorböden. Dabei sind unterschiedliche Stufen der Degradierung feststellbar. Diese Veränderungen zeigen an, wie gut sich die Torfmatrix wieder erholt, wie quelfähig die Substanz ist, wenn man die Wasserstände anhebt.

"LIFE AMooRe – Austrian Moor Restoration" – ist ein strategisches Projekt zur Umsetzung der Moorstrategie Österreich 2030+ im EU-Förderprogramm LIFE, Teilprogramm Natur und Biodiversität. Für eine Projektdauer von 10 Jahren werden rund 44 Mio. € für den Moorschutz bereitgestellt. Das Projekt soll gemeinsam mit allen direkt und indirekt Betroffenen die entscheidenden Mechanismen auf Basis von Good-Practice-Maßnahmen entwickeln. Außerdem werden die notwendigen Grundlagen sowie Handlungs- und Entscheidungsmechanismen für die weitere Umsetzung nach Projektende bis zum Jahr 2050 erarbeitet. Die Leitung von AMooRe liegt beim Land Vorarlberg, Abteilung Umwelt- und Klimaschutz.

Projektpartner sind: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft, Klimaschutzministerium, Naturschutzabteilungen der Länder Vorarlberg, Oberösterreich, Niederösterreich, Tirol, Steiermark und Salzburg, Universität Wien, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel sowie drei assoziierte Partner (Länder Wien, Burgenland und Kärnten)

LIFE ist das EU-Programm zur Unterstützung von Umwelt- und Klimaschutzmaßnahmen. LIFE-Projekte sollen zur Umsetzung, Aktualisierung und Entwicklung der EU-Umwelt- und Klimapolitik und der entsprechenden Gesetzgebung beitragen. Der Fokus liegt auf der Implementierung und Weiterentwicklung der Umweltpolitik und auf konkreten Beiträgen zu den Zielen der EU-Umweltpolitik.

Fachartikel:

Martens, T., Trepel, M., Schrautzer, J. (2024): Bedeutung der Moorböden und weiterer kohlenstoffreicher Böden für den Natur- und Klimaschutz in Schleswig-Holstein. Natur und Landschaft 1/2024. DOI: 10.19217/NuL2024-01-01

Weitere Informationen:

Institut für Ökosystemforschung, CAU, Universität Kiel
<https://www.ecosystems.uni-kiel.de/de/institut-fuer-oekosystemforschung>

LIFE – Das EU-Finanzierungsinstrument für die Umwelt
<https://www.bmu.de/themen/europa/life>

(aus: Pressemitteilung Universität Kiel vom 7. Februar 2024)

Nordseesturmfluten im Klimawandel

Durch den Meeresspiegelanstieg sind Nordseesturmfluten in den letzten Jahrzehnten häufiger und höher geworden. Da sich schon heute die Herausforderungen und Grenzen bisheriger Küstenschutzmaßnahmen abzeichnen, gibt es Handlungsbedarf. Hereon-Küstenforscher haben hierzu die wissenschaftlichen Grundlagen für sinnvolle Handlungsoptionen zusammengefasst und in einer erschienenen Broschüre "Nordseesturmfluten im Klimawandel – Perspektiven der Küstenentwicklung" dargestellt. Die Druckschrift richtet sich sowohl an Politik und Planung, als auch an die Küstenbewohnerinnen und Bewohner und andere Akteure mit Bezug zur Küste.

Nordseesturmfluten sind charakteristische Erscheinungen an der Nordseeküste. Für die Küstenbewohner waren sie schon immer gefährlich – auch ohne Klimawandel. Seit mehr als tausend Jahren schützen sie sich vor den hohen Wasserständen. Der Wohlstand der Region, aber auch viele ihrer Herausforderungen stehen in engem Zusammenhang mit den Küstenschutzmaßnahmen der Vergangenheit: So muss seit Beginn der flächenhaften Eindeichung das so geschützte Marschland fortlaufend entwässert werden, um es zu bewirtschaften. Zudem nimmt der Höhenunterschied zwischen den tiefliegenden Marschen und dem Deichvorland immer weiter zu. Dadurch hat sich die Überflutungsgefahr verstärkt und das Grundwasser versalzt immer mehr.

Nachdem der Küstenschutz an der Nordseeküste vor allem in den letzten Jahrzehnten immer stärker ausgebaut worden ist, wählten sich viele Küstenbewohner in Sicherheit. Doch angesichts des Klimawandels tritt immer häufiger die Frage auf, worauf man sich zukünftig einstellen muss. Abgesehen von der zunehmenden Belastung der Küstenschutzbauwerke und der verstärkten Erosion des Deichvorlandes, werden sich auch landeinwärts die Herausforderungen mehren. So ist durch den Klimawandel künftig sowohl mit höheren Nordseewasserständen, als auch mit mehr Winterniederschlag zu rechnen. Dem dadurch erhöhten Entwässerungsbedarf stehen aufgrund des Meeresspiegelanstiegs geringere Sichelzeiten gegenüber, in denen das Wasser durch das natürliche Gefälle in die Nordsee entwässert werden kann.

Durch den Klimawandel ist der Meeresspiegel im vergangenen Jahrhundert weltweit etwa 20 cm angestiegen. Dieser Anstieg lässt sich auch an den Nordsee-Pegeln nachweisen. Dadurch gibt es mehr Sturmfluten an der Nordseeküste und sie treten häufiger ein und laufen höher auf als noch vor einigen Jahrzehnten. Bei anhaltend starkem Treibhausgasausstoß könnten schwere Nordseesturmfluten bis zum Jahr 2100 etwa bis 1,50 m höher auflaufen als heute. Doch selbst wenn es gelingt, die ehrgeizigen Klimaschutzziele zu erreichen und künftige Treibhausgasemissionen drastisch zu senken, kann der Meeresspiegel an der Nordseeküste in diesem Zeitraum 30 bis 75 cm ansteigen. Deshalb ist davon auszugehen, so die Hereon-Forscher, dass sich das Sturmflutgeschehen an der deutschen Nordseeküste künftig weiter verstärken wird.

Die Ereignisse im Herbst 2023 haben gezeigt, wie sehr sich die Hochwassersituation in ganz Norddeutschland zuspitzen kann, besonders, wenn viel Niederschlag auf eine aktive Sturmflut-Saison trifft. Solche ungünstigen Konstellationen können sich in

Zukunft durch den Klimawandel häufen. Im Sommer hingegen stelle die zunehmende Grundwasserversalzung die Landwirtschaft vor Herausforderungen, da das im Boden für Kulturpflanzen verfügbare Wasser wegen der erhöhten Verdunstung abnehme. Da der Meeresspiegel auch an der Nordseeküste über viele weitere Jahrhunderte weiter ansteigen wird und sich zum Teil schon heute die Grenzen bisheriger Küstenschutzmaßnahmen abzeichnen, ist es nötig, neben derzeitigen Planungen langfristig wirksamere Ansätze zu entwickeln.

Im Sinne einer nachhaltigen Küstenentwicklung können einzelne Politik- und Planungsbereiche daher nicht mehr getrennt voneinander betrachtet werden, sondern müssen miteinander verknüpft werden. Dies gilt beispielsweise für den Küstenschutz und die Entwässerung. Da diese Bereiche ursächlich zusammenhängen, müssen sie gemeinsam weiterentwickelt werden. Der Klimawandel verstärkt ihre Wechselwirkungen. Deshalb stellt sich die Frage, wo künftige Klimaanpassungsmaßnahmen ansetzen sollten.

Weitere Informationen:

Institut für Küstensysteme, Helmholtz-Zentrum Hereon
https://www.hereon.de/institutes/coastal_systems_analysis_modeling/index.php.de

Broschüre "Nordseesturmfluten im Klimawandel",
 Helmholtz-Zentrum Hereon
https://www.hereon.de/imperia/md/assets/main/transfer/communication_media/infomaterial/nordseesturmfluten_klimawandel.pdf

(aus: Pressemitteilung Helmholtz-Zentrum Hereon
 vom 12. Januar 2024)

Neues internationales Forschungsprojekt will Makroplastik in der Ostsee reduzieren

Plastik stellt eine zunehmende Bedrohung für die Ökosysteme der Ostsee dar. Jährlich gelangen zwischen 4 und 12 Millionen Tonnen Plastik in die Meere, während der Plastikverbrauch weiterhin steigt. Länderübergreifende Maßnahmen sind gefragt, um dieses globale Umweltproblem anzugehen. Gemeinsam mit dänischen, schwedischen und polnischen Partnern haben die Universität Rostock und das Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW) ein Forschungsprojekt gestartet, das die Vermeidung von Meeresplastik an seiner Ursprungsquelle bewirken will. Das Interreg-Projekt "Circular Ocean-bound Plastic" (COP) wird über einen Zeitraum von drei Jahren mit knapp 2,02 Mio. € gefördert.

Etwa 80 % des Plastiks in der Ostsee stammen aus landbasierten Quellen, einschließlich städtischer und ländlicher Aktivitäten wie Industrie, Tourismus, Essen im Freien und anderen Veranstaltungen in Ufernähe. Hier setzt das Projekt an, indem es in Zusammenarbeit mit Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Kommunen in der Küstenregion der südlichen Ostsee Lösungen entwickelt, um den Eintrag von Plastik über Flüsse in die Ostsee zu reduzieren. Ziel ist es, Plastik möglichst nahe an seiner Quelle aus dem Flusssystem zu entfernen und Möglichkeiten für die Wiederverwendung und das Recycling von Meeresplastik zu identifizieren.

Die Universität Rostock und das Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde arbeiten in diesem Verbundprojekt mit Partnern aus Dänemark, Schweden und Polen zusammen, um die wichtigsten Verschmutzungsquellen im Rostocker Stadtgebiet zu identifizieren. Auf dieser Grundlage werden Lösungen entwickelt, um das im Fluss befindliche Plastik effektiv zu sammeln und wiederzuverwerten. Basierend auf diesen Erkenntnissen werden zusätzlich Vermeidungsstrategien erarbeitet, die nicht nur im Untersuchungsgebiet Rostock, sondern auch in den weiteren beteiligten Städten Aarhus in Dänemark, Malmö in Schweden und Danzig in Polen anwendbar sind. Neben maßgeschneiderter Lösungen, die unmittelbar an der Quelle der Verschmutzung ansetzen, kommen zudem Geräte zum Einsatz, die den Müll aus dem Oberflächenwasser des Flusses entfernen. Das eingesammelte Plastik wird später hinsichtlich seiner mechanischen und chemischen Recyclingfähigkeit bewertet. Schließlich werden Best-Practice-Beispiele entwickelt, um effektiv Plastikmeeresmüll in Rostock und anderen Städten entlang der Ostsee zu vermeiden und einzusammeln.

CLEAN – Dänemarks Wasser- und Umwelt-Cluster – ist der federführende Partner bei der Kooperation mit dem Ocean Plastic Forum, dem Plast Center Denmark, dem schwedischen Sustainable Business Hub, dem Leibniz Institut für Ostseeforschung Warnemünde, der Universität Rostock, der University of Gdansk, der Gdansk Water Foundation und dem Gdansk Sports Center.

Weitere Informationen:

Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät,
 Universität Rostock
<https://www.auf.uni-rostock.de/>

Department "Maritime Systeme", Universität Rostock
<https://www.inf.uni-rostock.de/maritime-systeme/>

Interreg-Projekt "Circular Ocean-bound Plastic"
<https://circularoceanplastic.eu>

(aus: Pressemitteilung Universität Rostock vom 31. Januar 2024)

Neue Verordnung zur Sicherheit in Trinkwassereinzugsgebieten tritt in Kraft

Um sauberes Trinkwasser gewinnen zu können, hat das Bundesumweltministerium eine Verordnung auf den Weg gebracht, mit der Rohwasser, Grundwasser und Oberflächenwasser in Trinkwassereinzugsgebieten präventiv besser geschützt werden können. Hierzu legt die Trinkwassereinzugsgebieteverordnung (TrinkwEGV), die am 12. Januar 2024 in Kraft trat, fest, welche Anforderungen an die Bewertung und das Risikomanagement der Einzugsgebiete von Trinkwasserversorgungen gestellt werden. So sollen Belastungen, die zur Verunreinigung von Wasserkörpern führen können, denen Trinkwasser entnommen wird, vermieden, reduziert und besser beherrscht werden. Der Aufwand, der sonst im Bereich der Trinkwasseraufbereitung betrieben werden muss, wird dadurch verringert.

Wasser ist eine lebenswichtige Ressource. Damit auch in Zukunft Wasser für die Trinkwassergewinnung in hoher Qualität zur Verfügung steht, müssen die Wasserressourcen noch besser vor schädlichen Einflüssen geschützt werden. Mit der neuen Verordnung

werden deshalb künftig die Trinkwassereinzugsgebiete mit Blick auf mögliche Risiken für die Wasserbeschaffenheit bewertet und einem Risikomanagement unterzogen. Gefahren können damit frühzeitig erkannt werden und wir schaffen die Voraussetzungen für noch sichereres Wasser, wie es in der EU-Trinkwasserrichtlinie vorgesehen ist.

Um die menschliche Gesundheit vor den nachteiligen Einflüssen zu schützen, die sich aus der Verunreinigung von Trinkwasser ergeben können, wurde mit der EU-Trinkwasserrichtlinie ein risikobasierter Ansatz implementiert. Dieser basiert auf dem Vorsorgeprinzip und zielt darauf ab, dass in der Trinkwasserversorgung ein vorausschauendes und zielgenaues Qualitätsmanagement betrieben wird. Der risikobasierte Ansatz nach der EU-Trinkwasserrichtlinie betrifft die gesamte Versorgungskette: von den Wassereinzugsgebieten über die Gewinnung, die Aufbereitung, Speicherung und Verteilung des Trinkwassers bis hin zu den Trinkwasserinstallationen in Gebäuden. Die Trinkwassereinzugsgebiete sind zukünftig zu bewerten und einem Risikomanagement zu unterziehen, das an die jeweils vor Ort bestehenden Verhältnisse angepasst ist. So sollen frühzeitig potenzielle mikrobielle sowie chemische Risiken und Gefährdungen für die Trinkwassereinzugsgebiete erkannt werden, um darauf angemessen reagieren zu können.

Die neue Trinkwassereinzugsgebieteverordnung (TrinkwEGV) dient der Umsetzung insbesondere der Artikel 7 und 8 der EU-Trinkwasserrichtlinie. Die TrinkwEGV ergänzt damit die Vorschriften der Trinkwasserverordnung, in der der Schutz des Trinkwassers ab der Wassergewinnung durch den Versorger nach dem risikobasierten Ansatz für die Zukunft bereits geregelt ist.

Weitere Informationen:

Portal "Wasser und Binnengewässer", Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
<https://www.bmuv.de/themen/wasser-und-binnengewasser/ueberblick-wasser-und-binnengewasser>

(aus: Newsletter Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz vom 15. Januar 2024)

Naturnahe Ufergestaltung an Bundeswasserstraßen

Die Arbeiten zum Forschungsprojekt "Stadt am Blauen Band" wurden abgeschlossen und auf der Webseite des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) veröffentlicht. Die Forschenden zeigten an Beispielen einer integrierten Gewässer- und Stadtentwicklung, wie Kommunen Maßnahmen zur naturnahen Ufergestaltung von Flüssen und Kanälen planen und erfolgreich umsetzen. Die HafenCity Universität Hamburg hatte das Forschungsprojekt zusammen mit einem Büro für Landschaftsarchitektur in den Jahren 2022/23 bearbeitet. Auftraggeber waren das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) und das Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bau (BMWSB).

Bundeswasserstraßen bieten für die Entwicklung der an ihnen liegenden Städte und Siedlungsbereiche großes Potenzial. Deshalb wurde schon im Jahr 2017 das Bundesprogramm "Blaues Band Deutschland, BBD" gestartet, um ökologische Entwicklungen

von Flusslandschaften zu fördern. Bislang werden diese Maßnahmen jedoch vor allem außerhalb urbaner Räume realisiert. Dabei können auch diese oft stark verdichteten Stadträume entlang der Gewässer profitieren und die Maßnahmen zur Verbesserung von Umwelt- und Lebensqualitäten und Klimaanpassung beitragen.

Für Kommunen bietet die naturnahe Ufergestaltung von Flüssen und Kanälen große Potenziale für die Stadtentwicklung. Ihre Umgestaltung eröffnet Chancen für Räume zur Begegnung, Bewegung, Freizeit- und Erholung und Grünraumvernetzung. Dies erfordert die Zusammenarbeit von ökologischer Gewässerentwicklung und freiraumplanerischer Aufwertung. Verantwortliche in der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) müssen mit kommunalen Akteuren zusammenkommen.

Im Rahmen einer Förderung über das Forschungsprogramm "Experimenteller Wohnungs- und Städtebau (ExWoSt)", bearbeitete die Professur Landschaftsarchitektur und Landschaftsplanung der HafenCity Universität in den Jahren 2022/23 gemeinsam das Projekt mit. Es wurden 6 Fallstudien bearbeitet, Experten geführt und in Workshops mit 33 beteiligten Akteuren aus der Praxis der Gewässer- und Stadtentwicklung ein Prozess- und Maßnahmenkatalog erarbeitet.

In einer nun erschienenen Publikation werden an Beispielen einer integrierten Gewässer- und Stadtentwicklung aufgezeigt, wie Kommunen Maßnahmen zur naturnahen Ufergestaltung von Flüssen und Kanälen planen und erfolgreich umsetzen – von der Neckarinsel in Stuttgart über den Fechenheimer Mainbogen in Frankfurt am Main bis zum Waller Sand in Bremen. Der Schlüssel ist dabei wie so oft die enge Zusammenarbeit aller Akteure.

Weitere Informationen:

Professur Landschaftsarchitektur und Landschaftsplanung, HafenCity Universität Hamburg
<https://www.hcu-hamburg.de/bachelor/architektur/professorinnen/prof-antje-stokman/>

Online-Publikation auf der Webseite des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung, BBSR
<https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2023/bbsr-online-54-2023.html>

(aus: Pressemitteilung HafenCity Universität Hamburg vom 17. Januar 2023)

Ad-hoc-Messkampagne verfolgt Hochwasserwelle von der Elbe bis zur Nordsee

Die Hochwasserwelle, die seit den Weihnachtstagen 2023 die Elbe hinunter bis in die Nordsee geflossen ist, haben Wissenschaftler von vier Helmholtz-Zentren koordiniert verfolgt und beprobt – eine seltene Gelegenheit, die Auswirkungen eines solchen Extremereignisses auf das Gewässer zu erforschen. Die gesammelten Daten sollen helfen, zukünftige Risiken besser zu verstehen und Voraussagen treffen zu können. Das GEOMAR-Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel unternahm hierzu mit dem Forschungskutter LITTORINA in der Deutschen Bucht eine spontane Messkampagne. Den Zustand der Elbe von der Quelle bis zur Mündung untersuchten die Forschenden verschiedener Helmholtz-Zentren im Rahmen des Messprogramms

MOSES (Modular Observation Solutions for Earth Systems – Modulare Beobachtungslösungen für Erdsysteme) seit einigen Jahren. Ab diesem Jahr soll mit dem neuen Projekt ElbeXtreme im Rahmen der Forschungsmission mareXtreme der Deutschen Allianz Meeresforschung (DAM) der Fokus auf Extremereignisse gelegt werden.

Es bot sich bereits vor dem Jahreswechsel die seltene Gelegenheit an, die Untersuchungen während eines Hochwasserereignisses vorzunehmen. So wurde noch während der Weihnachtsfeiertage 2023 eine Ad-hoc-MOSES-Kampagne gestartet, die die Hochwasserwelle von der tschechischen Grenze bis zur Mündung in die Nordsee verfolgt und beprobt hat. Die Fragestellung dabei: Wie verändern Extremereignisse wie ein Hochwasser die Zusammensetzung des Gewässers? Die Untersuchungen umfassten Messungen der Leitfähigkeit und der Wassertemperatur mit Sensorsonden. Parallel dazu wurden Wasserproben entnommen, die im Labor auf biogeochemische Parameter wie Kohlenstoffverbindungen, Nährstoffe, Mikroverunreinigungen, Metalle und Pigmente untersucht werden.

Vom Beginn des Hochwassers Ende Dezember 2023 an verfolgten die Wissenschaftler vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) von Land aus acht Tage lang den Scheitelpunkt der Hochwasserwelle: von Bad Schandau an der deutsch-tschechischen Grenze bis nach Lauenburg bei Hamburg. Der Zugang zum Fluss war wegen der Überflutung des Umlandes oft schwierig, so dass die meisten Proben von Brücken entlang des Flusslaufes genommen wurden.

Vom Sperrwerk in Geesthacht an übernahmen die Wissenschaftler des Helmholtz-Zentrums HEREON das Monitoring der Flutwelle in der Tideelbe. Ihre Untersuchungen seien trotz der kurzfristigen Planung aktiv von der Hamburg Port Authority (HPA) und der Fährgesellschaft der Elbfähre Glückstadt-Wischhafen (FRS) unterstützt worden, was die gezielte Probenahme entlang des Tideflusses erst möglich gemacht habe.

Nach dem Eintreffen der Hochwasserwelle bei Cuxhaven an der Elbmündung Mitte Januar 2024 haben die Wissenschaftler des Alfred-Wegener-Instituts, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI), die Beobachtungen fortgesetzt. Sie waren hierfür eine gute Woche lang mit dem Forschungsschiff MYA II in der Elbmündung unterwegs, um die gleichen Inhaltsstoffe wie in der Elbe zu beproben.

Das GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel untersuchte den letzten Abschnitt: die Beprobung der Deutschen Bucht. Auf Helgoland hat die LITTORINA den vollausgestatteten MOSES-Labor-Container vom AWI übernehmen. Der Container ist extra für das Projekt entwickelt worden und wird fertig aufgebaut von Schiff zu Schiff übergeben. Dadurch ist die Mess-Sensorik einheitlich, was sicherstellt, dass auch die gewonnenen Daten einheitlich und vergleichbar sind.

Das Forscherteam ist in Erwartung, ab wann Normalwerte zu beobachten sind. Die Hochwasserwelle bringt zunächst erstmal deutlich mehr Süßwasser in die Nordsee als gewöhnlich. Ob dies auch für Nähr- und Schadstoffe sowie andere gelöste Komponenten gilt, ist eine der bislang ungelösten Schlüsselfragen. Neben dem Salzgehalt hat das MOSES/ElbeXtreme-Team

vom Forschungskutter LITTORINA aus daher eine Woche lang an verschiedenen Stellen Proben für eine Vielzahl von Nähr- und Schadstoffen genommen, darunter Spurenelemente und Quecksilber, aber auch Treibhausgase wie Kohlendioxid (CO₂) und Methan, die durch das Hochwasser in die Nordsee transportiert wurden. Außerdem wurden DNA-Spuren von Organismen untersucht, um die Auswirkungen der Flut auf die Struktur der Lebensgemeinschaften in der küstennahen Nordsee zu analysieren.

Dass das Jahr 2024, in dem das Projekt ElbeXtreme startet, gleich mit dieser besonderen Datensammlung beginnt, ist aus Sicht der Wissenschaft eine große Chance. Nach den vergangenen extremen Niedrigwassersituationen können sie nun das Projekt mit der Erhebung eines noch nie dagewesenen Datensatzes von Hochwasserereignissen starten. Die gesammelten Daten werden dazu beitragen, zukünftige Risiken besser zu verstehen und verlässlichere Voraussagen treffen zu können.

Extreme Hochwasser- und Niedrigwasserereignisse werden aufgrund des Klimawandels in Zukunft wahrscheinlich häufiger auftreten. Die Fachleute und Wissenschaftler müssen daher verstehen, wie sich diese Ereignisse auf den Transport von Nähr- und Schadstoffen auswirken und welche Folgen sie für die Ökosysteme und die von ihnen abhängigen lokalen Akteure haben. Im Rahmen von ElbeXtreme werden Erkenntnisse über die Auswirkungen dieser Ereignisse auf sozio-ökologische Systeme gesammelt und in Abstimmung mit den Stakeholdern Anpassungs- und Eindämmungsoptionen entwickelt.

MOSES steht für "Modular Observation Solutions for Earth Systems". In dieser vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) koordinierten Initiative haben insgesamt 9 Forschungszentren der Helmholtz-Gemeinschaft zwischen den Jahren 2017 und 2021 gemeinsam mobile und modular einsetzbare Beobachtungssysteme aufgebaut, um die Auswirkungen von zeitlich und räumlich begrenzten dynamischen Ereignissen wie extremen Niederschlags- und Abflussereignissen oder Dürren auf die langfristige Entwicklung von Erd- und Umweltsystemen untersuchen zu können.

Das vom GEOMAR koordinierte Projekt ElbeXtreme wird dem Jahr 2024 die Auswirkungen von physikalisch-ozeanographischen Extremereignissen auf Ökosystemleistungen im Elbe-Ästuar untersuchen. Es ist Teil der Forschungsmission "Wege zu einem verbesserten Risikomanagement im Bereich mariner Extremereignisse und Naturgefahren (mareXtreme)" der Deutschen Allianz Meeresforschung (DAM), einem Zusammenschluss der deutschen Meeresforschung mit dem Bund und den norddeutschen Bundesländern Bremen, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen und Schleswig-Holstein, gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF).

Weitere Informationen:

Deutsche Allianz Meeresforschung (DAM)
<https://www.allianz-meeresforschung.de/>

Das Projekt mareXtreme
<https://www.allianz-meeresforschung.de/kernbereiche/forschung/marine-extremereignisse-und-naturgefahren>

Das Projekt MOSES
<https://www.ufz.de/moses/>

(aus: Pressemitteilung GEOMAR Helmholtz-Zentrum für
 Ozeanforschung vom 24. Januar 2024)

Internationale Studie stuft das Grundwasser als Schlüsselökosystem ein

Wasser ist die Basis allen Lebens auf der Erde. Welche wichtige Rolle das Grundwasser für die Menschheit und die biologische Vielfalt dabei spielt, wird häufig übersehen. In einer neuen Veröffentlichung zeigt ein internationales Forschungsteam zum ersten Mal auf, weshalb Grundwasser als ein Schlüsselökosystem zu bewerten ist. Grundwasser ist demnach nicht nur selbst ein wichtiges Ökosystem, sondern spielt darüber hinaus eine ganz entscheidende Rolle für die Ökosysteme an der Erdoberfläche. Darin werden Wege zum besseren Schutz des Grundwassers vorgeschlagen, um somit den Verlust der biologischen Vielfalt zu verringern und den Klimawandel abzufedern.

Das Grundwasser ist die größte nicht gefrorene Süßwasserressource unserer Erde. Grundwasser versorgt die Hälfte der Weltbevölkerung mit Trinkwasser und manche Länder wie Dänemark gewinnen 100 % ihres Trinkwassers vollständig aus dem Grundwasser. Weltweit werden jedes Jahr etwa 1.000 Kubikkilometer Wasser an die Erdoberfläche gepumpt. Es wird jedoch global weit mehr verbraucht, als natürlicherweise wieder aufgefüllt wird. Etwa ein Drittel der größten Grundwassereinzugsgebiete ist gefährdet, das heißt die Grundwasserspiegel nehmen kontinuierlich ab.

Die Versorgung mit Trinkwasser für den Menschen ist ein Aspekt der Problematik. Die Bedeutung des Grundwassers für die Ökosysteme ein weiterer, der jedoch in den globalen Agenden zur Erhaltung der biologischen Vielfalt bisher komplett übersehen wurde. Rund 52 % und damit mehr als die Hälfte der Erdoberfläche weltweit weist eine mittlere bis hohe Wechselwirkung mit dem Grundwasser auf. Die Zahl steigt auf 75 %, wenn Wüsten und Hochgebirge ausgenommen werden – Regionen, wo Grundwasser entweder selten ist oder der Wasserspiegel sehr tief liegt. Wechselwirkung heißt hier, dass Wasser aus Flüssen und Seen in das Grundwasser gelangt, während Grundwasser andererseits an die Oberfläche steigt und hier Feuchtgebiete, Flüsse und Seen speist. Das Grundwasser selbst bietet einen wertvollen Lebensraum für tausende Arten, darunter Höhlenfische, blinde Aale und durchsichtige Krebse.

Wenn man die Bedeutung des Grundwassers als Ökosystem außer Acht lässt, wird seine entscheidende Rolle bei der Erhaltung der Oberflächen-Ökosysteme ignoriert. Um den rechtzeitigen globalen Schutz des Grundwassers zu fördern, wird vorgeschlagen, das Konzept der Schlüsselarten in den Bereich der Ökosysteme zu übertragen und das Grundwasser als ein Schlüsselökosystem zu betrachten, das die Integrität vieler abhängiger Ökosysteme beeinflusst. Insgesamt beteiligten sich 51 Wissenschaftler aus verschiedenen Ländern an der Studie.

Im Hinblick auf das deutsche Recht weist die Studie darauf hin, dass das Grundwasser im Naturschutzrecht bisher nicht als Lebensraum gilt, sondern als Ressource – und damit nicht dem Schutz des Bundesnaturschutzgesetzes unterliegt. Dies sollte, so

die Wissenschaftler, unbedingt geändert werden. Es wird dazu auch auf Zahlen des Umweltbundesamtes hingewiesen, wonach aktuell rund 32 % aller Grundwasserkörper in Deutschland in einem schlechten chemischen Zustand sind. Hauptursachen sind vor allem der Nitratreintrag und Belastungen durch Pflanzenschutzmittel.

In dem Bericht werden acht Schlüsselthemen vorgeschlagen, um eine wissenschaftlich-politisch integrierte Agenda für den Grundwasserschutz zu entwickeln. Da sich die Ökosysteme über und unter der Erde auf vielen Ebenen überschneiden, sei die Betrachtung des Grundwassers als wesentlicher Bestandteil der Gesundheit des Planeten von zentraler Bedeutung, um den Verlust der biologischen Vielfalt zu verringern und den Klimawandel abzufedern. Da Wasser grundsätzlich die Grundlage des Lebens auf der Erde darstellt, und man weiterhin die ökologische Integrität der größten Süßwasserressource der Erde ignoriert, gefährdet werde gemäß den Untersuchungen des Forscherteams die Nachhaltigkeit ganzer Ökosysteme und damit auch der eigenen Gesellschaft gefährdet.

Fachartikel:

Saccò, M., Mammola, S., et al. (2023): Groundwater is a hidden global keystone ecosystem *Global Change Biology*, 12. Dezember 2023. DOI: 10.1111/gcb.17066

Weitere Informationen:

Geographisches Institut, Johannes Gutenberg-Universität Mainz
<https://www.geo.uni-mainz.de/>

(aus: Pressemitteilung Universität Mainz vom 20. Dezember 2023)

Forschungsk Kooperation zur Gewässerwiederherstellung an der Ahr

Am 12. Januar 2024 wurde der Kooperationsvertrag zum Forschungsvorhaben "Monitoring der Gewässerwiederherstellungsmaßnahmen an der Ahr nach der Flutkatastrophe (MonAHR)", unter der wissenschaftlichen Gesamtleitung des Umwelt-Campus Birkenfeld der Hochschule Trier im Rahmen einer Pressekonferenz vorgestellt.

Im Juli 2021 sind im Zuge der Flutkatastrophe im Ahrtal 136 Menschen in Rheinland-Pfalz gestorben, unzählige Menschen wurden verletzt, traumatisiert, und haben ihr Hab und Gut verloren. Die Infrastruktur im Ahrtal wurde weitgehend zerstört. Ein maßgeblicher Teil der Zerstörung betrifft auch die Gewässerinfrastruktur der Ahr und ihrer Nebengewässer. Das vom Landkreis Ahrweiler beauftragte Gewässerwiederherstellungskonzept umfasst rund 1.000 Einzelmaßnahmen und ist damit eine der größten Gewässerwiederherstellungsmaßnahmen in Deutschland.

Die mit der Umsetzung dieses Konzepts betrauten Behörden beteiligen mit dieser Forschungsk Kooperation wissenschaftliche Institutionen, die bereits langjährig und erfolgreich in der Wasserwirtschaft des Landes aktiv sind. Die Gesamtprojektkoordination übernimmt der Umwelt-Campus Birkenfeld der Hochschule Trier. Basierend auf einem umfangreichen Monitoringprogramm werden in diesem Projekt ökologische Chancen und Risiken der in der Ahr notwendigen Wiederherstellungsmaßnahmen beleuchtet und die Auswirkungen bereits abgeschlossener Maßnahmen gemessen. In den geleisteten Analysen werden auch die Verän-

derungen durch den Klimawandel mit einbezogen, da die Ahr nicht nur in einen guten ökologischen Zustand zurückversetzt werden soll, sondern gleichzeitig auch für die Zukunft gestaltet werden soll.

An dem Vorhaben sind des Weiteren die Universität Koblenz, die Hochschule Koblenz sowie als Praxispartner der Landkreis Ahrweiler und die Stadt Bad Neuenahr-Ahrweiler beteiligt. Das Projekt ist in drei Phasen gegliedert und für die Laufzeit von 6 Jahren sind 1,8 Mio. € vorgesehen.

Mit Fokus auf den am stärksten betroffenen Mittel- und Unterlauf der Ahr wird das bereits existierende behördliche Monitoringnetz von den wissenschaftlichen Partnern ergänzt. Zielsetzung des verdichteten Monitorings ist ein kausales, quantitatives Verständnis der ökologischen Zusammenhänge mit Blick auf zentrale Ökosystemleistungen und den ökologischen Bewertungszustand. Ein solches Verständnis ist notwendig, um Handlungsalternativen bei Wiederherstellungsmaßnahmen bewerten und Prognosen zu zukünftigen Entwicklungen an der Ahr geben zu können. Dabei werden Schwerpunkte gesetzt: Es sollen die Besiedlungsprozesse der Gewässerorganismen nach der Flutkatastrophe vom Juli 2021 und den Wiederherstellungsmaßnahmen analysiert werden, es wird die Primär- und Sekundärproduktion in der Ahr untersucht und wird die Rolle von Ufergehölzen und ihren ökologischen Funktionen sowie eventuell resultierende Risiken bei Hochwassersituationen beleuchtet.

In Phase 1 wird in enger Absprache mit dem Rheinland-Pfälzischen Landesamt für Umwelt und der Struktur- und Genehmigungsdirektion Nord ein Messnetz zur Erfassung wichtiger physikalischer, chemischer und hydromorphologischer Umweltfaktoren und biologischer Messgrößen aufgebaut. Die Phase 2 beschäftigt sich mit der Analyse von Wiederherstellungsprojekten. In Abschlussphase 3 ist die finale Bewertung der Maßnahmen sowie die Erstellung von Klimawandelszenarien vorgesehen. Die Veröffentlichungen sollen für alle Projektpartner jederzeit auf einer Projektplattform einsehbar sein. Das Monitoring und die darauf aufbauenden Analysen sind so ausgelegt, dass eine gute Übertragbarkeit der Erkenntnisse auf andere Fließgewässer in Rheinland-Pfalz gewährleistet ist.

Weitere Informationen:

Fachbereich Interdisziplinärer Umweltschutz, Hochschule Trier
<https://www.umwelt-campus.de/sstoll>

(aus: Pressemitteilung Hochschule Trier vom 12. Januar 2024)

Europas Gewässerqualität: Besser, aber nicht gut genug

Flussbegradigungen, eingeschleppte Tier- und Pflanzenarten, der globale Klimawandel und Verschmutzungen – der Mensch beeinflusst die Ökosysteme von Fließgewässern massiv. Entsprechend haben derzeit rd. 60 % der Flüsse Europas keinen guten ökologischen Zustand. In Deutschland sind es sogar rd. 90 %. Die seit dem Jahr 2000 geltende EG-Wasserrahmenrichtlinie sollte hier Abhilfe schaffen, jedoch gab es bislang keine belastbaren Daten zum zeitlichen Verlauf von Änderungen in der ökologischen Qualität von Flüssen.

Ein internationales Forschungsteam unter Beteiligung von Wissenschaftlern des Senckenberg Forschungsinstitut haben nunmehr die Daten wirbelloser, in Flüssen lebender Tiere von 1.365 Standorten in 23 europäischen Ländern ausgewertet, um die zeitlichen Trends anthropogener Einflüsse zu untersuchen. Basierend auf diesem einmaligen Datensatz konnten die Forschenden die Veränderung der ökologischen Qualität in Flüssen seit Anfang der 1990er Jahre jährlich auflösen. Um die menschengemachten Auswirkungen zu bewerten, haben sie zunächst den Untersuchungszeitraum 1992 bis 2019 angeschaut, wie sich die Lebensgemeinschaften im Vergleich zu ihren Ausgangsbedingungen verändert haben. So konnten sie eine Bewertung langfristiger Trends zur ökologischen Qualität auf europäischer Ebene feststellen.

Als Ergebnis konnten sie festhalten, dass die ökologische Qualität von den 1990er Jahren bis zum Jahr 2010 generell zugenommen hat, ebenso die Anzahl empfindlicher Taxa, was auf geringere anthropogene Einflüsse hinweist – dieser positive Trend kommt aber um das Jahr 2010 zum Erliegen. Auch der notwendige – in der EG-Wasserrahmenrichtlinie festgehalten – "gute" ökologische Zustand wurde im Durchschnitt noch nicht erreicht. Die bessere Wasserqualität ist wahrscheinlich auf europäische Maßnahmen zurückzuführen, die verstärkt ab den 1980er Jahren eingeführt wurden, wie beispielsweise eine verbesserte Abwasserbehandlung.

In ihrer erstmalig für Europa zusammengestellten Übersicht zur ökologischen Wasserqualität zeigen die Forschenden, dass deren Verbesserung nach den 2010er Jahren stagniert. Als wahrscheinliche Ursachen nennen die Wissenschaftler neue und bestehende Stressfaktoren wie Verschmutzung und Lebensraumveränderung, zunehmende negative Effekte wie den Klimawandel und neu auftretende Probleme wie den Eintrag von neuartigen Pestiziden oder Arzneimitteln. In einem zweiten Schritt setzten die Forschenden die ermittelte ökologische Qualität in Beziehung zu gängigen Kennzahlen, wie der Häufigkeit oder Vielfalt von Arten oder der Zusammensetzung von Faunengemeinschaften, sowie zu gängigen Biomonitoring-Indizes, die das Vorkommen sensibler Taxa widerspiegeln.

Hintergrund der Arbeit war, dass es zahlreiche Studien gibt, die über zum Teil widersprüchliche Veränderungen der biologischen Vielfalt berichten, also zunächst einmal Verbesserung, aber auch Verschlechterungen. Dies hängt damit zusammen, dass sich einige dieser Studien nur auf einzelne Biomonitoring-Indizes beschränken, bislang aber unklar war, ob diese Indizes überhaupt den ökologischen Zustand hinreichend abbilden.

Deutlich wird zudem, dass Lebensgemeinschaften in Abhängigkeit zur räumlichen Skala unterschiedliche Reaktionen auf anthropogene Einflüsse zeigen. So können beispielsweise negative Einwirkungen lokal zu einem Rückgang der Häufigkeit oder des Artenreichtums führen. Regional ist aber keine Gesamtveränderung zu verzeichnen, weil die Verluste durch Zuwächse an anderen Orten ausgeglichen werden. Oder es kann sogar zu einer Zunahme der Artenzahl kommen, wenn sich – den Veränderungen gegenüber tolerante – Arten vermehren.

Laut der neuen Studie können folglich die in vielen Untersuchungen festgestellten unterschiedlichen Trends bei der biologischen

Vielfalt das Ergebnis unterschiedlicher Raumskalen – lokal, regional, kontinental – oder unterschiedlicher Biomonitoring-Indizes sein. Eine weitere Komplikation bestand darin, dass den meisten Studien zur biologischen Vielfalt die Ausgangsdaten vor der Beeinflussung durch den Menschen fehlten. Ohne Basisdaten ist es aber schwierig festzustellen, ob die Veränderungen der biologischen Vielfalt auf anthropogene Einflüsse oder auf natürliche Schwankungen zurückzuführen sind.

Die Ergebnisse zeigen, dass ohne ausreichende Daten über einen längeren Zeitraum und eine sorgfältige Auswahl der Metriken biologische Trends und anthropogene Einflüsse nicht zuverlässig wiedergegeben werden können. Bei den bislang genutzten Indikatoren ist einzig die Artenvielfalt ein recht zuverlässiger Anzeiger für eine Veränderung der ökologischen Wasserqualität. Dies sollte bei zukünftigen Bewertungen unbedingt berücksichtigt werden.

Fachartikel:

Sinclair, J.S. et. al. (2024): Multi-decadal improvements in the ecological quality of European rivers are not consistently reflected in biodiversity metrics. *Nature Ecology and Evolution*.

DOI: s41559-023-02305-4

Weitere Informationen:

Senckenberg Forschungsinstitut und Naturmuseum Frankfurt
<https://www.senckenberg.de/de/>

(aus: Pressemitteilung Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung vom 26. Januar 2024)

Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie verzeichnet drittwärmstes Jahr in Nordsee seit Messbeginn

Im Jahr 2023 war die Nordsee erneut fast so warm wie im Jahr 2022. Die Temperaturen stiegen nach den Aufzeichnungen nur im Jahr 2014 noch deutlich höher – und das seit dem Beginn der Datenreihe in 1969. Im September war die Nordsee so warm wie nie zuvor. Auch Januar und Februar sowie Juni und Juli fielen sehr warm aus.

Die Temperaturen lagen in der Nordsee mit 11,1 °C etwa 0,6 °C über dem langjährigen Mittel. Das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) beobachtete die größten Abweichungen in der südlichen Nordsee – vom Ärmelkanal bis vor die dänische Westküste. Im Jahr 2023 waren fast alle Monate wärmer als das langjährige Mittel, das sich auf den Zeitraum von 1991 bis 2020 bezieht. Insgesamt zeigen die Daten, dass sich die Nordsee im Durchschnitt um 0,27 °C pro Jahrzehnt erwärmt.

In der Ostsee betrug die Temperatur im vergangenen Jahr etwa 9,2 °C – mehr als 0,7 °C über dem langjährigen Mittel. So handelt es sich um das siebtwärmste Jahr seit dem Beginn der Datenreihe in 1990. Der September war mit mehr als 2 °C über dem langjährigen Mittel außergewöhnlich warm. Nur im Jahr 2002 fielen die Temperaturen im September höher aus. Auch Januar, Februar und Juni waren sehr warm.

Die größten Abweichungen vom langjährigen Mittel traten entlang der südlichen Ostseeküste von Dänemark bis zum Baltikum auf. Im Jahr 2023 waren 9 von 12 Monaten wärmer als im langjäh-

rigen Mittel. Insgesamt belegen die Daten, dass sich die Ostsee im Durchschnitt um 0,57 °C pro Jahrzehnt erwärmt. Das ist mehr als doppelt so stark wie die Nordsee.

Das Wissenschaftlerteam nutzt Satellitendaten, die mit Messungen von Stationen und Schiffen kombiniert werden. So analysieren sie wöchentlich die Temperaturen an der Oberfläche von Nordsee und Ostsee. Das ist die Grundlage für monatliche, saisonale und jährliche Langzeitvergleiche.

Damit leistet das BSH einen wesentlichen Beitrag zum DAS-Basisdienst "Klima und Wasser". Dabei handelt es sich um einen operationellen Klimageservice, den das BSH gemeinsam mit anderen Bundesbehörden im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) an den Klimawandel betreibt.

Weitere Informationen:

Portal "Meeresumwelt", Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie

https://www.bsh.de/DE/THEMEN/Meeresumwelt/meeresumwelt_node.html

DAS-Klimadaten Küste

<https://das.bsh.de/>

(aus: Pressemitteilung Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie vom 11. Januar 2024)

Bund und Länder bringen Grundwassermodell Lausitz auf den Weg

Das Simulationsmodell "Grundwassermodell Lausitz" als länderübergreifendes Steuerungs-, Kontroll- und Bewertungsinstrument stellt einen entscheidenden Schritt für ein strategisches Wassermanagement in der Lausitz dar. Es trägt wesentlich dazu bei, die Folgen des Braunkohleabbaus zu bewältigen und den Strukturwandel, auch unter den künftigen Anforderungen durch den Klimawandel zu unterstützen. Das Land Brandenburg, vertreten durch das Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz (MLUK), der Freistaat Sachsen, vertreten durch das Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (SMEKUL) und der Bund, vertreten durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) sowie das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) haben hierzu eine Verwaltungsvereinbarung für die Durchführung des Projekts "Grundwassermodell Lausitz" unterzeichnet.

Mehr als 150 Jahre Braunkohleförderung in der Lausitz haben ihre Spuren nicht nur in der Landschaft, sondern auch insbesondere im Wasserhaushalt hinterlassen. Um die Folgen besser einschätzen zu können, ist das Vorhaben der Grundstein für ein nachhaltiges Wassermanagement in der Lausitz. Damit soll neben einer nachhaltigen Wasserversorgung der Region auch das Wassermanagement für entscheidende Industrieanordnungen verbessert werden. Mit dem Grundwassermodell Lausitz können die notwendigen Maßnahmen geplant und umgesetzt werden, um den Wasserhaushalt in der Region nach dem Ende des jahrzehntelangen Bergbaus wiederherzustellen und dauerhaft zu stabilisieren. So werden die Transformation und der Strukturwandel in der Lausitz gelingen.

Die Herausforderungen des Klimawandels bleiben allerdings bestehen. Daher gewinnen eine nachhaltige Wasserbewirtschaftung sowie ein bewusster und sparsamer Umgang mit Wasser immer mehr an Bedeutung. Wasser ist eine wichtige Ressource und Bestandteil des täglichen Lebens, egal ob als Trinkwasser, als Brauch- oder Industrierwasser oder als Lebensraum für Pflanzen und Tiere, insbesondere im Lausitzer Seenland und im Biosphärenreservat Spreewald.

Zudem überlagern sich die Bergbaufolgen und die Klimakrise. Wasser als Lebensgrundlage für Mensch und Natur ist keine gegebene Selbstverständlichkeit mehr. Von daher besteht dringender Handlungsbedarf. Zugleich ist Wasser ein harter Standortfaktor. In der Lausitz hängt davon auch das Gelingen des Strukturwandels ab. Für das Wassermanagement unter diesen schwierigen Bedingungen schafft das Grundwassermodell wesentliche Grundlagen.

Das Projekt wird von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) koordiniert und vom Umweltbundesamt (UBA) sowie den Fachbehörden des Landes Brandenburg und des Freistaates Sachsen fachlich begleitet. Insbesondere die staatlichen geologischen Dienste der involvierten Länder werden maßgeblich an der Bearbeitung mitwirken. Das Projektgebiet umfasst mehr als 5.000 Quadratkilometer und das Modell soll bis Ende 2027 fertig gestellt sein. Die Kosten für das Projekt belaufen sich auf rd. 9 Mio. €, die zu 70 % vom Bund und zu 30 % von den Ländern Brandenburg und Sachsen finanziert werden.

Es handelt sich bei dem Modell um ein Grundwasserströmungsmodell, das Fließpfade, Fließgeschwindigkeiten und Grundwassermengen berechnet. Das Modell baut auf den verfügbaren geologischen und geophysikalischen Daten auf und setzt sich aus einem geologisch-hydrogeologischen Strukturmodell, einem Grundwasserströmungsmodell sowie einem Bodenwasserhaushaltsmodell zusammen. Dabei wird zunächst das Strukturmodell durch die zuständigen Fachbehörden in Brandenburg und Sachsen erarbeitet. Die Bergbauunternehmen in der Lausitz werden fachlich eingebunden und ihre bereits bestehenden Regionalmodelle berücksichtigt.

Für einen sicheren Tagebaubetrieb zum Abbau der Braunkohle muss großräumig Grundwasser in der Lausitz abgesenkt werden. Dieses sogenannte Sumpfungswasser wurde überwiegend in die Flüsse wie Spree und Schwarze Elster eingeleitet. Somit entstanden über die Jahrzehnte enorme Grundwasserdefizite bei gleichzeitig erhöhten Abflussmengen in den Flüssen. Mit dem Ende des Braunkohleabbaus wird die Sumpfung schrittweise eingestellt. Dadurch steigt das Grundwasser langsam über mehrere Jahrzehnte wieder an, um eines Tages wieder durch den Boden in die Flüsse zu sickern.

Während für den Kohleausstieg und den künftigen Strukturwandel in der Lausitz weitreichende Vereinbarungen zur Unterstützung der Wirtschaft getroffen wurden, sind die Auswirkungen des Kohleausstiegs auf den Wasserhaushalt wie die Einstellung der Sumpfungswassereinleitungen, die Füllung der Tagebaurestseen oder die Stofftransporte im Untergrund vor allem von Eisen und Sulfat noch nicht abschließend betrachtet. Auch die erforderlichen Maßnahmen zur Wiederherstellung eines möglichst naturnahen und sich weitgehend selbst regulierenden Wasserhaushaltes sind noch nicht abschließend bestimmt. Ohne

die Anpassung des Wasserhaushalts an die nachbergbaulichen Verhältnisse wird die wirtschaftliche Transformation der Region erschwert. Eine gesicherte Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung für Industrie, Gewerbe, und Landwirtschaft ist die grundlegende Voraussetzung für den Strukturwandel.

Der Entschließungsantrag des Bundestages zum Kohleverstromungsbeendigungsgesetz (KVBG) vom 2. Juli 2020 (BT-Drucksache 19/20714 (neu)) spricht folgerichtig diese wasserwirtschaftlichen Belange in der Lausitz direkt an. Darin fordert der Deutsche Bundestag von der Bundesregierung und den betroffenen Ländern unter anderem die Erarbeitung eines überregionalen Wasser- und Untergrundmodells. Bund und Länder haben sich darauf verständigt, zur Erfüllung der Entschließung auf das bestehende Bewirtschaftungsmodell für das Oberflächenwasser zurückzugreifen sowie ein neues länderübergreifendes Grundwassermodell Lausitz als maßgebliche Grundlage und Kernelement für die Grundwasserbewirtschaftung aufzubauen. Das Modell soll als Schlüsselwerkzeug für eine nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung als Teil eines funktionierenden Wasserhaushalts dienen. Hierzu wird auf wichtige fachliche Grundlagen in den Ländern und bei den Bergbau- und Sanierungsträgern zurückgegriffen. Perspektivisch sollen das Modell für das Oberflächenwasser sowie für das Grundwasser über Schnittstellen miteinander gekoppelt werden.

Weitere Informationen:

Portal "Wasser", Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz Brandenburg
<https://mluk.brandenburg.de/mluk/de/umwelt/wasser/>

(aus: Gemeinsame Presseinformation Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft Brandenburg und Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz Brandenburg vom 12. Januar 2024)

Projekt "Waterproofing Data" – Überschwemmungs-Monitoring per App

Für das Projekt "Waterproofing Data", mit dem sich Menschen in brasilianischen Hochwassergebieten auf drohende Überschwemmungen vorbereiten können, ist ein Forschungsteam mit Beteiligung von Geoinformatikern der Universität Heidelberg ausgezeichnet worden. Das Wissenschaftlerteam erhielt den mit 10.000 £ dotierten "ESRC Celebrating Impact Prize 2023", der vom "Economic and Social Research Council, ESRC" in der Kategorie "Outstanding societal impact" für Projekte mit besonderer gesellschaftlicher Relevanz vergeben wurde. Im Mittelpunkt der Forschungsarbeiten stand die Frage, wie lokale Communities in Brasilien in die Lage versetzt werden können, sich besser vor den Auswirkungen von Hochwasserereignissen zu schützen. Die Ergebnisse des an der Universität Glasgow angesiedelten Projekts sind in eine mobile App für ein Überschwemmungs-Monitoring eingeflossen und wurden anschließend am Heidelberg Institute for Geoinformation Technology (HeiGIT gGmbH) zu einem weltweit nutzbaren Online-Service weiterentwickelt.

Fast ein Viertel der Menschen weltweit lebt laut Experten in Hochwasserrisikogebieten, ein großer Teil von ihnen in Ländern mit geringem und mittlerem Einkommen. Die Folgen sind bislang

nur wenig erforscht, ebenso die Strategien, die die Betroffenen über Generationen hinweg zur Bewältigung entwickelt haben. Der Forscher haben das Projekt "Waterproofing Data" angestoßen und in Zusammenarbeit mit den Mitarbeitern der Abteilung Geoinformatik am Geographischen Institut der Universität Heidelberg, durchgeführt. Mitgewirkt haben daran auch Experten aus Brasilien.

Zentraler Ansatz war es, betroffene Bevölkerungsgruppen aktiv in den Forschungsprozess einzubinden und ihnen mit einfachen Mitteln die Möglichkeit zu geben, sich besser auf Hochwasserereignisse vorzubereiten. Gemeinsam mit Einheimischen vor Ort haben die Wissenschaftler Methoden erarbeitet, mit denen sich bereits vorhandene Daten besser nachverfolgen und örtliche Gewässer visualisieren lassen. Zugleich kann das lokale Wissen der Bevölkerung durch Umfragen und partizipative Kartierungen einbezogen werden. Die Ergebnisse der Forschungsarbeiten wurden anschließend in einer mobilen App zusammengeführt. Sie bietet Menschen in gefährdeten Gebieten die Möglichkeit, Überschwemmungsrisiken selbst im Auge zu behalten, um sich im Notfall in Sicherheit zu bringen.

Nach dem bisherigen Stand der Untersuchungen haben bislang mehr als 400 brasilianische "Citizen Scientists" die App erfolgreich genutzt – darunter auch Projektteilnehmer aus der Stadt Jaboaão dos Guararapes im brasilianischen Bundesstaat Pernambuco, die im Jahr 2022 Schauplatz schwerer Hochwasser war. Sie konnten ihre Mitbürger dank der App rechtzeitig vor den Überschwemmungen warnen und damit Leben retten. In diesem Sinne gilt die Auszeichnung vor allem den Mitwirkenden vor Ort. Sie zeigen, was möglich ist, wenn es niedrigschwellige Möglichkeiten gibt, sich aktiv in die Vorbereitungen auf Naturkatastrophen einzubringen und so besser darauf vorbereitet zu sein.

Aus der mobilen App des "Waterproofing Data"-Projekts für das Überschwemmungs-Mapping in Brasilien ist mittlerweile das sogenannte SketchMapTool hervorgegangen, ein Online-Service für partizipatives Kartieren, der weltweit genutzt werden kann. Dieses Tool wird von Wissenschaftlern ebenso wie von humanitären Organisationen verwendet, um lokales räumliches Wissen sichtbar zu machen und analysieren zu können. So konnten beispielsweise damit auch in Mosambik Überflutungsgebiete erfasst werden.

Der "Economic and Social Research Council" ist der größte Förderer in Großbritannien für Projekte im Bereich der Wirtschafts-, Sozial- und Verhaltenswissenschaften sowie der Human Data Science. Der ESRC vergibt jedes Jahr den "Celebrating Impact Prize" in verschiedenen Kategorien für Projekte, die sich positiv auf Wirtschaft und Gesellschaft sowie das tägliche Leben auswirken, sowohl in Großbritannien als auch darüber hinaus. Die Preisträger des Jahres 2023 wurden im November 2023 bekanntgegeben.

Weitere Informationen:

Abteilung Geoinformatik/GIScience, Universität Heidelberg
<http://www.geog.uni-heidelberg.de/gis>

Heidelberg Institute for Geoinformation Technology
<https://heigit.org/de/willkommen>

Waterproofing Data-Projekt – Projektvideo

<http://www.geog.uni-heidelberg.de/gis/waterproofing.html>

(aus: Pressemitteilung Universität Heidelberg vom 16. Januar 2023)

Talsperren im Klimawandel

Die Sicherheit der Trinkwasserversorgung aus Talsperren wird in besonderer Weise durch klimatische Veränderungen beeinflusst – sowohl im Hinblick auf die Wassermenge als auch die Wasserqualität. Daran müssen sich das Management der Talsperren und ihrer Einzugsgebiete sowie die Technologie der Wasseraufbereitung anpassen. Oft fehlen jedoch fundierte Prognosen und Werkzeuge, um valide Aussagen für erforderliche Maßnahmen und langfristige Investitionen treffen zu können und die genehmigungsrechtlichen und finanziellen Hürden zur Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen sind hoch. Um diese zu diskutieren, hatte der Fachverband "Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren e. V." (ATT) und das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) eine Veranstaltung abgehalten.

Ungefähr 10 % der Bevölkerung – 8 Millionen Menschen – werden in Deutschland mit Trinkwasser aus Talsperren versorgt. In manchen Regionen ist diese Art der Versorgung alternativlos. Anders als Grundwasserkörper sind Talsperren als Oberflächengewässer unmittelbar den meteorologischen Bedingungen und somit auch klimatischen Änderungen ausgesetzt. Deren Auswirkungen werden uns nicht nur künftig treffen, sondern sind bereits jetzt spürbar.

Extreme wie Dürren, Hitzewellen und Hochwasser verändern sowohl die Menge als auch die Qualität des Wassers und der Ökosysteme in den Talsperren, führen etwa zu vermehrtem Algenwachstum, Sauerstoffmangel und einem Anstieg von Nährstoffen wie Phosphor und Stickstoff. Sie verändern aber auch die Einzugsgebiete der Talsperren, zum Beispiel durch Waldverluste mit Rückwirkungen auf das Wasser in den Talsperren.

Wie die Trinkwasserversorgung aus Talsperren unter diesen Herausforderungen gewährleistet werden kann, diskutierten die Experten innerhalb des Symposiums um den aktuellen Kenntnisstand zu präsentieren, offene Fragen zu formulieren, Handlungsoptionen aufzuzeigen und notwendige weitere Schritte zur Verbesserung der Entscheidungsgrundlagen für eine Klimaanpassung der Wasserversorgung zu erarbeiten.

Weitere Informationen:

Department Seenforschung,
 Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung/UFZ
<https://www.ufz.de/index.php?de=34221>

(aus: Pressemitteilung Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung vom 22. Februar 2024)

Erhöhter Zugang zu Wasser gefährdet die Lebensgrundlage nomadischer Viehhirten

Eine Studie unter Leitung der Universität Uppsala in Schweden in Zusammenarbeit mit Forschenden am Global South Studies Center (GSSC) der Universität zu Köln hat untersucht, wie sich neue Wasserquellen auf nomadische Hirtengemeinschaften in Afrika südlich der Sahara auswirken. Die Studie zeigt, dass der

Bau neuer kleiner Wasserinfrastrukturen (small water infrastructure – SWI) wie Tiefbrunnen und Bohrlöcher zwar kurzfristig nützlich ist, langfristig aber den Viehhaltern, ihrem Vieh und dem gesamten Ökosystem Schaden zufügt. Anstatt die Lebensgrundlage der Hirten zu sichern, können diese Eingriffe die Widerstandsfähigkeit dieser Gemeinschaften gegenüber dem Klima verringern und damit das Gegenteil von dem bewirken, was die Wasserinfrastrukturprojekte eigentlich erreichen wollten. Die Ergebnisse wurden kürzlich in einem Artikel "Over-reliance on water infrastructure can hinder climate resilience in pastoral drylands" veröffentlicht.

Millionen von Bauern und Hirten in Subsahara-Afrika sind von Dürre betroffen, was oft Wasserkrisen, Hungersnöte und Migration zur Folge hat. Besonders verheerend ist Dürre in Trockengebieten, in denen die Niederschläge typischerweise stark schwanken und auf kurze Regenperioden monatelange Trockenperioden folgen. In diesen Gebieten bestehen die Gesellschaften meist aus nomadischen Viehhaltern, die traditionell durch saisonale Herdenwanderung der Trockenheit in bestimmten Regionen entkommen – eine Strategie nomadischer Gruppen auf der ganzen Welt.

Die Verbesserung der Wasserinfrastruktur in Trockengebieten durch den Bau von Tiefbrunnen und Bohrlöchern ist eine weitere Strategie, die immer mehr an Bedeutung gewinnt. Wenn der Zugang zu Wasser in Trockengebieten verbessert wird, oft als Notmaßnahme, wird es für die Viehhalter einfacher, länger an einem Ort zu bleiben. Das wiederum erhöht jedoch die Nachfrage nach Wasser und Weideland für ihre Tiere auf ein Niveau, das nicht vorhanden ist. Es besteht dadurch die Gefahr, dass dies schwerwiegende Auswirkungen auf die Bevölkerung hat und ihre Widerstandsfähigkeit gegenüber Dürren und dem Klimawandel verringert.

Die Daten für die Studie stammen aus großen Trockengebieten in verschiedenen afrikanischen Ländern. Das Team wendete dabei qualitative Methoden aus der Ethnologie an. In Angola kamen zudem quantitative Methoden wie Datenanalyse ebenso zum Einsatz wie Modellierungen zu den Wechselwirkungen zwischen Mensch und Wasser.

Die Forscher verglichen die allgemeinen Bedingungen in Trockengebieten, darunter das Ausmaß der Dürre, den Zugang zu Wasser, die Bodenbeschaffenheit und die Bevölkerungszahlen. Sie berücksichtigten auch Statistiken aus den Jahren 1954 bis 2018 zu Bohrlöchern sowie Flach- und Tiefbrunnen, und wann und zu welchem Zweck sie angelegt wurden. Die Mehrzahl der geschaffenen Wasserinfrastrukturen erfüllte mehrere Funktionen und diente dem Gebrauch in Haushalten, der Viehzucht und der Bewässerung. Im Jahr 2021 begleitete die Forschungsgruppe acht nomadische Gemeinschaften in Angola und führte ausführliche Interviews mit 24 Fokusgruppen. Die Forscher verglichen die Fallstudie aus Angola mit anderen Trockensystemen und den daraus resultierenden Bedingungen für Nomadengruppen in Afrika, zum Beispiel in Namibia. Darüber hinaus beteiligte er sich an der Entwicklung eines Modells, wie sich die Nomadenwirtschaft nach einer Dürre in Bezug auf die kleinen Wasserinfrastrukturen entwickelt.

Die Studie zeigt, dass bei verbessertem Zugang zu Wasser dank neuer Brunnen und Bohrlöcher der Bedarf an Wasser immer

weiter steigt. Sowohl die Menschen, als auch das Vieh verbrauchen mehr Wasser, und die Tiere zudem mehr Weideland. Es ist nicht möglich, den Zugang zu Wasser zu garantieren, und es besteht die Gefahr, dass die Viehzüchter noch größere Probleme bekommen, wenn sie sich dauerhaft an einem Ort niederlassen. Maßnahmen, die allein die Wasserversorgung erhöhen, mindern ohne ein wirksames Management die Widerstandsfähigkeit von Nomadengemeinschaften gegenüber Dürre und Klimawandel. Das ist gefährlich, da in den kommenden Jahrzehnten in vielen Regionen mit zunehmender Dürre zu rechnen ist.

Fachartikel:

Piemontese, L., Terzi, S., Di Baldassarre, G., Menestrey Schwiager, D.A., Castelli, G., and E. Bresci (2024): Over-reliance on water infrastructure can hinder climate resilience in pastoral drylands. Nature Climate Change. DOI: 10.1038/s41558-024-01929-z

Weitere Informationen:

Institut für Ethnologie, Universität Köln

<https://ethnologie.phil-fak.uni-koeln.de/content.php?lang=de&kid=34>

(aus: Pressemitteilung Universität Köln vom 21. Februar 2024)

Baden-Württemberg Etablierung des Niedrigwasser-Informationszentrums

Niedrigwasser- und Trockenphasen kommen immer häufiger vor und dauern immer länger an. Aus diesem Grund hat das Umweltministerium Baden-Württemberg eine Wassermangelstrategie erarbeitet. Ein wichtiger Meilenstein in der Umsetzung ist das nun bei der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LUBW) eingerichtete Niedrigwasser-Informationszentrum (NIZ). Dank umfassender Daten und Prognosen im Online-Portal, etwa zu Pegelständen und Gewässergüte, wird eine schnelle Bewertung der Wasserlage möglich.

Das neu geschaffene Niedrigwasser-Informationszentrum der LUBW ist ab sofort die zentrale Anlaufstelle für Messwerte, Trends und Informationen rund um das Thema Niedrigwasser. Das Portal des Niedrigwasser-Informationszentrums (NIZ) ist im Internet Anfang 2024 in Betrieb gegangen und wurde im Februar 2024 offiziell vorgestellt. Das neue Online-Portal ist das Herzstück des Informationszentrums. Hier findet man regelmäßig aktualisierte Informationen und Prognosen zu Pegelständen und Gewässergüte in Oberflächengewässern, Seen und im Grundwasser zu Niedrigwassersituationen.

Aufgrund der in den letzten Jahren vermehrt und länger aufgetretenen Niedrigwasser- und Trockenphasen hat das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg die Wassermangelstrategie für das Land erarbeitet und aufzeigt, wo Handlungsbedarf besteht.

Mit dem Start des NIZ ist ein weiterer Meilenstein zur Umsetzung der Wassermangelstrategie des Landes erreicht. Die Verbesserung der Daten- und Informationslage ist die Grundlage für kurz- sowie langfristige wasserwirtschaftliche Entscheidungen. Dieses Informationsangebot gilt es in den kommenden Jahren konsequent weiter auszubauen. Ziel ist, dass sich die Menschen im Land rechtzeitig auf mögliche Wassermangelsituationen vorbereiten können.

Wasserbehörden und Kommunen im Land erhalten künftig sehr schnell eine Bewertung des Wasserdargebotes. Sie können auf dieser Grundlage Sofortmaßnahmen ergreifen. Die Nutzer können sich auf erforderliche Maßnahmen frühzeitig einstellen. Das NIZ-Online-Portal wird für alle Betroffenen ein wichtiges Informationsinstrument sein, beispielsweise industrielle Betriebe mit einem hohen Wasserverbrauch.

Im Online-Portal werden alle Daten gebündelt, die für die Beurteilung der Wasserlage notwendig sind: Niederschläge, Wasserstände in Fließgewässern, im Bodensee und im Grundwasser sowie Informationen zur Neubildung des Grundwassers und der Bodenfeuchte. Auch physikalische Güteparameter der Gewässer, wie die Wassertemperatur und der Sauerstoffgehalt, werden zentral zur Verfügung gestellt und bei den Analysen berücksichtigt. Mit ihrer Hilfe können kritische Situationen für Fauna und Flora der Gewässer frühzeitig erkannt werden.

Die zahlreich aufbereiteten Daten fließen in Niedrigwassermodelle ein, Prognosen zur Wasserverfügbarkeit werden erstellt und darauf aufbauend Berichte zur Lage in Baden-Württemberg und einzelnen Regionen.

Aktuell wird im NIZ-Portal die Abflusssituation für rd. 100 Pegel in Baden-Württemberg bewertet und in Niedrigwasserklassen eingeordnet. An 26 Messstationen werden zusätzlich die Güteparameter in den Fließgewässern erfasst. Die Beurteilung der Grundwasserstände erfolgt anhand von rd. 70 Messstationen. Es ist geplant, das NIZ in den kommenden Monaten und Jahren kontinuierlich auszubauen und weiterzuentwickeln.

Klimamodelle zeigen, dass in den kommenden Jahrzehnten häufiger mit länger anhaltenden Trockenphasen zu rechnen ist. Dies gilt besonders für das Sommerhalbjahr. Damit solche grundlegenden Veränderungen im Wasserhaushalt rechtzeitig erkannt werden, erstellen und aktualisieren die Mitarbeitenden des NIZ künftig Trendanalysen und Bewertungen zum Niedrigwassergehen in Oberflächengewässern und im Grundwasser.

Der Druck auf die Ressource Wasser steigt. Laut Berechnungen der Kooperation Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft, KLIWA, muss man sich künftig darauf einstellen, dass in manchen Regionen Baden-Württembergs durchschnittlich 20 % weniger Grundwasser neu gebildet wird.

Der Ministerrat hat die Strategie zum Umgang mit Wassermangel in seiner Sitzung vom 19. Juli 2022 beraten und das Umweltministerium gemeinsam mit den betroffenen Ressorts gebeten, das zugehörige 12-Punkteprogramm umzusetzen. Ein wesentlicher Punkt ist die Einrichtung des Niedrigwasser-Informationszentrums (NIZ) bei der LUBW.

Weitere Informationen:

Niedrigwasser-Informationszentrum Baden-Württemberg (NIZ)
<https://niz.baden-wuerttemberg.de/>

Wasserversorgung in Baden-Württemberg, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg
<https://um.baden-wuerttemberg.de/de/umwelt-natur/wasser/wasserversorgung>

Wassermangelstrategie Baden-Württemberg, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg
<https://um.baden-wuerttemberg.de/de/umwelt-natur/wasser/wasserversorgung/wassermangel>

(aus: Newsletter Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg und Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg vom 6. Februar 2024)

Niedersachsen Refugialgewässer zur Etablierung im Gewässersystem

Der ökologische Zustand der Gewässer im Alten Land soll verbessert werden – so fordert es eine spezielle Pflanzenschutzverordnung für das stark von der Landwirtschaft geprägte Gebiet. Neben der Reduzierung von Pflanzenschutzmitteleinträgen ist die Anlage von sogenannten Refugialgewässern dabei ein wichtiger Schritt. Ein weiteres dieser Rückzugsgewässer, von denen aus der Regeneration des 2.000 km langen Gewässersystems gelingen soll, wurde nun im Bereich Hinterdeich in der Gemeinde Steinkirchen (Landkreis Stade) fertiggestellt.

Die Projektpartner, der Unterhaltungsverband Altes Land, der Entwässerungsverband Wetterndorf und der Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), nutzten dabei ein Areal an der Grenze des Verbandsgebiets. Das in den vergangenen Wochen auf einer Fläche von 2 ha neu entstandene Gewässer bietet mit Tief- und Flachwasserzonen sowie einer neu geschaffenen Verbindung zur Steinkirchner Moorwettern ideale Voraussetzung zur Entwicklung neuer Lebensgemeinschaften schützenswerter Wasserorganismen. Sie sollen den Ausgangspunkt bilden für eine Wiederbesiedelung weiterer Abschnitte des durch den ausgeprägten landwirtschaftlichen Anbau unter Druck geratenen Gewässersystems.

Auftraggeber dieser und ähnlicher, bereits geplanter Maßnahmen sind das Land Niedersachsen und der Unterhaltungsverband Altes Land. Die Bauausführung wurde von einem Ingenieurbüro übernommen. Finanziert wurde das Vorhaben aus Sondermitteln des Niedersächsischen Umweltministeriums. Insgesamt wurden an der Moorwettern 166.000 € für den Bau in die Verbesserung des ökologischen Zustands der Gewässer im Alten Land investiert.

Zur Erfüllung der in der Sonderverordnung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) gemachten Vorgaben werden auch in anderen Verbandsgebieten der Region ähnliche Gewässer geschaffen werden. Das Alte Land steht noch am Anfang eines längerfristigen Prozesses. Bis zum Jahr 2025 gibt die Altes Land Pflanzenschutzverordnung den regionalen Akteuren Zeit, in ihrem Geltungsbereich alle Gewässer des knapp 2.000 km langen Gewässernetzes in die sogenannten Expositionsklassen eins oder zwei zu überführen. Die insgesamt 4 Klassen beschreiben unterschiedliche Risikograde für eine Belastung mit Pflanzenschutzmitteln.

Zunehmend werden diese Refugialgewässer auch auf privaten Flächen erstellt und finanziert. Der einzelne Betrieb hat dabei den Vorteil einer finanziellen Unterstützung, der zugehörige Verband profitiert davon, dass er nicht selber auf eigenen Flächen tätig

werden muss. Das jetzt abgeschlossene Projekt ist ein Schritt in die richtige Richtung. Es bedarf aber weiterer Initiativen von landwirtschaftlichen Betrieben und einer Bereitstellung zusätzlicher Flächen durch die Verbände, um die Ziele bei der Schaffung von Refugialgewässern zu erfüllen. Nur so kann eine Erholung für das Gewässersystem der Region erreicht werden. Alle auf diesem Wege geschaffenen Refugialgewässer werden in einer vom Niedersächsischen Landwirtschaftsministerium geführten Zusammenstellung gelistet.

Weitere Informationen:

Portal "Fließgewässerentwicklung", Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
<https://www.nlwkn.niedersachsen.de/startseite/wasserwirtschaft/fliessgewasserentwicklung/fliegewaesserentwicklung-ueberblicksinformation-138349.html>

(aus: Pressemitteilung Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz vom 29. Januar 2024)

Niedersachsen Hochwasserprognosen helfen und schützen vor Katastrophen

Das Winterhochwasser 2023/24 hat es wieder deutlich gezeigt: Durch frühzeitige Warnungen und Hochwasservorhersagen können Schutzmaßnahmen effektiv und rechtzeitig eingeleitet werden, um Hochwasserschäden zu verringern. Trotz des landesweit größten Hochwassers der letzten Jahre konnten durch gute Prognosen vorausschauendes Wassermanagement größere Deichbrüche vermieden werden.

Die Hochwasservorhersagezentrale Niedersachsen, HWVZ war hinsichtlich des Hochwasserereignisses vom 18. Dezember 2023 bis zum 12. Januar 2024 jeden Tag mit voller Besetzung im Dienst und hat die Lage täglich neu bewertet. Bereits zu Beginn der Hochwassersituation hat die Hochwasservorhersagezentrale (HWVZ) des Niedersächsischen Landesbetriebs für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) für mehrere Einzugsgebiete Vorabinformationen beziehungsweise Warnungen herausgegeben und auf die drohende Hochwasserlage hingewiesen. Es gab damit eine lange Vorwarnzeit, sodass sich die Einsatzkräfte vor Ort schon vor den Weihnachtstagen gut organisieren konnten. In enger Absprache mit der Talsperrenaufsichtsbehörde, den Stauanlagenbetreibern und der Hochwasservorhersagezentrale konnte an den Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken, unter Berücksichtigung der Vorhersagen ein optimiertes Abgabemanagement gefahren werden. Damit konnten die Schäden des Hochwassers deutlich reduziert werden.

Das Jahr 2023 war nicht nur das heißeste Jahr seit Beginn der Temperaturaufzeichnungen, der Dezember 2023 ist laut Deutschem Wetterdienst (DWD) auch der niederschlagsreichste Dezember seit Messbeginn in Niedersachsen. In der Fläche fielen im Dezember 2023 rd. 155 l/m² – und damit mehr als die doppelte Menge wie im Mittel üblich. Im Harz an der Station Braunlage erreichten die Mengen sogar über 385 l/m². Damit haben sich zum Beispiel für den Bereich des Oberharzes auch neue Rekorde bei der 7-Tages-Niederschlagssumme während der Niederschlags-situation um Ende Dezember 2023 herum ergeben (> 250 l/m² in 7 Tagen als Summe). Auch wenn an einigen Pegel die höch-

ten bisher gemessenen Wasserstände übertroffen wurden, das Außergewöhnliche an diesem Hochwasserereignis war die flächendeckende Betroffenheit und die lange Dauer mit großen Abflussvolumen. Solche Hochwasserlagen werden in Zeiten des Klimawandels häufiger und intensiver auftreten. Das belegen die Erkenntnisse aus den NLWKN-Projekten zu den Folgen des Klimawandels: Die Sommer werden trockener und die Winter nasser, was erhebliche negative Folgen nach sich zieht. Dies macht es umso bedeutender und wichtiger, die Hochwasservorsorge und damit auch die Hochwasservorhersage als einen zentralen Baustein im Hochwasserschutz zu denken und weiter konsequent zu stärken.

Wesentliche Grundlage für die Hochwasservorhersage ist das Pegelmessnetz des NLWKN in Niedersachsen. Damit kann der Landesbetrieb aktuelle Situationen in den Gewässern erfassen und bewerten. Gemeinsam mit den Hochwassermelddiensten in den Betriebsstellen warnt die Hochwasservorhersagezentrale Kommunen, Einsatzkräfte und Anwohner vor drohender Hochwassergefahr. In der Hochwasservorhersagezentrale haben die Fachleute extreme Hochwasserereignisse sowie die Situation in den Gewässern und an den Pegelmessstellen Niedersachsens permanent im Blick. Auf dem Portal veröffentlicht die Hochwasservorhersagezentrale im Hochwasserfall ständig aktualisierte Vorhersagen und regionsspezifische Hochwasserlageberichte, die auch von den Warn-Apps NINA und KATWARN übernommen werden. Während des Hochwassers haben wir mehr als 150 Warnberichte und an über 50 Hochwassermeldepegeln gleichzeitig Hochwasservorhersagen veröffentlicht.

Komplexe Modelltechnik und ein umfangreiches Datenmanagement sind die Voraussetzungen, um Vorhersagen für die sehr unterschiedlichen Einzugsgebiete in Niedersachsen zu erhalten. Vom Norddeutschen Tiefland bis in die Mittelgebirgsregionen: Keine Landschaft ist wie die andere. Dies muss in den angewandten Modellen berücksichtigt werden. Während des Hochwassers waren alle Landesteile betroffen, so dass alle Modellgebiete der Hochwasservorhersagezentrale zum Einsatz kamen. Erstmals haben wurden auch Vorhersagen an der Ober- und Mittelweser berechnet und diese zielgerichtet in Warnmeldungen berücksichtigt. Der langanhaltende Regen führte zum Hochwasser, aber die Situation in den niedersächsischen Gewässern kann auch anders aussehen: In den Vorjahren gab es langanhaltende Trockenperioden, die für sehr niedrige Wasserstände in den Gewässern sorgten. Es liegen demnach gegensätzliche Extreme in der Wasserwirtschaft vor: auf der einen Seite zu viel - und auf der anderen Seite zu wenig Wasser.

Ein effektives und übergreifendes Wassermanagement hilft somit, mit diesen Extremen umzugehen – vom Umgang mit Wassermangel, dem Grundwassermanagement, der Fließgewässerentwicklung, Verbesserung der Wasserqualität bis hin zum Hochwasser und einem bestmöglichen Schutz.

Weitere Informationen:

Aktuelle Pegelstände
www.pegelonline.nlwkn.niedersachsen.de

(aus: Pressemitteilung Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz vom 31. Januar 2024)

Personen

ERC Proof-of-Concept-Förderung für Prof. Jan Härter

Jan Härter, Professor für Klimaphysik an der Universität Potsdam, hat eine renommierte Proof-of-Concept-Förderung des Europäischen Forschungsrats (ERC) eingeworben. Im Projekt DakE – Hochauflösende Wetterbeobachtungen östlich von Dakar – wird der Physiker seine Forschungen zu extremen Gewitterereignissen fortsetzen, die er im Jahr 2018 mit einem ERC Consolidator Grant begonnen hat, und den Aufbau eines Flutwarnsystems in Senegal, Westafrika, vorantreiben.

Westafrika südlich der Sahara ist ein Klima-Hotspot, da es genau zwischen den feuchten Tropen und den trockenen Subtropen liegt. Selbst kleine Verschiebungen in den Monsun-Mustern der Regenzeit können dort große Veränderungen in der Wasserverfügbarkeit und extreme Niederschläge verursachen. In großen Ballungsräumen wie Dakar, Senegal, leben viele Menschen in Slums, von denen einige in überschwemmungsgefährdeten Gebieten wie Flussbetten errichtet wurden. Große Regengängen bei Extremgewittern können in solchen niedrig gelegenen Gebieten sogenannte Sturzfluten verursachen. Hinzu kommt, dass die Nahrungsmittelversorgung und die Wirtschaft Senegals einerseits von kleinen traditionellen Fischereibetrieben abhängt, die durch unerwartete Stürme vor der Küste beeinträchtigt werden, und andererseits von der Landwirtschaft, bei der die Ernteerträge verbunden sind mit der Häufigkeit der saisonalen Niederschläge, da Bewässerung nicht sehr weit verbreitet ist.

Über die künftige Entwicklung der Niederschlagsmuster ist bisher wenig bekannt, da die extremen Niederschläge größtenteils auf selbstorganisierte Gewittersysteme zurückzuführen sind, die sich nur schwer vorhersagen lassen. Andererseits stehen kaum Beobachtungsdaten aus der Region zur Verfügung, sodass es nahezu unmöglich ist, bestehende Niederschlagsmodelle anhand von Beobachtungen zu testen. Frühwarnsysteme für die lokale Bevölkerung sind deswegen unzuverlässig.

Das Vorhaben DakE zielt darauf ab, einige dieser Herausforderungen durch den Aufbau eines hochauflösenden Beobachtungsnetzes in der Region östlich von Dakar anzugehen. Gewittersysteme sollen damit nahezu in Echtzeit beobachtet werden, um das Risiko von Extremereignissen im Großraum Dakar besser einschätzen zu können. Das Projekt wird in Abstimmung mit lokalen Forschungspartnern durchgeführt: Es wird ein Netz von 30 bis 40 automatischen Wetterstationen, einschließlich Bodenfeuchtesensoren, errichtet, die über das lokale Mobilfunknetz frei zugängliche Daten mit einer zeitlichen Auflösung von einer Minute aufzeichnen. In einem zweiten Schritt wird ein Nowcasting-Flutwarnsystem für Dakar entwickelt. Schließlich wird dieses System mit den lokalen Behörden koordiniert, um ein auf Textnachrichten basierendes Frühwarnsystem für die örtliche Bevölkerung einzuführen, das vor allem den Bewohnern von Hochwasserrisikogebieten hilft.

Die Proof-of-Concept-Förderung des European Research Council für DakE wird zusätzlich zum ERC Consolidator Grant gewährt, den Prof. Härter bereits innehat. Sie richtet sich an Forschende, die das kommerzielle oder gesellschaftliche Potenzial ihres laufenden Projekts erkunden wollen, und unterstützt den Transfer von Forschungsergebnissen in die Praxis.

Weitere Informationen:

Institut für Physik und Astronomie, Universität Potsdam
<http://www.physik.uni-potsdam.de/index.php>

(aus: Medieninformation Universität Potsdam
vom 19. Januar 2024)

Emmy-Noether-Förderung für Dr. Thorsten Seehaus

Dr. Thorsten Seehaus, Dozent am Lehrstuhl für Geographie und Geowissenschaften an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU), untersucht wie sich Gletscher in den letzten 70 Jahren entwickelt haben und wie ihre Zukunft aussieht. Für das Projekt hat Seehaus eine Emmy-Noether-Förderung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) erhalten.

Der Rückgang der Eislandschaften in den tropischen Anden wirkt sich nicht nur auf lokale Ökosysteme aus: Einerseits gehen die Wasserressourcen zurück, andererseits steigt das Risiko für Überschwemmungen. Die beiden gegensätzlichen Extreme schließen sich dabei nicht aus. Gletscher sind lebenswichtige Wasserquellen, besonders während der Trockenzeit. Denn die Eismassen funktionieren während Dürreperioden wie ein Puffersystem. Das Schmelzwasser ist wichtig für die Bewässerungssysteme in den Städten, den Bergbau und beispielsweise Wasserkraftwerke. Weniger Gletschermasse bedeutet also auch weniger gespeichertes Wasser, auf das die Bevölkerung zurückgreifen kann.

Das Projekt „Die vergangene, aktuelle und zukünftige Entwicklung der Gletscher in den Tropischen Anden“ verarbeitet eine große Menge an Daten, Zeit und Arbeitskraft. Deshalb wird das innovative Forschungsvorhaben des Erlanger Wissenschaftlers mit 1,7 Mio. € gefördert. Die Gelder fließen unter anderem in das Personal und in Expeditionen in die Anden, um vor allem die Eisdicken vor Ort zu messen.

Das Emmy-Noether-Programm ermöglicht es qualifizierten Postdocs und Juniorprofessorinnen und -professoren in einer frühen Phase ihrer wissenschaftlichen Laufbahn, die Leitung einer Emmy-Noether-Gruppe zu übernehmen. In einem Zeitraum von sechs Jahren sollen sich die Leiterinnen und Leiter so für eine Hochschulprofessur qualifizieren.

(aus: Pressemitteilung Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg vom 9. Februar 2024)

Deutsche Hydrologische Gesellschaft

Hochwasserlage in Deutschland im Dezember 2023 und Januar 2024

In den Monaten um den Jahreswechsel 2023/24 gab es in weiten Teilen Deutschlands, vor allem in den nördlichen Bundesländern, verheerende Hochwässer, die durch ergiebigen Dauerregen seit dem 20. Dezember 2023 hervorgerufen wurden. An die Experten und Expertinnen der Deutschen Hydrologischen Gesellschaften (DHG) gingen seitens der Presse zu dieser Zeit viele Anfragen nach den Ursachen dieser Hochwässer ein. Das Präsidium der DHG hat daher bereits im Januar 2024 die wichtigsten Fakten zu der Hochwasserlage zusammengetragen und auf ihrer Homepage veröffentlicht (www.dhydrog.de). Dort finden Sie einige Hintergrundinformationen zur damaligen Hochwassersituation in vielen Regionen Deutschlands, wo verschiedene DHG-Präsidiumsmitglieder zum Beispiel darauf gehen, welche Herausforderungen sich aus dem Hochwasser in Bezug auf Risikomanagement und Risikobewusstsein ergeben oder welche Gefahren für Städte bei durch Starkregen verursachte Überschwemmungen bestehen. Der Präsidentin, Prof. Dr. B. Schmalz, gilt ein besonderer Dank für die sehr informative Zusammenstellung dieser zahlreichen Beiträge und Informationen.

DHG-Forschungsstipendien für hydrologische Feldstudien 2024

Auch in diesem Jahr schreibt die Deutsche Hydrologische Gesellschaft (DHG) wieder bis zu fünf Feldstipendien von bis zu 2.000 € für Nachwuchswissenschaftler aus, um sie bei innovativen hydrologischen Feldstudien zu unterstützen. Die Stipendien sollen dazu beitragen, Nachwuchswissenschaftler zu befähigen, eigenverantwortlich und auf hohem wissenschaftlichen Niveau Prozessverständnis für die hydrologische Grundlagenforschung oder für angewandte Forschungsfelder zu erlangen oder Pilotstudien für Projektanbahnungen durchzuführen. Die Stipendien werden einmal jährlich vergeben und sind für die volle Bandbreite der hydrologischen Prozessstudien vorgesehen.

Unter Nachwuchswissenschaftlern fallen Doktoranden, Postdoktoranden und in Ausnahmefällen besonders engagierte M.Sc.-Studierende. Das Stipendium kann für Reise- und Laborkosten ausgegeben werden. Gerätschaften können nur finanziert werden, wenn anderweitig kein Geld dafür zur Verfügung steht. Die Finanzierung von Kinderbetreuungskosten für die Zeit der Feldstudien erfolgt nur in Ausnahmefällen. Kongressreisen sind von der Finanzierung ausgeschlossen. Die Frist für eine Beantragung ist der 31. Mai 2024.

Alle notwendigen Unterlagen müssen bis zum 31. Mai 2024 eingereicht werden. Verbindlich ist der elektronische Posteingang. Stipendienzusagen werden ca. 5 Wochen nach der Deadline versendet. Die Bewerbung sollte inhaltlich einen weitgehend experimentellen, hydrologischen Fokus haben. Das Stipendium ist innerhalb von 12 Monaten nach der Benachrichtigung anzutreten, ansonsten verfällt der Anspruch. Die Bewerbungsunterlagen sind digital im Zeitraum 1. bis 31. Mai 2024 bei der Geschäftsstelle (geschaeftsstelle@dhydrog.de) einzureichen. Bewerbungsunterlagen umfassen eine Kurzfassung von 100 Wörtern für eine Erstveröffentlichung der Zeitschrift "Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, HyWa", eine Projektbeschreibung von

max. drei Seiten mit einer Beschreibung der wissenschaftlichen Zielsetzung, Feldstudienbeschreibung und der Erklärung der beantragten Kosten, ein maximal zweiseitiger Lebenslauf einschließlich Publikationsverzeichnis und ein kurzes (!) Gutachten einer betreuenden Person oder eines Hochschuldozenten. Der genannte Seitenumfang sollte nicht überschritten werden.

Die Begutachtung der eingegangenen Anträge wird von einem Komitee vorgenommen, das vom Präsidium der der DHG bestimmt wird und sich in der Regel aus zwei Mitgliedern des erweiterten Präsidiums zusammensetzt. Folgende Kriterien gehen zu jeweils gleichen Teilen in die Begutachtung der Anträge ein: 1) wissenschaftliche Innovation, 2) klare Vorhabensbeschreibung und Durchführbarkeit, und 3) Impact für den Karriereweg des Nachwuchswissenschaftlers.

Nach der Zusage und im Verlauf des Stipendiums wird erwartet, dass die Zuwendung der DHG in Artikeln, Konferenzen und Postern entsprechend angezeigt wird. Nach Abschluss des Stipendiums ist bei der DHG ein ca. dreiseitiger schriftlicher Bericht über das Feldstudium in der Geschäftsstelle einzureichen, welcher auf der Webseite der DHG, in der HyWa und über die DHG-News veröffentlicht werden darf. Des Weiteren sind alle Belege der entstandenen Kosten nach Abschluss der Feldreise der Geschäftsstelle vorzulegen.

Weitere Informationen finden Sie auf der Homepage der Deutschen Hydrologischen Gesellschaft: www.dhydrog.de/dhg/foerderungen/. Bei Fragen zu der Ausschreibung kontaktieren Sie bitte: Prof. Peter Chiffard, Philipps-Universität Marburg, Mitglied des geschäftsführenden Präsidiums der DHG (peter.chiffard@geo.uni-marburg.de).

Terminankündigung 5. Workshop zur Alpen Hydrologie in Obergurgl

Bereits zum fünften Mal findet vom 20. bis zum 22. November 2024 der Workshop zur Alpen Hydrologie am Universitätszentrum Obergurgl in Österreich statt. Der Workshop wird wieder traditionell gemeinsam von der Deutschen Hydrologischen Gesellschaft, der Schweizerischen Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie sowie von der Österreichischen Gesellschaft für Hydrologie organisiert. Möchten Sie einen Beitrag einreichen, senden Sie eine Zusammenfassung ihres Beitrags (Titel, Angabe aller Autoren und Affiliations, Abstract mit maximal 500 Wörter) zu einem der Themen des Workshops bitte bis zum 15. Mai 2024 an die geschaeftsstelle@dhydrog.de der Deutschen Hydrologischen Gesellschaft. Geben Sie dabei an, ob Sie lieber einen Vortrag halten oder ein Poster präsentieren möchten. Über die Annahme der eingereichten Beiträge entscheidet das wissenschaftliche Komitee. Eine Mitteilung darüber erfolgt bis zum 1. Juli 2024. Für die Anmeldung zum Workshop füllen Sie bitte das Anmeldeformular aus und senden Sie es bis zum 2. August 2024 ebenfalls an die geschaeftsstelle@dhydrog.de. Das Anmeldeformular und einen Flyer mit weiteren Informationen sind auf folgender Website zu finden: www.dhydrog.de/news/veranstaltungen/.

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

Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften

in der DWA (FgHW)

Siegfried-Dyck-Preis an Dipl.-Hydrologen Uwe Büttner

Mit dem Siegfried-Dyck-Preis prämiiert die Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften (FgHW) der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) herausragende Arbeiten in Forschung und Lehre, die nachweislich einen besonderen Beitrag zur Weiterentwicklung oder Anwendung hydrologischer Methoden und Verfahren in der Praxis leisten. Viele hydrologische Methoden und Verfahren und deren Anwendung in der Praxis basieren auf Vorleistungen, die Hydrologen in den Wasserwirtschaftsverwaltungen des Bundes und der Länder erbracht haben. Sei es die Bereitstellung von Messdaten, die Initiierung von Modellentwicklungen, die Zusammenstellung von Informationen zu hydrologischen Phänomenen oder die kritische Prüfung von Forschungsergebnissen auf ihre Praxistauglichkeit – ohne die Mitwirkung der Praxis ist die hydrologische Forschung in Deutschland schlichtweg nicht denkbar. Vor diesem Hintergrund erschien es der FgHW an der Zeit, stellvertretend für die vielen Hydrologen, die Forschungsarbeiten initiieren, begleiten und deren Ergebnisse in ihre praktische Tätigkeit einfließen lassen, Herrn Dipl.-Hydr. Uwe Büttner, Referent im Referat 45 (Landeshochwasserzentrum, Gewässerkunde) des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, einen langjährigen Praktiker der Hydrologie, zu ehren.

Herr Büttner war von 1991 bis 2003 als Hydrologe am Staatlichen Umweltfachamt Chemnitz, Referat Wasserbau mit den Schwerpunkten regionales hydrologisches Mess- und Datenwesen, Hochwasservorhersage sowie fachtechnische Bewertung von Wasserkraftanlagen in Genehmigungsverfahren tätig. Im Zuge der Umstrukturierung der Wasserwirtschaftsverwaltung wechselte Herr Büttner 2003 an das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie in Dresden. Er ist zudem Initiator einiger Pilotprojekte in Sachsen. Herr Büttner ist nicht nur ein profunder Hochwasserexperte, sondern auch ein gefragter Fachmann auf dem Gebiet der Hydrometrie. Bei seiner langjährigen Tätigkeit im hydrologischen Messdienst hat er vielfältige Erfahrungen gesammelt, die z. B. im "LAWA-Leitfaden zur Hydrometrie des Bundes und der Länder – Pegelhandbuch" ihren Niederschlag fanden. Zudem hat er Verfahren zur verbesserten Messung von hydrologischen Daten entwickelt. Besonders hervorzuheben sind dabei seine Untersuchungen zur Nutzung von Daten, die durch Laufzeitmessung akustischer Signale (Ultraschallmesssysteme) gewonnen worden sind.

Herr Büttner hat es in seiner bisher 32 Jahre andauernden Tätigkeit im hydrologischen Dienst stets verstanden, wissenschaftliche Interessen mit seinen Dienstaufgaben zu verbinden. Beispiele hierfür sind die von ihm initiierten Untersuchungen zur Ermittlung des Abflusses von Fließgewässern durch hydraulische Modellierung oder zum Informationsgewinn durch zusätzliche Pegelstandorte unter Anwendung der Entropie. Seine Unterstützung der Forschung beschränkt sich damit nicht nur auf die Datenbereitstellung, sondern beinhaltet darüber hinaus eigenständige wissenschaftliche Beiträge, die von einem tiefen Verständnis der hydrologischen Prozesse in seiner Region und langjährigen Erfahrungen geprägt sind. Mit der Verleihung des Siegfried-Dyck-Preises wird eine langjährige, engagierte und unterstützende Tätigkeit für die hydrologische Forschung gewürdigt.

Hochwasser in Deutschland zum Jahreswechsel 2023/2024 – Expertenpapier

Zum Jahreswechsel 2023/2024 waren weite Teile des norddeutschen Tieflands überflutet oder von Überflutung unmittelbar bedroht. Dies hat eine Gruppe von DWA-Experten aus den Bereichen Hochwasservorsorge, Hochwassermanagement, Hochwasserrisikokommunikation und Wasserbau (insbesondere Deichbau und Deichunterhaltung) zum Anlass genommen, die Hochwasserlage zu analysieren. Die gemeinsam gewonnenen Erkenntnisse hat die DWA auf ihren Seiten als "Lessons Learned" zusammengestellt, vorläufig eingeordnet und dringende Handlungsempfehlungen abgeleitet. Die detaillierte Analyse der Arbeitsgruppe sind in einem aktuellen DWA-Expertenpapier zu finden. Weitere Erkenntnisse und Ableitungen haben Expertinnen und Experten der DWA in einem kostenfreien WebSeminar unter dem Titel "Risiko Deich? DWA-Infoseminar anlässlich des Weihnachtshochwassers 2023" allgemein verständlich vorgestellt. Der Live-Mitschnitt des Seminars kann auf den Seiten der FgHW unter "aktuelles" aufgefunden werden.

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

Termine

Die folgenden Ankündigungen entsprechen dem Wissensstand zum Redaktionsschluss am 29. Februar 2024.

EGU24 European Geosciences Union General Assembly

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

Webseite: <https://egu24.eu>

3rd Colloquium on Vortex Dominated Flows – DisCoVor 2024

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

Webseite: www.aanmelder.nl/discover

2nd International Conference on Urban Water Interfaces

22. bis 24. April 2024 in Berlin

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

5th River Restoration Centre Annual Network Conference

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

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

SETAC Europe 34th Annual Meeting

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

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

Riverbasins 2024: Emissions in River Basins – Sources and Sinks

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

Webseite: www.riverbasins.kit.edu

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

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

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

Jahrestagung Deutsche Gesellschaft für Limnologie (DGL)

16. bis 20. September 2024 in Dresden

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

XXVIII. Sächsische Altlastenkolloquium (SALKO)

5./6. November in Dresden

Webseite: <https://www.dgfs.de/salko2024>

5. Workshop zur Alpen Hydrologie

20. bis 22. November 2024 am Universitätszentrum

Obergurgl (Österreich)

Webseite: www.dhydrog.de

Erläuterung zur Titelseite

Die Intention für das Titelbild bestand darin, sowohl die Verbindung von Beobachtungsdaten und Modellergebnissen, als auch die komplexe Verbindung zwischen Wasserbewirtschaftung und Braunkohlebergbau in den Einzugsgebieten von Spree und Schwarzer Elster darzustellen.

Oben links ist ein Teil des Strukturschemas des Wasserbewirtschaftungsmodells ArcGRM für die Einzugsgebiete von Spree und Schwarzer Elster aus dem Projekt GLOWA Elbe 1 dargestellt, mit welchem Auswirkungen von Szenarien des globalen Wandels, d. h. des sozioökonomischen und klimatischen Wandels, simuliert wurden.

Rechts daneben eine Darstellung mit Bezug zu einem im Jahr 2004 in der Zeitschrift *"Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, HyWa"* veröffentlichten Artikel. Unter dem Zitat ist ein Ausschnitt aus einer Ergebnisdatei des ArcGRM abgebildet: Monatsmittelwerte für den simulierten Zufluss nach Berlin über die Spree für 5-Jahres-Perioden zwischen den Jahren 2003 bis 2052 für ein Szenario mit Auslaufen des Braunkohlebergbaus bis zum Jahr 2040 unter Berücksichtigung des Klimawandels.

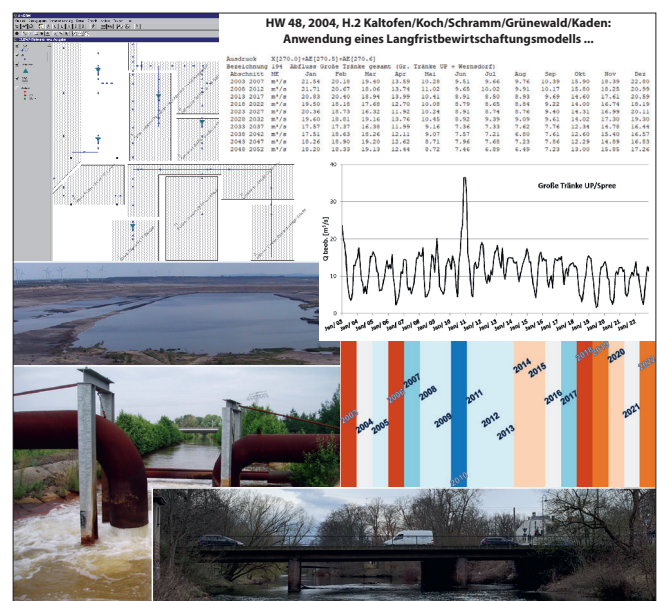
Darunter ist der am Pegel Große Tränke UP/Spree von 2003 bis 2022 beobachtete Abfluss abgebildet, weiterhin eine farbige, schematische Darstellung für den beobachteten Witterungsverlauf der Jahre 2003 bis 2022. Die Hintergrundfarben stellen die Jahresniederschlagssummen dar: normale Jahre in hellgrau, je dunkler das Blau, desto größer der Jahresniederschlag, und je dunkler das Rot, desto geringer der Jahresniederschlag.

Die Anordnung Jahreszahlen weist schematisch auf die Jahresmitteltemperatur hin: 2010 das kühlfste Jahr, 2019 das wärmste. Das Schema ist so angeordnet, dass man den Witterungsverlauf den darüber abgebildeten beobachteten Abflüssen gegenüber stellen kann.

Unten schließlich ist ein Foto des Spreepegels Sandower Brücke in Cottbus abgebildet, links darüber Sumpfungswassereinleitungen aus dem Braunkohlebergbau in die Malxe, einem Nebenfluss der Spree bzw. darüber ein Foto des in Flutung befindlichen Tagbaurestloches Bergheider See im August 2006.

Dr. habil. Hagen Koch,
Prof. Dr. Fred Hattermann
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)

Dr. Anne Gädeke
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe



Fotos: Autoren