
7. KLIWA-Symposium

am 14. und 15. September 2022 in Ingelheim

Fachvorträge

ZU WENIG | ZU VIEL –

Wasserwirtschaft zwischen
Trockenheit und Starkregen

KLIWA-Berichte

Heft 24



KLIWA

Klimaveränderung
und Wasserwirtschaft

7. KLIWA-Symposium

am 14. und 15. September 2022 in Ingelheim

Fachvorträge

ZU WENIG | ZU VIEL –

**Wasserwirtschaft zwischen
Trockenheit und Starkregen**

KLIWA-Berichte

Heft 24



KLIWA

Klimaveränderung
und Wasserwirtschaft

Impressum

Herausgeber Arbeitskreis KLIWA
Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW)
Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU Bayern)
Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz (LfU Rheinland-Pfalz)
Deutscher Wetterdienst (DWD)
www.kliwa.de

Herausgabedatum Oktober 2023

ISBN 978-3-88251-413-1

Redaktionelle
Bearbeitung Christoph Müller (LfU Rheinland-Pfalz), Dr. Manuela Nied (LUBW)

Satz: LfU

Digitalversion unter www.kliwa.de

Inhalt

Zusammenfassung	7
Grußworte	
Dr. Frank Wissmann; Präsident des Landesamtes für Umwelt Rheinland-Pfalz	10
Dr. Christiane Döll; hauptamtliche Beigeordnete der Stadt Ingelheim am Rhein	12
Eröffnungsvorträge	
Überblick über das Kooperationsvorhaben KLIWA Christian Iber; Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz	14
Klimarisiken in Deutschland und Schlussfolgerungen für die Anpassungsplanung Achim Daschkeit; Umweltbundesamt	27
Die Attribution meteorologischer Extremereignisse und die Entwicklung eines Attributionssystems für Deutschland Jordis Tradowsky, Frank Kreienkamp, Philip Lorenz; Deutscher Wetterdienst	28
Klimawandel – Politische und gesellschaftliche Herausforderungen	
Keynote: Hydrologische Extreme – neue gesellschaftliche Normalität? Prof. Dr. Christian Kuhlicke; Department Stadt- und Umweltsoziologie, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Institut für Umweltwissenschaften und Geographie, Universität Potsdam	31
Podiumsdiskussion: „Klima und Wasser im Fokus der Politik?“ mit Dr. Erwin Manz, Staatssekretär im Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität des Landes Rheinland-Pfalz, Prof. Dr. Gerhard Adrian, Präsident des Deutschen Wetterdiensts, Dipl.-Ing. Jürgen Reich, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Dipl.-Ing. Christian Wanger, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, Prof. Dr. Christian Kuhlicke, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Leipzig (UFZ)	39
Trockenheit und Hitze – Unser Wasser im Stress	
Grundwasser – Auswirkungen des Klimawandels in Süddeutschland Jörg Neumann; Bayerisches Landesamt für Umwelt	43
Aquatische Ökosysteme im Klimastress – Folgen und Schutzmöglichkeiten Sarah Oexle; Fischereiforschungsstelle Baden-Württemberg, LAZBW	51
Niedrigwasser 2018 – 2020: Verbote für mehrjährige Dürre-Ereignisse? Michael Stölzle, Kerstin Stahl; Universität Freiburg	58
Zusammenfassung der Diskussion	59
Wie aus heiterem Himmel – Starkregen kann jeden treffen	
Zukünftige Entwicklung von Starkregen in einem konvektionserlaubendem Ensemble Matthias Voigt; Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz	60



„Aus der Geschichte lernen“: Starkregenereignisse und lokale Hochwasserkatastrophen in historischer Perspektive Thomas Adam; Historiker	64
Flutkatastrophe 2021 Cornelia Weigand; Landrätin Kreis Ahrweiler	68
Auswirkungen von Starkregenereignissen auf die Gefahrenabwehr – Anpassungsstrategien von Feuerwehr und Katastrophenschutz Dr. Thomas Kutschker; Hessisches Ministerium des Innern und für Sport	69
Zusammenfassung der Diskussion	
 Stadt, Land – unter? Starkregen begegnen	
(Karten-)Instrumente zur kommunalen Starkregenvorsorge Prof. Dr. E. Ruiz Rodriguez; Hochschule Rhein-Main	71
Interkommunales Starkregenrisikomanagement im Glems-Einzugsgebiet Julia Schiller-Soetebier; Stadtbauamt Ditzingen	75
Was bedeuten zunehmende Starkregen für die Landwirtschaft? – Bodenschutz im gesellschaftlichen und klimatischen Wandel – Florian Ebertseder; Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft LfL	82
Gemeinschaftsaufgabe Hochwasser- und Starkregenvorsorge Dr. Annalena Goll; Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität Rheinland-Pfalz	83
Zusammenfassung der Diskussion	
 Umgang mit Wasserstress – Was tun gegen die Durststrecke?	
Grundwasseranreicherung im Hessischen Ried Dr. Hermann Mikat; Wasserverband Hessisches Ried	85
Ansätze für eine nachhaltige, umweltverträgliche Bewässerung Dr. Herbert Walter; Regierung von Unterfranken, Koordinierungsstelle Zukunftsstrategie Wasserwirtschaft Nordbayern	93
Trinkwasserverbundsystem in der Region Trier / Westeifel –Regionales Verbundsystem Westeifel (RVWE); Sichere Trinkwasserversorgung durch Verbundnetzlösung und Spartenübergreifende Weiterentwicklung durch Mitverlegung weiterer Medien Helfried Welsch; Vorstand Landwerke Eifel AöR	97
Wassertemperatur und Beschattung: Das Potential zusätzlicher Ufervegetation als Anpassungsmaßnahme an den klimawandelbedingten Anstieg der Fließgewässertemperaturen Ingo Haag, Katharina Teltscher, Dirk Aigner; HYDRON Ingenieurgesellschaft für Umwelt und Wasserwirtschaft mbH, Karlsruhe	101
Zusammenfassung der Diskussion	
 Schlussworte	
Andreas Christ; Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität Rheinland-Pfalz	117

Zusammenfassung

Die Klimaforschung erwartet in den nächsten Jahrzehnten weltweit eine fortschreitende Temperaturzunahme, die den Wasserhaushalt weiter beeinflussen wird: Niederschläge, ober- und unterirdische Abflüsse und damit die Wasserverfügbarkeit können sich räumlich und zeitlich ändern. Besonders verheerend können sich auch die Veränderungen der Temperatur- und Niederschlagsextreme auswirken. Dies wurde in Süddeutschland in den vergangenen Jahren durch die Trockensommer 2018 und 2022, zahlreiche Starkregenereignisse in den Jahren 2016 und 2018 sowie zuletzt durch die Jahrhundertflut 2021 im Ahrtal mit ihren dramatischen und weitreichenden Auswirkungen deutlich.

Unter dem Eindruck dieser Extremereignisse standen beim 7. KLIWA-Symposium vom 14. bis 15. September 2022 unter dem Motto „ZU WENIG | ZU VIEL – Wasserwirtschaft zwischen Trockenheit und Starkregen“ die Auswirkungen des Klimawandels auf Trockenheit und Starkregen sowie mögliche Anpassungsmaßnahmen im Fokus. Über zwei Tage wurde in der KING Kultur- und Kongresshalle in Ingelheim am Rhein referiert und diskutiert. Erstmals in der Geschichte der KLIWA-Symposien fand die Veranstaltung in einem hybriden Format statt: neben rund 150 Teilnehmenden vor Ort, nahmen noch einmal so viele Personen online teil. Die Onlineteilnehmenden waren dabei nicht nur stille Beobachtende, sondern konnten sich aktiv durch Fragen einbringen und an den Publikumsumfragen, die während der Diskussionsrunden immer wieder geschaltet wurden, teilnehmen. Der erste Tag war den Auswirkungen des Klimawandels auf Trockenheit und Starkregen gewidmet, während am zweiten Tag mögliche Anpassungsmaßnahmen präsentiert und diskutiert wurden.

Begrüßung und Eröffnungsvorträge

Zu Beginn des ersten Tages stellte Herr Christian Iber, Referent am Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz und in KLIWA tätig sowie mit der Organisation des Symposiums betraut, die mittlerweile über 20 Jahre bestehende Kooperation KLIWA vor. Gleichzeitig präsentierte er in Schlaglichtern die aktuellen Ergebnisse aus den KLIWA-Arbeitsbereichen und spannte damit den thematischen Bogen für die gesamte Veranstaltung.

Herr Dr. Achim Daschkeit vom Umweltbundesamt warb in seinem Vortrag „Klimarisiken in Deutschland und Schlussfolgerungen für die Anpassungsplanung“ dafür Anpassungsmaßnahmen nachhaltig zu gestalten und das gesellschaftliche Handeln in allen Dimensionen am Vorsorgegedanken auszurichten. Außerdem sollten Anpassungsziele visionär und ambitioniert formuliert werden.

Frau Dr. Jordis Tradowsky vom Deutschen Wetterdienst stellte in ihrem Vortrag verschiedene Ansätze der Attribution meteorologischer Extremereignisse und die Arbeiten zur Entwicklung eines Attributionssystems für Deutschland vor. Mithilfe von Attributionsstudien kann untersucht werden, ob extreme Wetter- und Klimaereignisse, in Deutschland und der Welt, durch den Klimawandel beeinflusst sind. Im Hinblick auf Hitzewellen, Dürren und großräumige Starkniederschläge können bereits robuste Ergebnisse erzielt werden.

Prof. Dr. Christian Kuhlicke vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Leipzig leitete den Block „Klimawandel – Politische und gesellschaftliche Herausforderungen“ mit seiner Keynote „Hydrologische Extreme – neue gesellschaftliche Normalität?“ ein. Es folgte eine Podiumsdiskussion unter dem Titel „Klima und Wasser im Fokus der Politik?“



Die thematischen Blöcke

- Trockenheit und Hitze – unser Wasser im Stress
- Wie aus heiterem Himmel – Starkregen kann jeden treffen
- Stadt, Land – unter? Starkregen begegnen
- Umgang mit Wasserstress – Was tun gegen die Durststrecke?

wurden mit Impulsvorträgen aus unterschiedlichen Blickwinkeln eröffnet. Im Anschluss folgte jeweils eine rund 45-minütige Diskussion.

Keynote und Podiumsdiskussion: Klimawandel – Politische und gesellschaftliche Herausforderungen

In seiner Keynote definierte Herr Prof. Dr. Christian Kuhlicke zunächst den Begriff „normal“ und beleuchtete ob wir uns im Hinblick auf den Klimawandel auf „die Dauerkrise als neues Normal“ einstellen müssen. Außerdem stellte er seine Studienergebnisse zum Verhalten von Menschen, die von Hochwasser betroffen waren, vor und zeigte Wege auf, wie die Anpassung an den Klimawandel und die damit einhergehenden größeren Hochwasserereignisse aussehen könnte.

Eine ausführliche Zusammenfassung der Keynote finden Sie auf Seite 31.

Im Anschluss an die Keynote fand eine Podiumsdiskussion unter Beteiligung von

- Dr. Erwin Manz, Staatssekretär im Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität Rheinland-Pfalz
- Jürgen Reich, Leiter des Referats Wasserbau und Hochwasserschutz, Gewässerökologie im Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, KLIWA-Obmann
- Dipl.-Ing. Christian Wanger, stellvertretender Leiter der Abteilung Wasserwirtschaft und Bodenschutz im Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz
- Prof. Dr. Gerhard Adrian, Präsident des Deutschen Wetterdiensts
- Prof. Dr. Christian Kuhlicke, Leiter Department Stadt- und Umweltsoziologie am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Leipzig

statt. Eine Zusammenfassung der Podiumsdiskussion finden Sie auf Seite 39.

Trockenheit und Hitze – unser Wasser im Stress

In den Vorträgen wurden die Auswirkungen des Klimawandels auf Grundwasserstände (Vortrag Dr. Jörg Neumann, S. 43) und aquatische Ökosysteme (Vortrag Sarah Oexle, S. 51) dargestellt. Außerdem wurde die anhaltende Trockenheit der Jahre 2018 bis 2020 inklusive ihrer Auswirkungen beleuchtet (Vortrag Dr. Michael Stölzle, S. 58).

Eine Zusammenfassung der Diskussion zum Themenblock finden Sie auf Seite 59.

Wie aus heiterem Himmel – Starkregen kann jeden treffen

Im ersten Impulsvortrag wurden die zukünftigen Auswirkungen des Klimawandels auf die Häufigkeit und Intensität von Starkregenereignissen in Süddeutschland dargestellt (Vortrag Matthias Voigt, S. 60). Im Anschluss wurde über mögliche Schlussfolgerungen aus historischen Hochwasserereignissen referiert (Vortrag Thomas Adam, S. 64). Zentraler Vortrag in diesem Block war der Beitrag von Landrätin Cornelia Weigand, die zum Zeitpunkt des Ahr-Hochwassers 2021 Bürgermeisterin der Verbandsgemeinde Altenahr war. Sie schilderte die Flutnacht aus ihrer Perspektive und die Maßnahmen, welche aus ihrer Sicht in verschiedenen Bereichen ergriffen werden sollten um in Zukunft besser auf Hochwasserereignisse vorbereitet zu sein. Abschließend skizzierte Dr. Thomas Kutschker (S. 69) die Auswirkungen von Starkregenereignissen auf die Gefahrenabwehr.

Eine Zusammenfassung der Diskussion zum Themenblock finden Sie auf Seite 70.

Stadt, Land – unter? Starkregen begegnen

Im ersten Vortrag stellte Prof. Dr.-Ing. Ernesto Ruiz Rodriguez die Karteninstrumente vor, die in Hessen für die kommunale Starkregenvorsorge geplant sind (S. 71). Im Anschluss sprach Frau Julia Schiller-Soetebier aus Ditzingen über das interkommunale Starkregenrisikomanagement im Einzugsgebiet der Glems (S. 75). Herr Florian Ebertseder skizzierte die klimawandelbedingten Herausforderungen der Landwirtschaft und ging auf die daraus resultierenden notwendigen, vielschichtigen und interdisziplinären Handlungsstränge ein (S. 82). Dr. Annalena Goll stellte abschließend die Hochwasser- und Starkregenvorsorge in Rheinland-Pfalz vor (S. 83).

Eine Zusammenfassung der Diskussion zum Themenblock finden Sie auf Seite 84.

Umgang mit Wasserstress – Was tun gegen die Durststrecke?

Zunächst stellte Dr. Hermann Mikat den Wasserverband Hessisches Ried und die Grundwasseranreicherung im hessischen Ried vor (S. 85). Anschließend skizzierte Dr. Herbert Walter von der Regierung von Unterfranken Ansätze für eine nachhaltige und umweltverträgliche Bewässerung (S. 93). Im Vortrag von Helfried Welsch wurde die interkommunale Zusammenarbeit in der Region Westeifel/Trier in den Bereichen Trinkwasser- und Energieversorgung vorgestellt (S. 97). Dr.-Ing. Ingo Haag rundete den Block mit seinem Vortrag ab. Er sprach über den Einfluss von Uferbeschattung auf die Temperatur von Fließgewässern (S. 101).

Eine Zusammenfassung der Diskussion zum Themenblock finden Sie auf Seite 116.



Grußworte

Dr. Frank Wissmann
Präsident des Landesamtes für Umwelt Rheinland-Pfalz

Sehr geehrte Damen und Herren,

ich begrüße Sie alle herzlichst zum 7. KLIWA-Symposium hier in Ingelheim am Rhein.

Ganz besonders begrüßen möchte ich

- aus Rheinland-Pfalz für das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität, Herrn Staatssekretär Dr. Erwin Manz;
- aus Baden-Württemberg für das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, den Leiter des Referats Wasserbau und Hochwasserschutz, Herrn Jürgen Reich;
- aus Bayern für das Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, den stellvertretenden Leiter der Abteilung Wasserwirtschaft und Bodenschutz, Herrn Christian Wagner;
- den Präsidenten des Deutschen Wetterdienstes, Herrn Professor Dr. Gerhard Adrian;
- vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung in Leipzig, Herrn Professor Dr. Christian Kuhlicke;
- und als Vertreterin der Stadt Ingelheim, die Beigeordnete der Stadt Ingelheim Frau Dr. Christiane Döll.

Sehr geehrte Damen und Herren,

Alexander von Humboldt führte von 1799 bis 1806 eine Forschungsreise nach Südamerika durch. Er hatte eine Unzahl an Messgeräten dabei und bestimmte jede Menge physikalische und chemische Parameter; sammelte Pflanzen und beobachtete die Natur. Und er erkannte die Zusammenhänge in einem komplexen ökologischen System.

In seinem Bericht über die „Reise in die Äquinoktial-Gegenden des Neuen Kontinents“ schreibt er:

„Zerstört man die Wälder, wie die europäischen Ansiedler allerorten in Amerika mit unvorsichtiger Hast thun, so versiegen die Quellen oder nehmen doch stark ab. Die Flussbetten liegen einen Teil des Jahres über trocken und werden zu reißenden Strömen, so oft im Gebirge starker Regen fällt. Da mit dem Holzwuchs auch Rasen und Moos auf den Bergkuppen verschwinden, wird das Regenwasser im Abfließen nicht mehr aufgehalten; statt langsam durch allmähliche Sickerung die Bäche zu schwellen, furcht es in der Jahreszeit der starken Regenniederschläge die Bergseiten, schwemmt das losgerissene Erdreich fort und verursacht plötzliches Austreten der Gewässer, welche nun die Felder verwüsten.“

Das schrieb Alexander von Humboldt vor über 200 Jahren.

Seine Beobachtungen der Natur führte ihn zu der fundamentalen Erkenntnis:

Alles ist Wechselwirkung – alles hängt mit allem zusammen.

Daran sollten wir uns immer erinnern, wenn wir heute über den Klimawandel und sein Folgen reden. Denn bereits das Klima an sich ist schon ein hoch komplexes System und die Auswirkungen des Klimawandels betreffen nicht nur das Wasser, auch der ganze Rest der Natur ist davon betroffen: Pflanzen, Tiere und alle ihre Lebensräume, selbst die Geologie – und nicht zuletzt auch der Mensch.

Der Klimawandel ist mittlerweile im Bewusstsein der Bevölkerung angekommen, und die Auswirkungen haben wir in den letzten Jahren teilweise sehr schmerzvoll erfahren können. Um dem Klimawandel entsprechend begegnen zu können, benötigt es eine sehr breite wissenschaftliche Expertise. Ganz wie es Alexander von Humboldt schon getan hat: beobachten, messen und die Zusammenhänge erkennen – alles hängt mit allem zusammen.

Dieser Grundsatz liegt auch dem Kooperationsvorhaben KLIWA zugrunde, das im Jahr 1999 durch die Länder Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz und dem Deutschen Wetterdienst gegründet wurde.

Der Schwerpunkt von KLIWA ist es, die Auswirkungen der Klimaveränderung auf den Wasserhaushalt und die Ökologie der Flussgebiete zu untersuchen um daraus Konsequenzen abzuleiten, die wiederum als Basis für die Empfehlung von Maßnahmen dienen. Und hier kommt die Politik ins Spiel, denn die Umsetzung von Maßnahmen erfordert entsprechende politische Rahmenbedingungen und auch eine langfristige Finanzierung. Denn Nichtstun kostet am Ende viel mehr Geld. Umso wichtiger ist es, dass in großen Teilen der Politik inzwischen ein entsprechendes Bewusstsein für die Bekämpfung des Klimawandels und für die Anpassung an den Klimawandel da ist. Dazu leisten auch die Forschungsergebnisse und Handlungsempfehlungen von KLIWA einen wichtigen Beitrag.

Nach dem ersten Tag des KLIWA-Symposiums mit dem Schwerpunkt „Auswirkungen des Klimawandels“ beschäftigen wir uns am zweiten Tag mit dem Schwerpunkt „Anpassungen an den Klimawandel“. Ein Themenfeld, dessen Bedeutung KLIWA von Beginn an im Fokus hat.

Ich wünsche uns allen eine interessante Veranstaltung und bedanke mich für Ihre zahlreiche Anwesenheit – ob in Präsenz oder online. Die mehr als 220 Teilnehmerinnen und Teilnehmer zeigen die Bedeutung von KLIWA und das nicht nur aus wissenschaftlicher Sicht.

Bedanken möchte ich mich an dieser Stelle insbesondere bei Herrn Iber und allen aus dem Organisationsteam, aus dem Landesamt wie aus dem Ministerium, für die tolle Organisation des Symposiums. Vielen Dank auch an Frau Dr. Grobe und das Team von DIALOG BASIS für die exzellente Moderation und Begleitung durch die Veranstaltung.

Vielen Dank.



Grußworte

Dr. Christiane Döll
hauptamtliche Beigeordnete der Stadt Ingelheim am Rhein

Sehr geehrte Damen und Herren,

ich freue mich ganz außerordentlich Sie alle hier in Ingelheim in der KING begrüßen zu dürfen. Auch im Namen von Oberbürgermeister Ralf Claus darf ich Sie zum zweiten Tag Ihres KLIWA-Symposiums in Ingelheim willkommen heißen.

Das Thema Ihrer Veranstaltung passt – aus meiner Sicht als Feuerwehrdezernentin – sehr gut zur aktuellen Situation. Wir hatten insgesamt 79 Feuerwehr-Einsätze aufgrund des gestrigen Starkregenereignisses. 78 Mal mussten Keller leer gepumpt werden, einmal rückte die Feuerwehr wegen eines Rauchwarnmelders aus – glücklicherweise war dies ein Fehlarbeit. Zeitweise musste sogar der Bahnverkehr unterbrochen werden. Alle drei Einheiten der Freiwilligen Feuerwehr Ingelheim waren bis weit nach Mitternacht unterwegs und wurden dabei auch von Kolleg:innen der Nachbarkommune Gau-Algesheim unterstützt.

Ich hoffe, Sie hatten trotz des Starkregenereignisses bislang eine gute Zeit hier in Ingelheim. Eines Ihrer Themen ist ja „Wie aus heiterem Himmel – Starkregen kann jeden treffen“ und was für ein Zufall, genau hier zu Ihrem Symposium hat es Stadtteile von Ingelheim getroffen.

Als Landwirtschafts- und Klimaschutzdezernentin kenne ich auch die Problematik der Trockenheit und der heißen Perioden. Derzeit führen wir zusammen mit dem Deutschen Wetterdienst DWD und dem Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen das Forschungsprojekt KlimPraxIng – Klimawandel in der Praxis am Beispiel der Stadt Ingelheim durch. Es gibt schon interessante Zwischenergebnisse: Der DWD hat Stadtquartiere mit einer starken Überwärmung gegenüber dem Umland lokalisiert und nächtliche Kaltluftströmungen und ihre Belüftungsrelevanz für die städtischen Überwärmungsgebiete analysiert. Das spannende an dem Projekt KlimPraxIng ist, dass wir die Ergebnisse in die kommunale Planungspraxis aufnehmen wollen. Das heißt, wir wollen nicht nur analysieren, was die Klimaänderungen in den nächsten Jahren und Jahrzehnten für das Stadtgebiet von Ingelheim bedeuten, sondern wir wollen planerische Instrumente und konkrete Klimaanpassungsmaßnahmen entwickeln.

Dann möchte ich Ihnen berichten, dass wir den Masterplan „CO2-neutrales und klimaresilientes Ingelheim“ auf den Weg gebracht haben. Wir haben uns ambitionierte Ziele gesetzt und wollen nicht nur deutlich Energie einsparen, CO2-neutral werden und den Ausbau der erneuerbaren Energien voranbringen, sondern wir wollen Ingelheim auch klimaresilient machen, nicht nur planerisch, sondern auch ganz konkret mit den Winzer:innen und Landwirten. Auch im Gesundheitsbereich sind aufgrund der zunehmenden Hitzetage Resilienzmaßnahmen notwendig. In unserer kommunalen Verantwortung liegen beispielsweise Kitas und Grundschulen.

Ich bin mir sicher, Klimaresilienz wird in den nächsten Jahren eine immer größere Rolle spielen. Die Frage an Wissenschaft, Politik und Gesellschaft ist: Wie können wir die Klimaänderungen, die schon heute spürbar sind, so managen, dass unser Leben, insbesondere das der vulnerablen Gruppen, weiterhin gut möglich ist? Wie verändern die Klimaänderungen direkt oder indirekt unsere Kulturlandschaft, wie muss sich die Landwirtschaft anpassen?

Ich habe in der Gefahrgutüberwachung gearbeitet. Alle zwei Jahre werden die Gefahrgut-Vorschriften für den Straßenverkehr bezüglich Verpackung, Ladungssicherung und Kennzeichnung ergänzt und

geändert. Immer dann werden bedeutsame Änderungen vorgenommen, wenn ein großer Unfall oder eine Katastrophe geschehen ist. Vielleicht erinnern sich einige von Ihnen an den Gefahrgutunfall 1987 in der hessischen Stadt Herborn. Ein mit Benzin und Diesel beladener Lkw löste einen Großbrand aus. Dabei kamen sechs Menschen ums Leben und 38 wurden verletzt. Zwölf Häuser brannten ab und 44 Menschen verloren ihre Wohnungen. Es folgte eine Debatte über Gefahrguttransporte und der damalige Bundesverkehrsminister kündigte verschärfte Sicherheitsbestimmungen und Kontrollen an. Im Gefahrgutrecht wurden Änderungen vorgenommen.

Bei Gefahrgutunfällen handelt es sich um zeitlich begrenzte, lokale Ereignisse. Der Klimawandel ist schleichend und hat globale wie auch lokale Auswirkungen – bis hin zu Katastrophen. Und die Auswirkungen betreffen uns alle. Aber sind die Klimaschutzmaßnahmen und die rechtlichen Vorgaben ausreichend? Die Erfahrungen aus Gefahrgutrecht und Gefahrgutunfällen könnten uns lehren, dass wir vorausschauend gesetzliche Änderungen auf den Weg bringen und Maßnahmen umsetzen müssen und nicht erst, wenn die Klimakatastrophe schon geschehen ist oder Kipppunkte überschritten sind.

Für die wahrscheinlichen Szenarien, die die Wissenschaft erarbeitet hat, sind wir – Kommune, Land und Bund – nach meiner Einschätzung nicht ausreichend vorbereitet. Wir müssen noch sehr viel mehr tun und deshalb ist es so wichtig, dass Sie sich heute diese Themen auf die Agenda gesetzt haben und beraten, wie Lösungen für die Praxis aussehen können.

Ziel sollte es sein, dass wir es mit Ihrer Expertise schaffen, rechtzeitig effiziente Projekte und Maßnahmen auf den Weg zu bringen und nicht erst darauf warten, bis die große Katastrophe da ist, sondern dass wir lernen, schon jetzt klimaresiliente Entscheidungen zu treffen.

Ihnen gute Diskussionen und Beratungen! Fühlen Sie sich trotz des gestrigen Starkregenereignisses in Ingelheim herzlich willkommen!

Überblick über das Kooperationsvorhaben KLIWA

Christian Iber
Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz

1. Einleitung – Was ist KLIWA?

Das Kooperationsvorhaben „Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“, kurz KLIWA, ist ein seit inzwischen über 20 Jahren bestehender erfolgreicher Zusammenschluss der drei süddeutschen Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern, Rheinland-Pfalz mit dem Deutschen Wetterdienst. Im Fokus standen dabei zunächst die klimawandelbedingten Veränderungen der Hochwasserabflüsse in Vergangenheit und Zukunft sowie die Mittel- und Niedrigwasserabflüsse. Bis heute sind mit Untersuchungen und Publikationen zu Grundwasser, Gewässerökologie, Starkregen und Bodenerosion weitere wasserwirtschaftliche Themenbereiche vor dem Hintergrund des Klimawandels hinzugekommen. Die Ergebnisse der Kooperation werden in regelmäßigen Abständen auf KLIWA-Symposien präsentiert.

Das Ziel dieser langjährigen länder- und fachübergreifenden Zusammenarbeit ist es, durch Analyse der bisherigen Beobachtungen die bereits aufgetretenen Veränderungen aufzuzeigen, mögliche zukünftige Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt herauszuarbeiten und die Folgen bewusst zu machen. Darauf aufbauend werden gemeinsame Strategien und Handlungsempfehlungen der Kooperationspartner erarbeitet.

KLIWA befasst sich derzeit mit den Themen Hochwasser, Niedrigwasser, Grundwasser, Starkregen, Bodenerosion und Gewässerökologie. In dem gemeinsamen länder- und fachübergreifenden Vorgehen bei der Untersuchung dieser Themen stützt sich KLIWA auf drei Säulen (Abbildung 1):

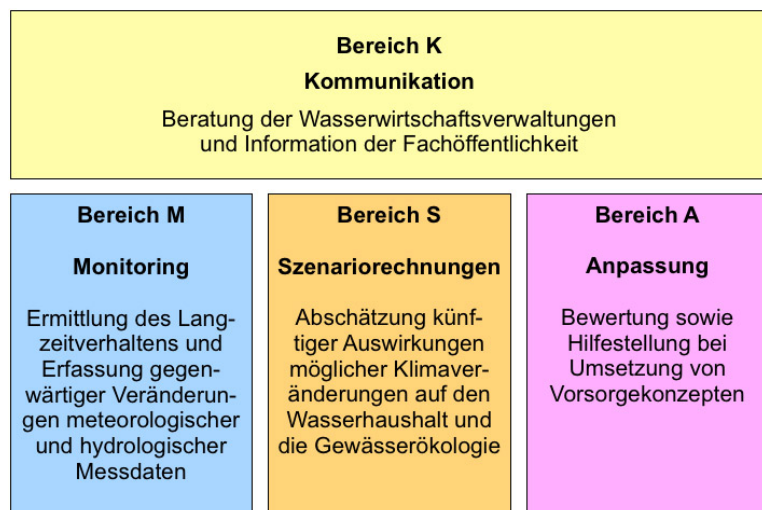


Abbildung 1: Struktur der KLIWA-Projektbereiche.

- **Bereich M:** Langjährige meteorologische und hydrologische Messdaten sind Voraussetzung für Untersuchungen zum Klimawandel – je länger desto besser. Diese Messdaten zeigen Entwicklungen des Klimas in der Vergangenheit und dessen Auswirkungen auf Hochwasser, Niedrigwasser und die Grundwasserneubildung auf. Ergänzend zur Untersuchung des Langzeitverhaltens wird regelmäßig die gegenwärtige Entwicklung an einer möglichst konstant bleibenden Auswahl von Messstellen beobachtet und bewertet.

- **Bereich S:** Das zukünftige Klima wird mit sogenannten regionalen Klimaprojektionen abgeschätzt. Diese Klimadaten einer möglichen Zukunft sind Grundlage für die Simulation des zukünftigen Wasserhaushalts von Flussgebieten. Somit können die künftigen Auswirkungen möglicher Klimaveränderungen auf den Wasserhaushalt und die Gewässerökologie abgeschätzt werden.
- **Bereich A:** Die klimawandelbedingten Veränderungen in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft erfordern Anpassungsmaßnahmen. Diese werden bewertet und gegebenenfalls konkretisiert.

Ein umfassendes Bild ergibt sich erst aus der Zusammenschau dieser drei Säulen. Die Ergebnisse werden aufbereitet und in Publikationen und Vorträgen insbesondere für die Wasserwirtschaftsverwaltung veröffentlicht (Bereich K).

Das siebte KLIWA-Symposium trägt den Titel „ZU WENIG | ZU VIEL – Wasserwirtschaft zwischen Trockenheit und Starkregen“ und setzt mit den gegensätzlichen Schwerpunktthemen auf zwei sehr aktuelle Herausforderungen in der Wasserwirtschaft. Die markante Trockenphase 2022 reiht sich ein in vergangene Ereignisse, darunter 1976 und mehrere Ereignisse im 21. Jahrhundert, zuletzt 2015 und 2018. Neben diesem „zu wenig“ an Wasser, stellen uns Starkregenereignisse, mit einem „zu viel“ an Wasser, nicht erst seit dem katastrophalen Hochwasser an der Ahr und in der Eifel 2021 vor enorme Herausforderungen. Zuletzt sind 2014, 2016 und 2018 gehäuft nennenswerte Starkregenereignisse mit hohem Schadenspotenzial in weiten Teilen des KLIWA-Gebiets beobachtet worden. Dennoch wird das Ereignis 2021 eine herausragende Zäsur darstellen. KLIWA-Untersuchungen zeigen, dass diese (Extrem-)Ereignisse von einerseits zu viel Wasser und andererseits zu wenig Wasser Folgen der Klimaerwärmung sind. In Zukunft wird ihre Anzahl weiter zunehmen und sie werden intensiver ausfallen.

Am Beispiel der Ahr zeigt sich, dass das Thema „ZU WENIG | ZU VIEL“ hoch aktuell ist. Beim katastrophalen Hochwasser im Juli 2021 hat eine gewaltige Flutwelle 134 Menschenleben gefordert und eine ungekannte Zerstörung mit sich gebracht. Auch die gewässerkundlichen Pegel wurden stark in Mitleidenschaft gezogen; vom Pegel Altenahr blieb nur der Sockel stehen (Abbildung 2). Dem gegenüber zeigte sich die Ahr im Juli 2022 von einer ganz anderen Seite (Abbildung 3). An der Mündung in den Rhein floss die Ahr mit einem Abfluss von nur noch 1,5 m³/s. Durch das gleichzeitig aufgetretene noch deutlichere Niedrigwasser im Rhein versickerte die Ahr im Kiesbett des Rheins bevor sie diesen oberflächlich erreichen konnte.



Abbildung 2: Der zerstörte Pegel Altenahr (Sockel in der Mitte) nach dem Hochwasser im Juli 2022.
Quelle: Jürgen Michels / Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd.



Abbildung 3: Die Mündung der Ahr in den Rhein bei Sinzig im Juli 2022.
Quelle: Enno Nilson / Bundesanstalt für Gewässerkunde.

Neben Untersuchungen zu Starkregen und Trockenheit ist KLIWA auch in weiteren wasserwirtschaftlichen Themenfeldern aktiv (Abbildung 4) und hat für diese ebenfalls Auswertungen durchgeführt. Ende letzten Jahres wurde das Klimamonitoring im aktuellen Monitoringbericht 2021 fortgeschrieben. In die Zukunft gerichtet wurden für den Oberflächen- und Grundwasserabfluss Wasserhaushaltsmodellierungen mit dem KLIWA-Ensemble durchgeführt. Das KLIWA-Ensemble besteht aus neun dynamischen Klimaprojektionen des Emissionsszenarios RCP8.5. Die Ergebnisse hieraus werden helfen, die Bandbreite der möglichen Veränderungen des Wasserhaushalts belastbarer zu machen.



Abbildung 4: Aktuelle Themenfelder im Kooperationsvorhaben KLIWA.

Auch in Forschungsfragen ist KLIWA aktiv und untersucht beispielsweise, in wie weit die Beschattung von Fließgewässern einen Einfluss auf die Entwicklung der Gewässertemperaturen hat. Dies geschieht interdisziplinär unter Mitwirkung aus den Themenbereichen Gewässerökologie und Wasserhaushaltsmodellierung.

2. Methodisches Vorgehen – Monitoring & Projektionen

KLIWA geht bei der Analyse methodisch vor. Dies wird bereits durch die KLIWA-Struktur (Abbildung 1) deutlich. Die Auswertung von Grundlagendaten erfolgt hierbei in den beiden Strukturfeldern Monitoring und Szenariorechnungen.

Monitoring der Vergangenheit und Langzeitverhalten

Ein wichtiger Baustein von KLIWA ist das Klimamonitoring, mit dem verschiedene relevante meteorologische und hydrologische Kenngrößen in ihrer zeitlichen Entwicklung erfasst und in regelmäßigen Abständen ausgewertet werden. Damit lassen sich die Auswirkungen des Klimawandels verfolgen und langfristige Trends erkennen. Diese Auswertungen werden in Klimamonitoringberichten veröffentlicht, die in der Regel alle fünf Jahre fortgeschrieben werden. Bisher sind die Ergebnisse als KLIWA-Hefte 2, 3, 5-8 sowie später als Monitoringberichte in den Jahren 2008, 2011 und 2016 veröffentlicht worden.

Mit dem aktuellen Klimamonitoringbericht 2021 werden Veränderungen des regionalen Klimas und des Wasserhaushalts in den KLIWA-Kooperationsländern sowie bei einem Teil der Größen auch erstmals zusätzlich in einem erweiterten KLIWA-Gebiet mit den Gastbundesländern Hessen und dem Saarland bis zum Jahre 2020 dokumentiert und bewertet. Zusätzlich werden außergewöhnliche und extreme Ereignisse des Zeitraums 2016–2021 dargestellt.

Den Kern des Monitoringberichts stellen die Trenduntersuchungen langjähriger Messreihen in den folgenden Bereichen dar:

- Meteorologie: Lufttemperatur und Niederschlag
- Hoch- und Niedrigwasserabflüsse, Mittlere Abflüsse
- Grundwasserstände und Quellschüttungen
- Gewässerökologisches Klimafolgenmonitoring (informativ)
- Auswertungen zum Schichtungsverhalten des Bodensees
- Zusätzliche Auswertungen für Lufttemperatur, Niederschlag, Abflüsse mit detaillierten Auswertungen zu den untersuchten KLIWA-Regionen und Messstellen, die im Hauptbericht nur exemplarisch dargestellt wurden.

Einige zentrale Kernaussagen zur Klimaentwicklung in Süddeutschland aus dem aktuellen Monitoringbericht 2021 können wie folgt benannt werden:

- Die Lufttemperatur steigt weiter hoch signifikant an; allein im Zeitraum 2016–2020 gegenüber 2011–2015 um 0,3 K.
- Schwächere Trends bestehen im Niederschlag durch die trockenen und warmen Jahre im 21. Jahrhundert. Auch wenn die letzten 15 bis 20 Jahre überwiegend trocken waren, liegen sie im normalen Schwankungsbereich des 30-jährigen Mittels.
- Es besteht eine Zunahme der Hochwasserabflüsse an der Mehrzahl der Pegel im Gesamtjahr und vor allem im Winterhalbjahr, aber auch im Sommerhalbjahr.

- Für die mittleren Abflüsse und die jährlichen 7-tägigen Niedrigwasserabflüsse zeigt sich durch die Verlängerung der Zeitreihe bis 2020 eine Trendumkehr hin zu abnehmenden Abflüssen.
- Im Grundwasser weisen über 80 % der untersuchten Messstellen eine Tendenz hin zu niedrigeren Grundwasserständen und Quellschüttungen auf.
- Der Bodensee weist Tendenzen einer deutlichen Erwärmung auf.

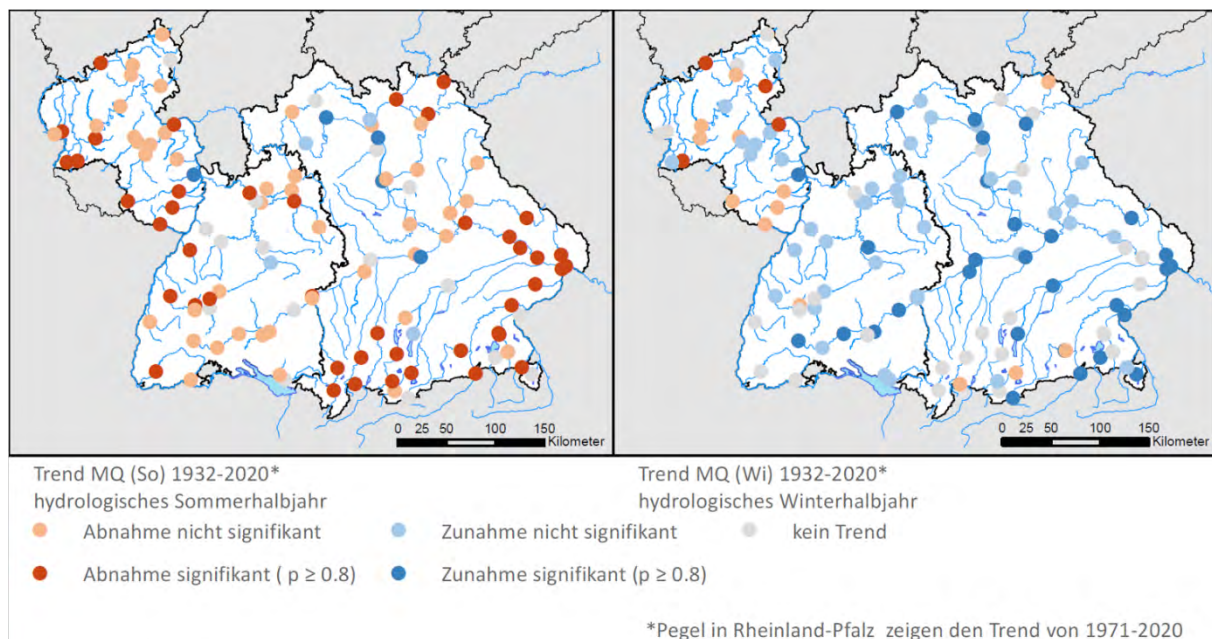


Abbildung 5: Jahreszeitliche Betrachtung des mittleren Abflusses für das KLIWA-Gebiet anhand der Monitoringpegel für den Zeitraum 1932-2020.

Bei Betrachtung des mittleren Abflusses im KLIWA-Gebiet lässt sich der grundsätzliche Trend zu mehr Wasser im Winter und weniger Wasser im Sommer erkennen (Abbildung 5). Dies basiert auf der Auswertung langer Zeitreihen von 1932 bis 2020. Auch die statistische Signifikanz der Aussagen nimmt weiter zu. Die Aussagen des Monitoringberichts 2021 zeichnen kein neues Bild der Situation, werden in ihrer Aussagekraft allerdings immer deutlicher.

Szenariorechnungen: Wasserhaushaltsmodellierungen mit Klimaprojektionen

Um das zukünftige Verhalten des Wasserhaushalts und die zukünftige Abflusssituation in Süddeutschland zu ermitteln reicht es nicht aus das Langzeitverhalten der Vergangenheit zu erfassen und die Entwicklungsrichtung linear in die Zukunft zu verlängern. Zu komplex ist das Zusammenwirken von Klimakenngrößen und weiteren Gegebenheiten wie Geologie, Boden oder Landnutzung. Hierfür werden (Boden-) Wasserhaushaltsmodelle verwendet, welche diese Größen berücksichtigen können.

Mit Wasserhaushaltsmodellen ist es möglich, die räumliche und zeitliche Verteilung wesentlicher Komponenten des Wasserhaushaltes wie Verdunstung, Versickerung, Wasserspeicherung und Abfluss zu berechnen. Mit ihrer Hilfe können die Auswirkungen von Veränderungen auf das Gesamtsystem „Wasserhaushalt“ dargestellt und bewertet werden.

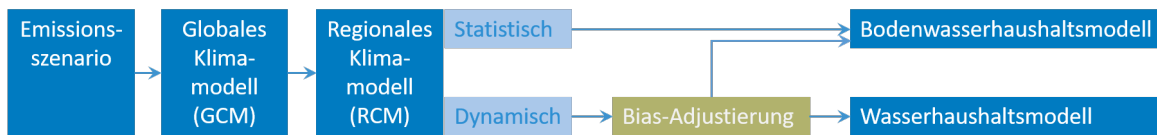


Abbildung 6: Modellkette vom Emissionsszenario hin zur Wirkmodellierung mit (Boden-) Wasserhaushaltsmodellen.

Die Wasserhaushaltsmodellierung schließt sich als letztes Glied an die Modellkette (Abbildung 6) der regionalen Klimaprojektionen an. Die regionalen Klimaprojektionen liefern dabei die klimatischen Eingangsgrößen eines Wasserhaushaltsmodells. Regionale Klimamodelle gliedern sich in statistische, d.h. sie nutzen beobachtete Zustände des Klimas, oder dynamische Modelle, die physikalisch hergeleitet sind. Nicht immer sind die Eingangsgrößen aus einer regionalen Klimaprojektion absolut plausibel. Insbesondere bei dynamischen Klimamodellen müssen sie vor der Verwendung im Wasserhaushaltsmodell systematisch korrigiert werden. Dieses Verfahren, das auch den Wirkmodellierungen in KLIWA zugrunde liegt, wird als „Bias-Korrektur“ oder „Bias-Adjustierung“ bezeichnet.

Die Durchführung globaler und regionaler Klimamodellrechnungen erfolgt in der Regel mit Großrechnern, da diese Simulationen sehr viel Rechenkapazität und Speicherplatz benötigen. Selbst mit der Verwendung von Großrechnern vergehen für die Erstellung von Klimamodellläufen bis zu mehreren Monaten. Durch die Vielzahl an globalen und einer ebenfalls großen Anzahl von regionalen Klimamodellen ergeben sich so viele Kombinationsmöglichkeiten, dass die Auswahl von geeigneten Projektionen nicht nur unübersichtlich, sondern auch äußerst komplex ist. Sowohl beim Deutschen Wetterdienst wie auch bei KLIWA wurden daher Überlegungen zur sinnvollen Reduktion von sehr vielen Projektionen hin zu einem kleinen, handhabbareren Ensemble angestellt. Das Ziel der Reduktion ist es, mit möglichst wenigen Projektionen einen Großteil der Gesamtheit in Bandbreite und Aussage wiedergeben zu können.

Um hierfür geeignete Projektionen zu identifizieren, wurde das in Bayern entwickelte Klimaaudit angewendet, ein Bewertungsverfahren, um Projektionen mit einander vergleichen zu können. Hierbei wurde auch darauf geachtet, dass Projektionen für das hydrologische Deutschland vorliegen, die auch die ausländischen Anteile von Einzugsgebieten berücksichtigen. Im Ergebnis dieser Prüfung haben sich neun dynamische und zwei statistische Klimamodelle als geeignet herausgestellt, welche seit 2019 das KLIWA-Ensemble bilden (Tabelle 1). Alle Projektionen basieren auf dem Hochemissionsszenario RCP8.5.

Zur Verwendung des KLIWA-Ensembles in einer Wirkmodellierung werden die Klimamodelle zunächst einem weiteren Bearbeitungsschritt unterzogen. So muss für dynamische regionale Klimamodelle in der Regel die oben bereits beschriebene Bias-Adjustierung durchgeführt werden. Der Bias ist eine systematische Abweichung von Modellen gegenüber vergleichbaren Beobachtungen. Diese Abweichung ist in jedem Modell und für jeden Klimaparameter unterschiedlich stark ausgeprägt. Die Bias-Adjustierung wird in KLIWA derzeit für die Parameter Lufttemperatur, Niederschlag, relative Luftfeuchte und Globalstrahlung durchführt.

Mit dem KLIWA-Ensemble wird Rheinland-Pfalz ab 2020 neue flächendeckende Wasserhaushaltssimulationen durchführen. Der bisher in Wasserhaushaltsmodellierungen verwendete Zukunftshorizont bis 2050 wird dabei nun bis 2100 ausgeweitet, um für unterschiedliche Zeithorizonte des 21. Jahrhunderts Aussagen liefern zu können. Dabei werden nachfolgende drei Zeithorizonte betrachtet und mit dem KLIWA-Referenzzeitraum 1971-2000 verglichen:

2021 bis 2050: Nahe Zukunft

2041 bis 2070: Mittlere Zukunft

2071 bis 2100: Ferne Zukunft



Tabelle 1: Das KLIWA-Ensemble (2019) mit zusätzlichen statistischen regionalen Klimamodellen, die in der Wirkmodellierung des Grundwassers Anwendung finden.

Globalmodell	Regionalmodell	Szenario
ICHEC-EC-EARTHr12	CLMcom-CCLM4-8-17	RCP8.5
MIROC5r1	CLMcom-CCLM4-8-17	RCP8.5
MPI-ESM-LRr1	CLMcom-CCLM4-8-17	RCP8.5
ICHEC-EC-EARTHr1	KNMI-RACMO22E	RCP8.5
ICHEC-EC-EARTHr12	KNMI-RACMO22E	RCP8.5
ICHEC-EC-EARTHr12	SMHI-RCA4	RCP8.5
MPI-ESM-LRr1	SMHI-RCA4	RCP8.5
MOHC-HadGEM2-ESr1	WRF361H	RCP8.5
MPI-ESM-LRr1	WRF361H	RCP8.5

3. Ergebnisse der Themenfelder in KLIWA

In den Jahren 2020-2022 wurden in den Themenfeldern Oberflächenabfluss und im Grundwasser (Boden-)Wasserhaushaltsmodellierungen mit dem KLIWA-Ensemble durchgeführt. Im Folgenden werden exemplarisch Ergebnisse aus dem Bereich Oberflächenabfluss vorgestellt. Bei den Ergebnissen aus dem Bereich Grundwasser sei auf die späteren Vorträge und Diskussionen im Schwerpunktthema Trockenheit dieses Tagungsbandes verwiesen, insbesondere den Impulsvortrag von Dr. Jörg Neumann.

Für die Wasserhaushaltsmodellierungen der Oberflächengewässer wurde das aus neun dynamischen regionalen Klimaprojektionen bestehende KLIWA-Ensemble als Antrieb der Wasserhaushaltsmodelle WaSiM (in Bayern) bzw. LARSIM (in Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz) verwendet. Die Simulationen wurden dabei transient von 1970 bis 2100 gerechnet. Die Analysen wurden dann für die drei zukünftigen Zeitbereiche „nahe Zukunft“, „mittlere Zukunft“ und „ferne Zukunft“ durchgeführt und mit dem Referenzzeitraum verglichen.

Untersucht wurde neben den jährlichen, halbjährlichen und monatlichen Veränderungen von Abflusskennwerten (MQ, MNQ, MHQ, NM7Q) auch erstmals die Wassertemperatur mit dem LARSIM Wärme-modellansatz. Exemplarisch wurde auch die Veränderung verschiedener Hochwasserjährlichkeiten (z. B. HQ100) durchgeführt, eine abschließende Auswertung dieser Extremwertbetrachtung steht zum gegenwärtigen Zeitpunkt jedoch noch aus.

Hochwasser (MHQ): Im Winter steigt die Gefahr

In Süddeutschland muss zukünftig mit einer Zunahme der winterlichen Niederschläge gerechnet werden. Dies verschärft besonders bei pluvialen Abflussregimen die Hochwassergefahr, da dort das natürliche Abflussmaximum im Winterhalbjahr auftritt. Zudem steigt durch eine wärmere Atmosphäre das Potential für intensivere Niederschläge. Wie sich diese Veränderungen auf die Hochwasserabflüsse auswirken, wird in KLIWA durch das Monitoring von Abflussmessungen und die Auswertung von Abflussprojektionen untersucht. Diese Untersuchungen liefern die Grundlagen für die Bestimmung geeigneter Anpassungsmaßnahmen.

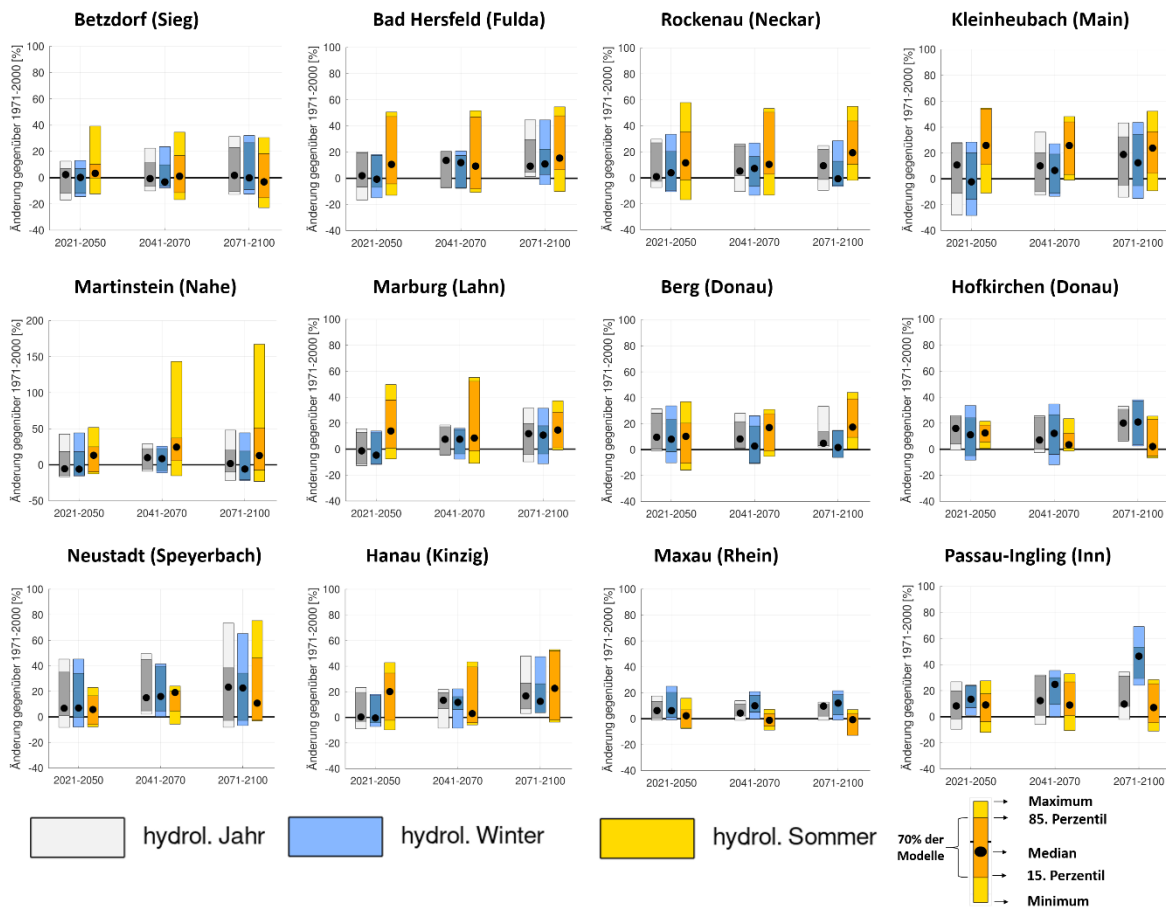


Abbildung 7: Die Abbildung zeigt an jeweils drei exemplarischen Pegeln für die drei KLIWA-Bundesländer und Hessen die Klimasignale für den mittleren jährlichen HQ sowie den mittleren HQ für das Winter- und Sommerhalbjahr. Die Signale beziehen sich jeweils auf die nahe (2021 – 2050), mittlere (2041 – 2070) und ferne (2071 – 2100) Zukunft im Vergleich zur Referenzperiode 1971 – 2000.

Die Auswertung von 116 Pegeln zeigt zwischen 1932–2020 im Gesamtjahr und im hydrologischen Winterhalbjahr (November–April) mehrheitlich zunehmende Trends (Abbildung 7). Diese sind im Winterhalbjahr weit häufiger signifikant als im Gesamtjahr. Die Pegel mit (signifikanten) Zunahmen liegen v. a. in Bayern (BY) und Baden-Württemberg (BW). In Rheinland-Pfalz (RP) halten sich Zu und Abnahmen die Waage. Die Zahl der signifikanten Veränderungen ist seit 2015 etwa gleichgeblieben. Im Sommerhalbjahr (Mai–Oktober) zeigen etwa je 40 Prozent der Pegel zu bzw. abnehmende Trends, wobei die Zunahmen häufiger signifikant sind. In BW und BY überwiegen Zunahmen, in RP Abnahmen. In KLIWA werden regelmäßig Abflussprojektionen mit aktuellen Klimaprojektionen erstellt. Seit 2021 wird dafür das KLIWA-Ensemble genutzt. Für die Zukunft muss trotz teils großer Bandbreiten mit einer Zunahme der Hochwasserabflüsse gerechnet werden – im Gesamtjahr und beiden Halbjahren. Im Gesamtjahr und im Winterhalbjahr weisen die Pegel i.d.R. zunehmende Tendenzen auf, die sich im 21. Jahrhundert verstärken. An Pegeln mit pluvialen Abflussregime ist die Veränderung im Gesamtjahr und Winterhalbjahr vergleichbar. Wohingegen an Pegeln mit nivalem Abflussregime größere Zunahmen im Winterhalbjahr zu verzeichnen sind. Ursache ist, dass künftig im Winter immer weniger Niederschlag als Schnee gespeichert, sondern direkt abflusswirksam wird. Auch im Sommerhalbjahr zeigen die meisten Pegel Zunahmen. Die Zunahmen an den pluvial geprägten Pegeln könnten darin begründet liegen, dass künftig ein höherer Anteil des sommerlichen Niederschlags als Starkniederschlag fallen wird.

Im Ergebnis ist weiterhin mit steigenden Hochwasserabflüssen in der Zukunft zu rechnen. Diese Aussagen bleiben gegenüber früheren Aussagen bestehen, werden aber wahrscheinlicher. Insbesondere bei Pegeln mit pluvialem Regime kann es zu einer Verschärfung der Hochwassergefahr kommen. Als Beispiel ist der Pegel Kordel / Kyll in Rheinland-Pfalz für das hydrologische Winterhalbjahr dargestellt (Abbildung 8). Erkennbar ist, dass die Bandbreite der Klimaprojektionen ab der Mitte des 21. Jahrhunderts deutlich größer wird. Ebenfalls erkennbar ist, dass zum Ende des 21. Jahrhunderts der überwiegende Teil der Bandbreite im Bereich einer Zunahme liegt.

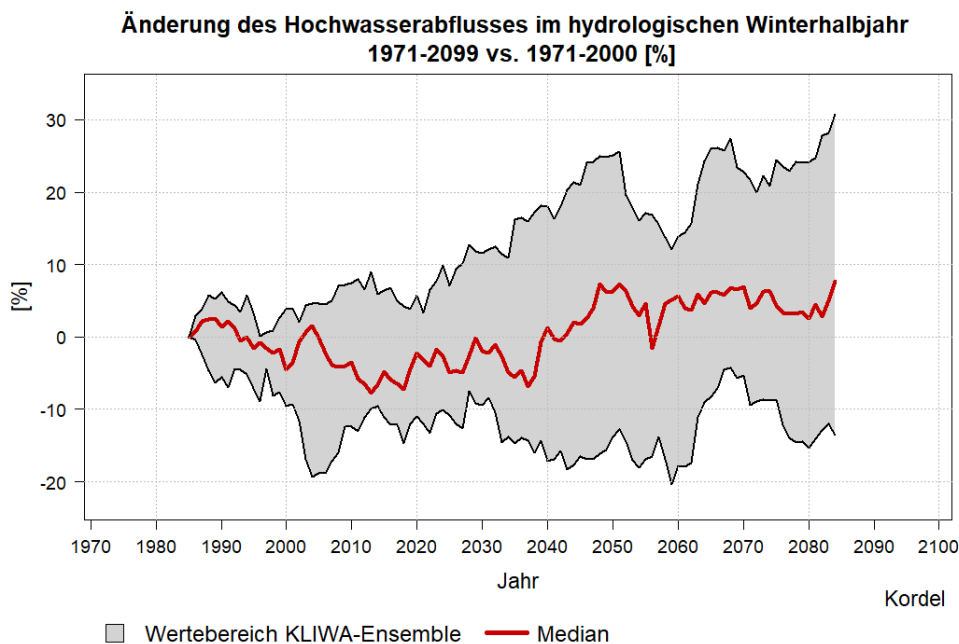


Abbildung 8: Änderung des Hochwasserabflusses im hydrologischen Winterhalbjahr in einer transienten Darstellung über den gesamten modellierten Zeitbereich von 1971 bis 2100.

Mittelwasserabfluss (MQ): Mehr im Winter – weniger im Sommer

Der mittlere Abfluss (MQ) ist eine statistische Größe des Wasserhaushalts und gibt den langjährigen durchschnittlichen Abfluss an einem Fließgewässer an. Durch den Klimawandel wird zum einen die durchschnittliche Temperatur steigen, was zu einer Erhöhung der Verdunstung führt und zum anderen wird sich die Niederschlagsmenge ändern – mehr im Winter, weniger im Sommer. Damit hat der Klimawandel direkte Auswirkungen auf den Wasserhaushalt und somit auf den MQ. Dies kann Einfluss auf unterschiedliche Nutzungen wie z. B. Bewässerung, Schifffahrt, die Kühlwassernutzung oder die Brauch- und Trinkwasserversorgung haben.

Die einzelnen Abflussprojektionen des Ensembles zeigen für den MQ eine große Bandbreite an potentiellen Klimasignalen. Dennoch ist zu erkennen, dass der Großteil der Pegel im Winterhalbjahr ein zunehmendes Signal und im Sommerhalbjahr ein abnehmendes Signal aufweist. Die beiden nivalen Pegel Maxau am Rhein und der Inn-Pegel bei Passau, weisen dabei das eindeutigste Signal für die beiden Halbjahre auf: Zunahmen des MQ im Winterhalbjahr und Abnahmen im Sommerhalbjahr. In den weiter nördlich gelegenen pluvialen Einzugsgebieten ist die projizierte Änderung des MQ insbesondere für den Zeitraum 2021-2050 weniger eindeutig und erst in der fernen Zukunft werden im Median Zunahmen im Winterhalbjahr und Abnahmen im Sommerhalbjahr projiziert.

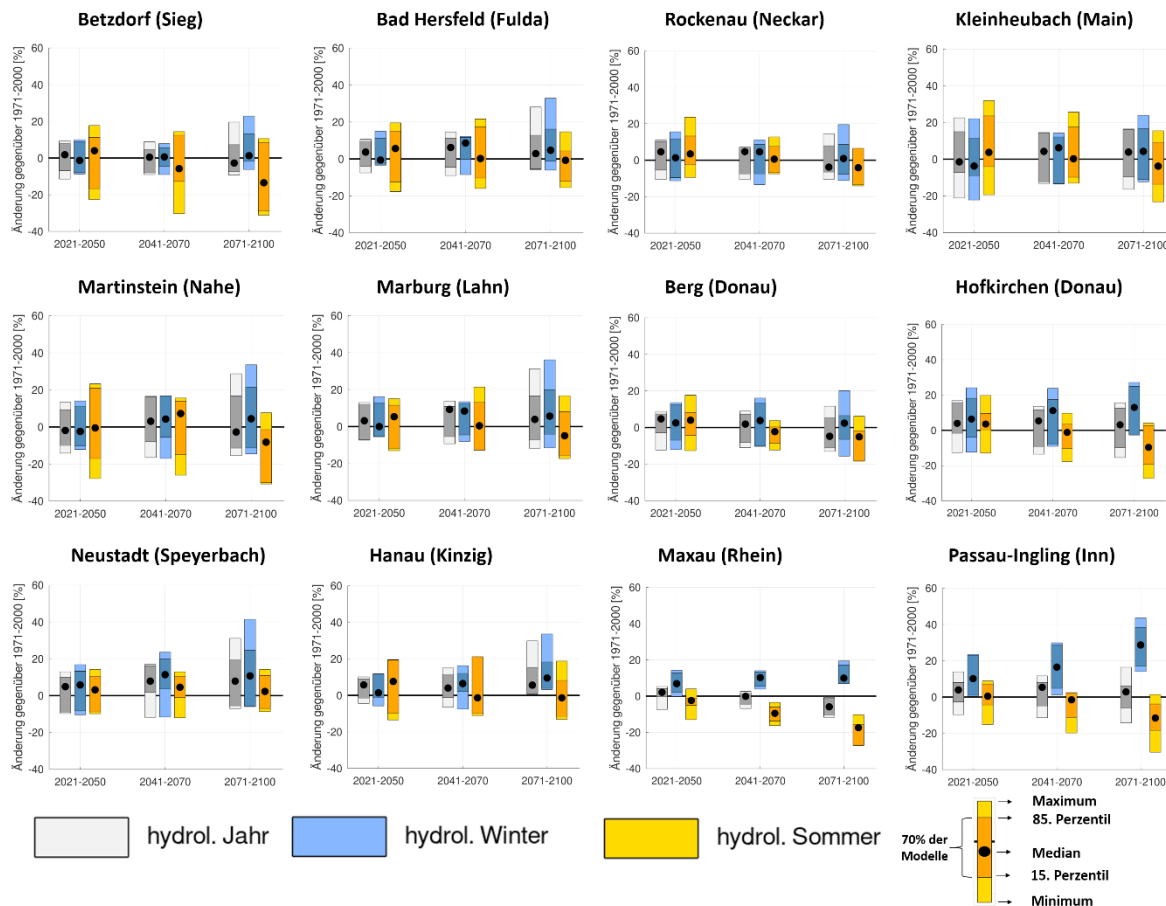


Abbildung 9: Die Abbildung zeigt an jeweils drei exemplarischen Pegeln für die drei KLIWA-Bundesländer und Hessen die Klimasignale für den jährlichen MQ sowie den MQ für das Winter- und Sommerhalbjahr. Die Signale beziehen sich jeweils auf die nahe (2021 – 2050), mittlere (2041 – 2070) und ferne (2071 – 2100) Zukunft im Vergleich zur Referenzperiode 1971 bis 2000.

Niedrigwasserabfluss (MNQ): Wenig – weniger – Zukunft

In Regionen mit pluvial geprägtem Abflussregime tritt das natürliche Abflussminimum im Spätsommer/Herbst ein. Sie sind daher von einer vermehrten sommerlichen Trockenheit besonders betroffen. Hier ergibt sich zum Ende des 21. Jahrhunderts ein eindeutiges Bild: Im Sommerhalbjahr (April bis September) werden die Niedrigwasserabflüsse aufgrund des Klimawandels weiter abnehmen, die Niedrigwassersituation wird sich verschärfen. Doch auch im Winterhalbjahr (Oktober bis März) wird der Niedrigwasserabfluss in diesen Regionen womöglich weiter zurückgehen. Im nival geprägten Alpenvorland (Abflussminimum im Winter) fallen diesommerlichen Abnahmen in die Zeit, in der aktuell die höchsten gemessenen mittleren Niedrigwasserabflüsse im Jahresverlauf auftreten. Diese Region erfährt daher tendenziell weniger starke Auswirkungen, einzelne Nutzungen können aber nichtsdestotrotz merklich beeinträchtigt sein. Im Winterhalbjahr wird für diese Region hingegen eine Erhöhung des Niedrigwasserabflusses projiziert. Niederschlag wird immer seltener in Form von Schnee im Einzugsgebiet gespeichert, sondern kommt direkt zum Abfluss. Die winterliche Niedrigwassersituation wird sich entspannen.

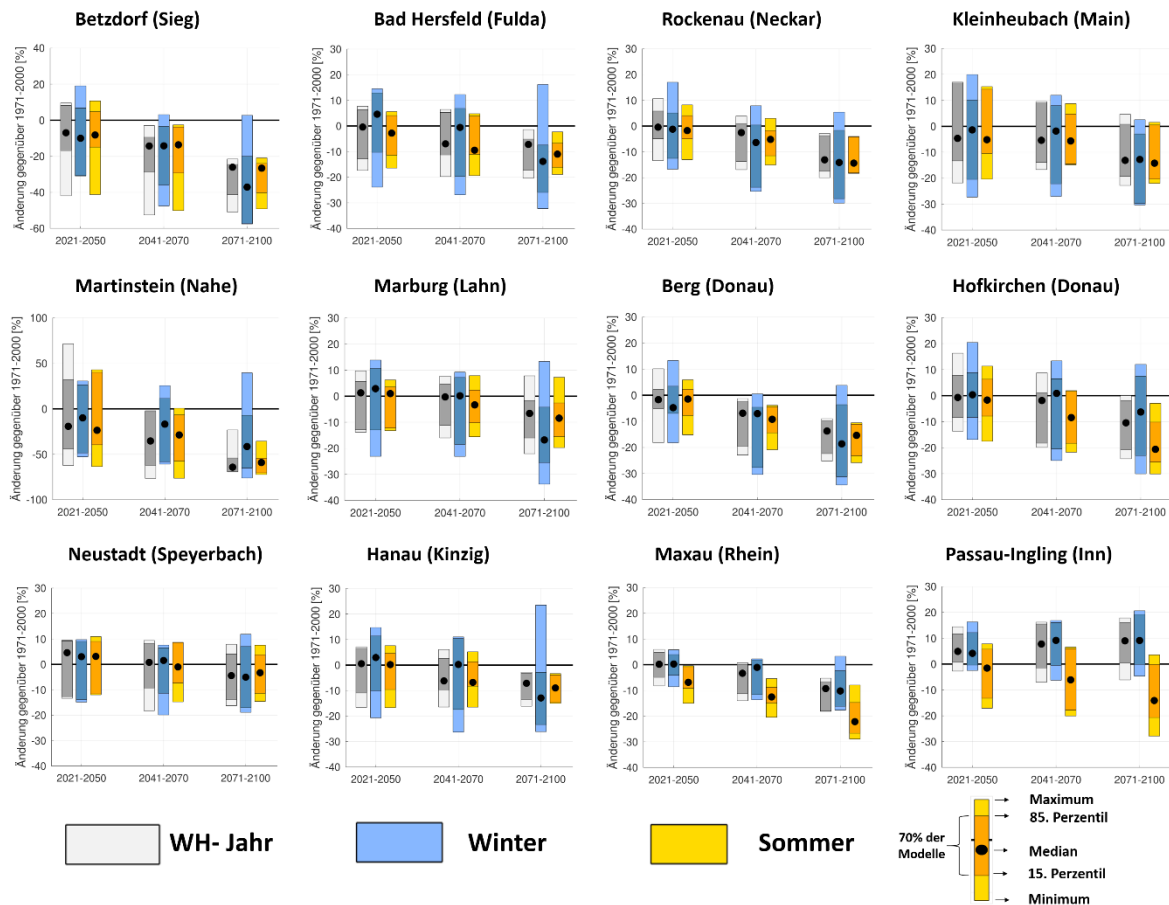


Abbildung 10: Die Abbildung zeigt an jeweils drei exemplarischen Pegeln für die drei KLIWA-Bundesländer und Hessen die Klimasignale für den jährlichen MNQ sowie den MNQ für das Winter- und Sommerhalbjahr. Die Signale beziehen sich jeweils auf die nahe (2021 – 2050), mittlere (2041 – 2070) und ferne (2071 – 2100) Zukunft im Vergleich zur Referenzperiode 1971 bis 2000.

Weitere Ergebnisse und laufende Projekte in KLIWA

Kurz erwähnt seien auch die Ergebnisse aus weiteren Themenfeldern in KLIWA. Diese werden weitgehend im späteren Verlauf dieses Tagungsbandes eingehender vorgestellt.

Im Grundwasser liegen ebenfalls Projektionsberechnungen mit dem KLIWA-Ensemble und mit statistischen regionalen Klimamodellen vor. Darüber wird im Bereich Grundwasser ein intensives Monitoring der Grundwasserstände und Quellschüttungen betrieben. Zusätzlich wird das Langzeitverhalten des Bodenwasserhaushalts ab 1951 ausgewertet und es finden statistische Auswertungen zum Langzeitverhalten von Messdaten statt.

Im Bereich der Gewässerökologie wurde das gewässerökologische Klimafolgenmonitoring der Fließgewässer und Seen gestartet. Ein interessantes Forschungsprojekt läuft unter dem Titel „2-Grad-Ziel für unsere Bäche – Wassertemperatur und Beschattung“.

Die Projektionsauswertungen im Bereich Starkregen und Bodenerosion mit einem zeitlich und räumlich hochaufgelösten Ensemble sind Bestandteil des Schwerpunktthemas Starkregen. Im Themenfeld Bodenerosion wird die Bodenerosivität (R-Faktor) unter Nutzung eines hochaufgelösten Ensembles untersucht.

4. Fazit und Ausblick

Die Folgen des Klimawandels stellen die Länder, Kommunen und letztendlich auch jeden Bürger vor schwierige Aufgaben und sogar Gefahren. Den heute bereits absehbaren und spürbaren Auswirkungen des Klimawandels muss mit konkreten Maßnahmen zur Anpassung begegnet werden. Aus diesem Grund müssen in der Wasserwirtschaft wirksame und robuste, aber flexible Anpassungsstrategien entwickelt werden, die neben hydrologischen auch politische, gesellschaftliche und wirtschaftliche Aspekte berücksichtigen. Die Prinzipien der Nachhaltigkeit und der Umweltverträglichkeit spielen dabei ebenso eine große Rolle wie die Unsicherheiten hinsichtlich der künftigen Entwicklung und die Wechselwirkungen zwischen Klimaschutz und Klimaanpassung. Um möglichst maßgeschneiderte Anpassungsmaßnahmen entwickeln zu können, untersucht KLIWA mittlerweile die Auswirkungen des Klimawandels auf den gesamten Wasserhaushalt in Süddeutschland. Hierzu gehören die Bereiche Hoch- und Niedrigwasserabflüsse, die Grundwasserneubildung, die Gewässerökologie, Starkniederschläge und Bodenerosion sowie Trockenheit.

In Zukunft müssen wir mit weiteren teils extremen Klimaveränderungen im Wasserhaushalt rechnen. Diese treten als Folge der sich verändernden Niederschlagsregime und in der zunehmenden Häufung und Intensivierung von Extremereignissen (Trockenperioden/Niedrigwasser und Starkregen/Flusshochwasser) in Erscheinung. Der regionale Wasserkreislauf und damit auch der Wasserhaushalt unserer Flussgebiete wird nachhaltig verändert. Aus diesem Grund stellt sich KLIWA seit 2022 organisatorisch neu auf.

KLIWA wird in Zukunft seine Schwerpunkte zunehmend auf die wasserwirtschaftlichen Extreme legen. Die ermittelten Grundlagen können hierbei wertvolle Erkenntnisse für das Niedrigwassermanagement, die Wasserversorgung oder das Starkregenmanagement der Bundesländer liefern. Ein erklärtes Ziel ist auch die Bewertung, Begleitung, Hilfestellung und Kommunikation hinsichtlich der Auswahl und des Einsatzes von Anpassungsmaßnahmen in den Wasserwirtschaftsverwaltungen.

Doch neben regionalen Maßnahmen, die den Klimawandel in seinen Auswirkungen abzufedern versuchen, sind Schritte hin zu einem aktiven Klimaschutz ebenfalls wichtig. Die Senkung des Treibhausgasausstoßes steht dabei an erster Stelle. Da sich aufgrund der Trägheit des Klimasystems selbst bei einem angenommenen sofortigen Emissionsstopp der Temperaturanstieg zunächst noch jahrelang fortsetzen wird, müssen bereits heute größte Anstrengungen unternommen werden, damit die Ziele des Pariser Klimaabkommens noch erreicht werden können. Dabei darf das Risikomanagement nicht zu kurz kommen, denn wir müssen uns mit den teils heute schon deutlichen Folgen eingehend auseinandersetzen und Strategien entwickeln, um uns an die zunehmenden Extreme anzupassen. Das umfasst, trotz größerer Unsicherheiten, auch die Anpassung an den worst case.

Literatur

KLIWA, KLIMAVERÄNDERUNG UND WASSERWIRTSCHAFT (2011): Klimawandel in Süddeutschland – Veränderungen von meteorologischen und hydrologischen Kenngrößen. Monitoringbericht 2011. veröffentlicht auf www.kliwa.de.

KLIWA, KLIMAVERÄNDERUNG UND WASSERWIRTSCHAFT (2012): Die Entwicklung von trockenen Großwetterlagen mit Auswirkungen auf den süddeutschen Raum. KLIWA-Berichte, Heft 18, 155 S. veröffentlicht auf www.kliwa.de.

KLIWA, KLIMAVERÄNDERUNG UND WASSERWIRTSCHAFT (2016): Klimawandel in Süddeutschland – Veränderungen von meteorologischen und hydrologischen Kenngrößen. Monitoringbericht 2016. veröffentlicht auf www.kliwa.de.



KLIWA, KLIMAVERÄNDERUNG UND WASSERWIRTSCHAFT (2021): Klimawandel in Süddeutschland – Veränderungen von meteorologischen und hydrologischen Kenngrößen. Monitoringbericht 2021. veröffentlicht auf www.kliwa.de.

KLIWA, KLIMAVERÄNDERUNG UND WASSERWIRTSCHAFT (2019): KLIWA-Kurzbericht: Das Jahr 2018 im Zeichen des Klimawandels. Viel Wärme, wenig Wasser in Süddeutschland. veröffentlicht auf www.kliwa.de.

KLIWA, KLIMAVERÄNDERUNG UND WASSERWIRTSCHAFT (2018): KLIWA-Kurzbericht: Ergebnisse gemeinsamer Abflussprojektionen für KLIWA und Hessen basierend auf SRES A1B. veröffentlicht auf www.kliwa.de.

KLIWA, KLIMAVERÄNDERUNG UND WASSERWIRTSCHAFT (2022): KLIWA-Broschüre: Zu viel | Zu wenig – Extreme meistern | Extreme begegnen. veröffentlicht auf www.kliwa.de.

Klimarisiken in Deutschland und Schlussfolgerungen für die Anpassungsplanung

Achim Daschkeit
Umweltbundesamt

Die Klimarisiken für Deutschland sind sehr gut bekannt: Aus bundesweiter Sicht hat die Klimawirkungs- und Risikoanalyse des Bundes vom Juni 2021 ausführlich regionale sowie sektorale und sektorübergreifende Risiken dargestellt und somit eine sehr umfassende Planungs- und Entscheidungsgrundlage für Anpassungsplanung – vornehmlich des Bundes – gelegt.

Im Vortrag werden vor diesem Hintergrund die wesentlichen Aktivitäten Deutschlands zur Anpassung an den Klimawandel vorgestellt. Das reicht von der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel von 2008 bis hin zur erwähnten Klimarisikoanalyse des Bundes von 2021.

In einem Ausblick zeigt der Vortrag die Umsetzung der im aktuellen Koalitionsvertrag der Bundesregierung aufgeführten Schwerpunkte im Politikfeld Klimaanpassung auf. Ein wichtiger Punkt hierbei ist es, den Vorsorge-Gedanken der Klimaanpassung weiter zu stärken.



Die Attribution meteorologischer Extremereignisse und die Entwicklung eines Attributionssystems für Deutschland

Jordis Tradowsky, Frank Kreienkamp, Philip Lorenz
Deutscher Wetterdienst

Einleitung

Meteorologische Extreme sind ein natürlicher Bestandteil des Klimas und treten definitionsgemäß selten auf. Meist haben wir unsere Infrastruktur an lokale Extreme angepasst. Sehr seltene Ereignisse liegen jedoch außerhalb unserer derzeitigen Anpassungsstrategien oder unserer Anpassungsmöglichkeiten und somit kann es auch in Zukunft zu gefährlichen und kostspieligen Extremereignissen kommen.

Bei jedem auftretenden Extremereignis wird aus einer Vielzahl an Gründen gefragt, ob sich die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten sowie die Intensität meteorologischer Extreme verändert hat. Wird eine Veränderung erkannt, steht die Frage im Raum, ob diese Änderung durch den vom Menschen verursachten Klimawandel hervorgerufen wurde. Oder anders gesagt: Kann die Veränderung dem menschenverursachten Klimawandel zugeordnet werden? Dieses wird dann Attribution – Zuschreibung von Eigenschaften und Ursache-Wirkung-Beziehungen – genannt. Die Attributionforschung ist ein relativ neuer Wissenschaftsbereich. Deren Ergebnisse werden, trotz oder insbesondere aufgrund ihrer Neuheit, im 6. Sachstandsbericht des Weltklimarates (Englisch: Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) viel genutzt.

Damit eine Attribution möglich ist, werden Informationen über die aktuellen klimatischen Bedingungen (also mit dem Einfluss des Menschen) und über klimatische Bedingungen ohne Einfluss des Menschen benötigt. Typischerweise werden in einer Analyse sowohl Beobachtungsdaten als auch Modellsimulationen verwendet. Die Klimamodellgruppen haben in den letzten Jahren an der Erstellung einer entsprechenden Datenbasis gearbeitet und tausende Modelljahre für beide Rahmenbedingungen simuliert.

Der Deutsche Wetterdienst arbeitet in enger Zusammenarbeit mit nationalen und internationalen Partnern an Attributionsanalysen. Hierbei ist insbesondere die internationale World Weather Attribution Initiative zu nennen, die Attributionsstudien im direkten Anschluss an Ereignisse durchführt, um der Öffentlichkeit Informationen über den Einfluss des Klimawandels bereitzustellen. Darüber hinaus erstellen wir beim DWD derzeit, im Rahmen des ClimXtreme Projekts, ein weitgehend automatisiertes Attributionssystem für Deutschland. Dieses System und die vorhandene Expertise soll genutzt werden, um Attributionsstudien auf der nationalen und internationalen Ebene zu unterstützen.

In den letzten Jahren wurde eine Vielzahl an Attributionsanalysen durchgeführt, um die durch den Klimawandel hervorgerufene Änderung der Intensität und/oder Häufigkeit eines Ereignisses zu untersuchen. Im Folgenden werden drei Studien, an denen der DWD beteiligt war, kurz zusammengefasst. Die ersten beiden Studien wurden im Rahmen der World Weather Attribution Initiative durchgeführt und nutzen ein Attributionssystem das in Philip et al. (2020) und van Oldenborgh et al. (2021) beschrieben ist. Die dritte Studie nutzt das Attributionssystem welches derzeit beim DWD entwickelt wird.

1. Niederschlagsereignis Juli 2021 Westeuropa

Im Juli 2021 kam es zu schweren Überschwemmungen in Deutschland und den Benelux-Ländern. Das Ereignis führte zu starken Auswirkungen mit mehr als 200 Todesopfern und schweren Infrastrukturschäden. Nach dem Ereignis initiierte World Weather Attribution eine Attributionsstudie unter der Leitung des

Deutschen Wetterdienstes (Kreienkamp et al., 2021; Tradowsky et al., 2022) die den Einfluss des Klimawandels auf den Niederschlag analysiert. Da die einzelnen Flusseinzugsgebiete zu klein sind, um basierend auf den derzeitigen Datensätzen und Methoden eine robuste Abschätzung der Wiederkehrzeiten zu erhalten und eine Attributionsanalyse durchzuführen, wurde die Analyse auf 14 Unterregionen in Europa ausgedehnt. In dieser erweiterten Region wurden die maximalen 1-Tages- und 2-Tages-Niederschlagssummen im Sommerhalbjahr analysiert. Die Untersuchungsergebnisse zeigen:

- An einem Ort innerhalb der größeren westeuropäischen Region können wir im Durchschnitt alle 400 Jahre ein solches Ereignis erwarten. Das bedeutet auch, dass wir derartige Ereignisse innerhalb der größeren westeuropäischen Region häufiger als einmal in 400 Jahren erleben werden.
- Durch den Klimawandel hat sich die Intensität des maximalen eintägigen Niederschlagsereignisses in der Sommersaison in dieser großen Region um etwa 3 bis 19 % erhöht, verglichen mit einem globalen Klima das 1,2 °C kühler ist als heute. Für den zweitägigen Niederschlag ergibt sich ein ähnlicher Anstieg.
- Die Wahrscheinlichkeit, dass ein solches eintägiges Niederschlagsereignis auftritt, hat sich um einen Faktor zwischen 1,2 und 9, im Vergleich zu einem um 1,2 °C kühleren Klima, erhöht. Für den zweitägigen Niederschlag ergibt sich auch hier ein ähnlicher Anstieg.
- Diese Zahlen beruhen auf einer Bewertung, die Beobachtungen, regionale Klimamodelle und sehr hoch aufgelöste Klimamodelle, die Konvektion direkt simulieren, einbezieht. Die Änderungen der Intensität und Wahrscheinlichkeit sind in der Analyse der Beobachtungen größer als bei allen Modellen.
- Da solche Extremereignisse in Zukunft häufiger auftreten werden, ist es von entscheidender Bedeutung zu untersuchen, wie die Vulnerabilität und Exposition verringert werden kann, um zukünftige Auswirkungen zu reduzieren.

2. Hitzewelle Sommer 2022 London

Im Juli 2022 wurden Temperaturen von über 40 °C in London und der Umgebung beobachtet. World Weather Attribution führte eine Analyse des Ereignisses durch (Zachariah et al., 2022) an der sich der Deutsche Wetterdienst beteiligte. Die Ergebnisse zeigen, dass:

- Eine derartige Hitzewelle selbst unter heutigen Bedingungen noch extrem selten ist. Die Wiederkehrzeit der erreichten Maximaltemperatur in der Untersuchungsregion wird auf 1000 Jahre geschätzt. Für die beobachteten Temperaturen, gemittelt über zwei Tage, ergibt sich eine Wiederkehrperiode von ca. 100 Jahren.
- Ein vergleichbares Ereignis ohne den Klimawandel nahezu unmöglich ist.
- Das Ereignis ungefähr 4 °C wärmer war, als es ohne Klimawandel sein würde.

3. Hitzewelle Sommer 2018 Deutschland

Der Sommer 2018 war durch extreme Hitze und Dürre in Deutschland und Europa gekennzeichnet. Innerhalb des ClimXtreme Projekts wurden verschiedene Faktoren die den Sommer 2018 zu einem Ereignis mit weitreichenden Auswirkungen machten, untersucht (Rousi et al., 2022). Als Teil dieser Studie wurde das beim Deutschen Wetterdienst in Entwicklung befindliche Attributionssystem genutzt, um zu untersuchen, ob sich die Wahrscheinlichkeit einer derartigen, langanhaltenden Hitzewelle durch den Klimawandel verändert hat. Hierzu wurde die über 17-Tage gemittelte Maximaltemperatur untersucht. Die Modellanalyse zeigt, dass derartige langanhaltende Hitzewellen durch den Klimawandel häufiger auftreten als in der präindustriellen Vergangenheit.



Das für diese Ergebnisse genutzte Attributionssystem entwickeln wir stetig weiter, um die Funktionalität auszubauen und es in Zukunft vermehrt für Attributionsstudien zu verwenden.

Der Deutsche Wetterdienst beteiligt sich in den letzten Jahren vermehrt an ad-hoc Attributionsstudien und ist auch im Forschungs- und Entwicklungsfeld der Attribution tätig. Diese Aktivitäten planen wir weiter zu führen, um hiermit Öffentlichkeit und Entscheidungsträger fundiert zu informieren.

Literatur

Kreienkamp, F., Philip, S. Y., Tradowsky, J. S., Kew, S. F., Lorenz, P., Arrighi, J., Belleflamme, A., Bettmann, T., Caluwaerts, S., Chan, S. C., Ciavarella, A., De Cruz, L., de Vries, H., Demuth, N., Ferrone, A., Fischer, E. M., Fowler, H. J., Goergen, K., Heinrich, D., Henrichs, Y., Lenderink, G., Kaspar, F., Nilson, E., Otto, F. E. L., Ragone, F., Seneviratne, S. I., Singh, R. K., Skålevåg, A., Termonia, P., Thalheimer, L., van Aalst, M., Van den Bergh, J., Van de Vyver, H., Vannitsem, S., van Oldenborgh, G. J., Van Schaeybroeck, B., Vautard, R., Vonk, D., Wanders, N., (2021): Rapid attribution of heavy rainfall events leading to the severe flooding in Western Europe during July 2021, World Weather Attribution, veröffentlichter Report erhältlich unter <https://www.worldweatherattribution.org/wp-content/uploads/Scientific-report-Western-Europe-floods-2021-attribution.pdf>

Philip, S., Kew, S., van Oldenborgh, G. J., Otto, F., Vautard, R., van der Wiel, K., King, A., Lott, F., Arrighi, J., Singh, R., and van Aalst, M. (2020): A protocol for probabilistic extreme event attribution analyses, *Adv. Stat. Clim. Meteorol. Oceanogr.*, 6, 177–203, <https://doi.org/10.5194/ascmo-6-177-2020>.

Rousi, E., Fink, A. H., Andersen, L. S., Becker, F. N., Beobide-Arsuaga, G., Breil, M., Cozzi, G., Heinke, J., Jach, L., Niermann, D., Petrovic, D., Richling, A., Riebold, J., Steidl, S., Suarez-Gutierrez, L., Tradowsky, J., Coumou, D., Düsterhus, A., Ellsäßer, F., Fragkoulidis, G., Gliksman, D., Handorf, D., Haustein, K., Kornhuber, K., Kunstmann, H., Pinto, J. G., Warrach-Sagi, K., and Xoplaki, E.: The extremely hot and dry 2018 summer in central and northern Europe from a multi-faceted weather and climate perspective, *EGUsphere* [preprint], <https://doi.org/10.5194/egusphere-2022-813>, Im Begutachtungsprozess, 2022.

Tradowsky, J. S., Philip, S. Y., Kreienkamp, F., Kew, S. F., Lorenz, P., Arrighi, J., Belleflamme, A., Bettmann, T., Caluwaerts, S., Chan, S. C., Ciavarella, A., De Cruz, L., de Vries, H., Demuth, N., Ferrone, A., Fischer, E. M., Fowler, H. J., Goergen, K., Heinrich, D., Henrichs, Y., Lenderink, G., Kaspar, F., Nilson, E., Otto, F. E. L., Ragone, F., Seneviratne, S. I., Singh, R. K., Skålevåg, A., Termonia, P., Thalheimer, L., van Aalst, M., Van den Bergh, J., Van de Vyver, H., Vannitsem, S., van Oldenborgh, G. J., Van Schaeybroeck, B., Vautard, R., Vonk, D., Wanders, N.: Attribution of the heavy rainfall events leading to severe flooding in Western Europe during July 2021, Im Begutachtungsprozess bei Climatic Change, 2022.

van Oldenborgh, G.J., van der Wiel, K., Kew, S., Philip, S. Y., Otto, F. E. L., Vautard, R., King, A., Lott, F., Arrighi, J., Singh, R. K., van Aalst, M., (2021): Pathways and pitfalls in extreme event attribution. *Climatic Change*, 166, 13, <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03071-7>.

Zachariah, M., Vautard, R., Schumacher, D. L., Vahlberg, M., Heinrich, D., Raju, E., Thalheimer, L., Arrighi, J., Singh, R., Li, S., Sun, J., Vecchi, G., Yang, W., Seneviratne, S. I., Tett, S. F. B., Harrington, L. J., Wolski, P., Lott, F. C., McCarthy, M., Tradowsky, J. S., Otto, F. E. L.: Without human-caused climate change temperatures of 40°C in the UK would have been extremely unlikely, World Weather Attribution, , veröffentlichter Report erhältlich unter <https://www.worldweatherattribution.org/wp-content/uploads/UK-heat-scientific-report.pdf>

Hydrologische Extreme – neue gesellschaftliche Normalität?

Prof. Dr. Christian Kuhlicke

Department Stadt- und Umweltsoziologie, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Institut für Umweltwissenschaften und Geographie, Universität Potsdam

Einleitung

Auf dem Weg von meinem Hotelzimmer zur KLIWA-Konferenz hatte ich kurz ein ungutes Gefühl. Die Regengeräusche waren zu laut. Ich konnte die Ursache nicht zuordnen und dachte, es läge am zu dünn gedämmten Dach über dem Fahrstuhl. Wie sich wenige Sekunden später zeigen würde, lag ich falsch. Als sich die Türen des Aufzugs öffneten, breitete sich vor mir eine spiegelnde Fläche aus. Die Hotellobby stand unter Wasser. Durch die Eingangstür floss eine bräunliche Brühe und rauschte vor meinen Füßen in die Tiefe des Aufzugschachtes. Daher der Lärm.

Man möchte wegen der grotesken Wirklichkeitsverdichtung fast lachen, steht auf dem Weg zu einer Konferenzsession mit dem Titel: „Wie aus heiterem Himmel – Starkregen kann jeden treffen“ knöcheltief im Wasser einer Hotellobby, sieht aber die Mitarbeitenden. Sie stehen verloren herum und wissen nicht, wohin mit sich. Auf meine Frage, ob das schon öfter vorgekommen sei, nur Schulterzucken und die Antwort: „Wir arbeiten erst seit zwei Wochen hier“. Was für ein Einstieg. Mir schoss es sofort durch den Kopf: „Ist das nun die neue Normalität der hydrologischen Extreme – man sieht sich während einer Konferenz zu den Folgen des Klimawandels mit eben diesen unmittelbar konfrontiert und fühlt sich dabei durchaus etwas überfordert?“

Das mit der sogenannten „Normalität“ ist ja so eine Sache. Frau Mortitia Addams wird mit dem Satz zitiert: „Normal ist eine Illusion. Was für eine Spinne normal ist, ist das reine Chaos für eine Fliege.“ Es gibt nicht die eine Vorstellung von „Normal“, unsere Vorstellungen unterscheiden sich. Falls sie sich fragen, wer Mortitia Addams ist – sie war Mitglied der Addams Family, einer amerikanischen TV-Serie, die in den 1960er Jahren verfilmt wurde. Als Nachkommen von Hexen und anderen Fabelwesen war die Familie auf Normalitätsvorstellungen spezialisiert, denn sie waren mit diesen ständig konfrontiert. Die Addams entsprachen nicht gerade den gängigen bürgerlichen Normvorstellungen. Sie hatten einen Hang zum Exzentrischen und Makabren, was natürlich immer wieder zu Irritationen und Rückweisungen durch Nachbarn und Mitmenschen führte. Dies schien allerdings die Addams nicht weiter zu berühren, zumindest vermittelten sie diesen Eindruck. Vielleicht meinte Frau Addams auch deshalb, dass Normen eine Illusion seien.

Unsere Sicht auf Normen ist zwar divers, reine Fantasieprodukte sind sie jedoch nicht. Um im Bild zu bleiben: Spinnen und Fliegen mögen sehr unterschiedlich auf ein Netz blicken, sie teilen aber dessen klebrige Realität. Etwas als normal zu bezeichnen, ist nicht nur ein beschreibender Vorgang, sondern impliziert gleichzeitig Ab- und Ausgrenzung mit sehr realen Folgen. Frauen waren zum Beispiel bis Anfang des 20. Jahrhunderts nicht an Universitäten zugelassen. Unter Professoren war die Meinung weit verbreitet, dass Frauen nur eingeschränkte intellektuelle Fähigkeiten hätten. Auch prädestinierte ihre Natur sie für die Rolle der Hausfrau und Mutter, so die Meinung der Männer. Und selbstverständlich sahen Männer in gut ausgebildeten Frauen eine berufliche Konkurrenz. Frauen an Universitäten waren noch Anfang des 20. Jahrhunderts schlicht unvorstellbar. Allerdings zeigt das Beispiel auch: Normen und die damit verbundenen Vorstellungen von richtigem bzw. abweichendem sozialen Verhalten ändern sich; sie sind nie fix und starr, sie sind durchaus fluide und wandelbar.

Zurück zum Blick auf die geflutete Hotellobby und der Frage, ist das die neue Normalität? Der Alltag vieler Menschen hat sich in den letzten Jahren stark verändert. Sie waren in vielerlei Hinsicht außergewöhnlich. Im Juli 2021 führten starke und langanhaltende Niederschläge in Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Baden-Württemberg, Bayern und Sachsen zu Zerstörungen an Infrastrukturen und Gebäuden



sowie Verletzten und Toten in bisher unvorstellbarem Ausmaß. In den Jahren 2018 und 2019 dagegen litten Landwirtschaft, Wälder, Oberflächengewässer und Grundwasser, aber auch Menschen und Ökosysteme unter den enormen Folgen von langanhaltender Trockenheit und Hitze, eine Dürre mit deren Folgen wir noch heute im Jahr 2022 konfrontiert sind. Gleichzeitig brach 2020 eine globale Pandemie aus, die unseren Alltag auf eine Art und Weise veränderte, wie es uns noch vor wenigen Jahren unvorstellbar erschien. Im Frühjahr 2022 schließlich der Ausbruch eines Angriffskrieges in Europa, eine sich im Lauf des Jahres zuspitzende Verteuerung der Energie und schließlich eine Inflation, die viele von uns nur vom Hörensagen kannten.

Normalität und Katastrophe

Das Narrativ von der „Krise als neues Normal“ wird in jüngster Zeit geradezu inflationär gebraucht. Ist das Verhältnis von Krise und Normalität qua Definition durch Unterscheidung geprägt – die Krise löst als Höhe- oder Wendepunkt einer schadenbringenden Entwicklung – die Normalität ab, so scheint sich das Verhältnis derzeit grundlegend zu ändern. Krisen und Katastrophen scheinen normal und alltäglich zu werden, werden also zur neuen Norm deklariert. Die einzige offene Frage scheint derzeit zu sein: Sind die vielfältigen und sich gegenseitig beeinflussenden klimatischen, wirtschaftlichen, sozialen und gesundheitlichen Krisen ein vorübergehendes Phänomen oder eine neue Normalität, auf die wir uns besser einstellen sollten.

Ich halte diesen um sich greifenden Deutungsrahmen für irreführend und zwar aus zwei Gründen: Erstens, etwas als normal zu bezeichnen ist eben kein allein beschreibender, sondern ein ebenso stark vorschreibender Vorgang, der eine bestimmte Rahmung und damit verbundenen Verhaltensweisen als gegeben und nicht länger hinterfragenswert setzt. Ich meine, dass Krisennarrativ weiterhin hinterfragt werden sollte, gerade weil mit dem Verweis auf Krisen und Katastrophen und der damit verbundenen Gefährdung der öffentlichen Sicherheit und Ordnung häufig etablierte Rechtsnormen ausgesetzt oder gänzlich zurückgenommen werden¹.

Zweitens, ist es eine der wesentlichen Erkenntnisse der sozial-psychologischen Klimaanpassungsforschung, dass Menschen nur motiviert sind, Vorsorge umzusetzen, wenn zwei wesentliche Faktoren gegeben sind². Erstens, sie müssen sich bedroht fühlen. Ohne Bedrohung gäbe es keinen Grund, etablierte Verhaltensmuster zu überdenken und neue zu etablieren. Zweitens, sollten sie eine Vorstellung davon haben, wie diese Bedrohung bewältigt werden kann. Erst, wenn beides gegeben ist, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass Menschen beginnen, sich an zukünftige hydrometeorologische Extremereignisse anzupassen. Fühlen sie sich nur bedroht ist das Resultat Wunschdenken, Verdrängung oder Fatalismus. Ich bin der Überzeugung, dass bei einer Überbetonung der Klimafolgenbedrohung und einer Vernachlässigung der Bewältigungs- und Anpassungsmöglichkeiten, der falsche Weg gegangen wird. Auch daher ist diese Konferenz und das Programm des Tages wichtig – Anpassung an den Klimawandel beinhaltet vor allem auch das Aufzeigen von (neuen) Möglichkeiten im Angesicht einer zunehmenden Bedrohung.

Lassen sie mich eine zweite Person zitieren, dieses Mal den Soziologen Lowell Juilliard Carr. Er schrieb im Jahr 1932³: „So long as a ship rides out the storm, as long as the city resists the earth-shocks, so long as the levee holds, there is no disaster. It is the collapse of the cultural protection that constitutes the disaster proper.“ Aus dem Zitat von Carr ergeben sich drei für den Vortrag relevant Implikationen.

1 Anderson, B. und Adey, P. (2011) Governing events and life: "Emergency" in UK Civil Contingencies. *Political Geography*, 31/1, S. 24-33.

2 Grothmann, T. und Reusswig, F. (2006) People at risk of flooding: Why some residents take precautionary action while others do not. *Natural Hazards*, 38, S. 101-120.

3 Carr, L. J. (1932) Disaster and the Sequence-Pattern Concept of Social Change. *American Journal of Sociology*, 38/2, 207-218.

Erstens, um hydrologische Extreme und ihren gesellschaftlichen Auswirkungen verstehen zu können, sollten nicht allein Wasserstände und Niederschläge betrachtet werden, sondern vor allem das was Carr als etablierte „kulturelle Sicherungssystem“ bezeichnet, also zuvorderst Deiche, Staumauern, Warnsysteme, den Bevölkerungs- und Katastrophenschutz aber eben auch die Art und Weise wie und wo gebaut wird sowie das Verhalten von Menschen vor, während und nach einer Katastrophe. All diese Faktoren sind nicht einfach gegeben, sondern im weitesten Sinne normiert, sei es im Rahmen von DIN bzw. ISO-Normen, von Rechtsnormen oder von Verhaltensnormen. Katastrophen gründen demnach nicht allein in Niederschlagsmengen; sie sind ebenso das Resultat etablierter Normen.

Zweitens, jedes hydrologisches Extremereignis stellt Normen auf den Prüfstand. Gerade katastrophale Extremereignisse widerlegen etablierte Wirklichkeitskonstruktionen. Sie zeigen, dass die vorhandenen Sicherungssysteme, unzureichend sind und der Überprüfung bedürfen⁴. Für die Zukunftsfähigkeit von Gesellschaften ist es daher entscheidend, Katastrophen nicht nur zu bewältigen bzw. die Frage von Schuld und Verantwortung zu klären; wichtiger ist es, die richtigen Lehren daraus zu ziehen. Jedes extreme Wetterereignis für sich kann existenzbedrohend sein, und gerade die jüngsten Überflutungsereignisse im Jahr 2021 waren mit nicht tragbaren Schäden an Leib und Leben, mit dem Verlust an materiellen, ideellen und nicht ersetzbaren kulturellen Werten verbunden. Das eigentliche Drama aber ist es, wenn aus dem Scheitern etablierter Normen keine Lehren gezogen werden, wenn sie nicht kritisch auf ihre Gültigkeit bzw. auf ihre Angemessenheit hin überprüft und solchermaßen neu kodiert werden, so dass zukünftig hohe Verluste, Zerstörung und Tod unwahrscheinlicher werden.

Drittens, wenn Katastrophen in Normen gründen und diese angepasst und verändert werden müssen, dann ist das kein Prozess, der einfach so stattfindet, der gleichsam urwüchsig einfach so „passiert“. Ich meine, dass wir, die wir heute in diesem Raum sitzen, in diesem Kontext keine unbedeutende Rolle spielen. Der Politik ist es als gesetzgebende Institution vorbehalten, Rechtsnormen zu verändern und anzupassen. Gibt es Änderungsbedarf auf Grund neuer Erkenntnisse oder gemachter Erfahrungen, ist es an ihr neue zukunftsfähigere Gesetze zu schaffen. Auch daher spielt sie meiner Meinung nach in der Klimaanpassung eine entscheidende Rolle (wird dieser aber noch nicht gerecht). Die Verwaltungen bewegen sich innerhalb des gesetzlichen Rahmens. Sie sind dafür zuständig Recht durchzusetzen, es zu kontrollieren und auszuführen, wobei die Interessen zwischen einer Unteren Wasserbehörde und einer Kommune durchaus deutlich divergieren können, was zum Beispiel die Ausweisung von Bauland in Überschwemmungsgebieten betrifft. Gleichzeitig verfolgen sie idealerweise eine längerfristige Perspektive, die über die politischen Wahlzyklen hinausgehen und stoßen Veränderungen an. Schließlich die vielen intermediäre Akteure, also Ingenieur- und Planungsbüros. Sie sind es, die neuen Ansätze umsetzen und neue Standards und Normen auf den Weg bringen und realisieren. Die Frage nach der neuen gesellschaftlichen Normalität betrifft also uns Alle. Ich meine, wir können unsere damit verbundene Verantwortung nicht delegieren, nicht an „die“ Gesellschaft und auch nicht „die“ Menschen. Es ist an uns, Rechtsnormen zu erneuern, Verwaltungspraktiken zu ändern, Standards an neue hydrologische Realitäten anzupassen und etablierte soziale Normen kritisch zu hinterfragen.

Hydrologische Extreme als Alltag

Ich möchte im Folgenden auf zwei Fragen näher eingehen. Wir haben gestern gehört, dass die Wahrscheinlichkeit, dass hydrologische Extreme auftreten, zunehmen wird. Dies gilt sowohl für längere Trockenzeiten als auch für Starkregenniederschläge sowie länger anhalten Niederschläge. Die Frage, die ich nun ausleuchten möchte ist: Was bedeutet das eigentlich für den Alltag der Betroffenen? Was bedeutet es, wenn man mehr oder weniger regelmäßig hydrologischen Extremen ausgesetzt ist? Die zweite Frage

⁴ Dombrowsky, W. R. und Brauner C. (1996) Defizite in der Katastrophenvorsorge in Industriegesellschaften am Beispiel Deutschland. Deutsche IDNDR-Reihe Nr. 3b



ist: Wo und wie bauen wir in Zukunft? Anpassung an hydrologische Extreme ist nicht allein eine Herausforderung für die Wasserwirtschaft bzw. eine Aufgabe des Hochwasserschutzes. Die Herausforderung sollte deutlich breiter angegangen werden.

Ich werde mich auf Überschwemmungen konzentriere. Der Grund dafür ist vor allem die relativ gute Evidenzbasis. Seit dem Hochwasser 2002 wurde in Deutschland sehr umfassend zu Überschwemmungen geforscht. Das inkludiert auch eine hervorragende sozialwissenschaftliche Forschung. Auf diese beziehe ich mich.

Wir sehen in Haushaltsbefragungen immer wieder, dass ein relativ hoher Anteil von Haushalten zwei- oder dreimal von einer Überschwemmung betroffen war⁵. Eine Befragung, die wir letztes Jahr in elf zufällig ausgewählten Kommunen in Sachsen durchgeführt haben, zeigt zum Beispiel, dass 21 % der Befragten zweimal und 15 % sogar dreimal von Überschwemmungen betroffen waren. Wir sehen des Weiteren, einen signifikanten Zusammenhang von Überschwemmungserfahrung und Anpassung. Nach jeder größeren Hochwasserwelle, steigt der Anteil der Haushalte an, die das Thema Vorsorge aktiv angehen. Das beinhaltet Verhaltensvorsorge, den Abschluss von Versicherungen aber auch die durchaus kostspielige und in der Umsetzung vergleichsweise aufwendige Bauvorsorge⁶.

Der Umkehrschluss ist allerdings durchaus zum Verzweifeln: Ohne Extremereignisse, keine Anpassung. Erst nach den Überschwemmungsereignissen beginnen Menschen zu handeln. Das gilt nicht nur für Haushalte, das gilt für das Management von hydro-meteorologischen Extremereignissen generell⁷.

Ein zweiter Befund ist, je häufiger ein Haushalt von einer Überschwemmung betroffen war, desto umfassender hat dieser Haushalt vorgesorgt. Mit jedem Ereignis, steigt die Wahrscheinlichkeit dafür. Zuerst werden leichter umzusetzende und weniger kostenintensive Handlungen umgesetzt (z. B. Dokument sicher aufbewahren, Mobiliar flexibel halten); teurere und aufwendigere Maßnahmen (z. B. Bauvorsorge), werden erst nach dem zweiten oder dritten Hochwasser angegangen.

Menschen, die dreimal von einer Überschwemmung betroffen waren, scheinen also durchaus ihre Lehren zu ziehen und haben ihre ehemals etablierten Routinen und Verhaltensweisen den neuen hydrologischen Realitäten angepasst. Dies gilt nicht nur für Sachsen. Wir wissen aus anderen Befragungen in Deutschland, dass das Bild meist ähnlich ist: Extremereignisse führen zu Anpassung und je häufiger ein Ereignis auftritt, desto wahrscheinlicher ist es, dass die betroffenen Haushalte relativ gut angepasst sind.

Ich möchte diese Ergebnisse nochmals aus einer etwas anderen Perspektive ausleuchten. Für Menschen ist es meist nicht allein entscheidend, was sie persönlich über eine Sache denken (auch wenn wir davon meist felsenfest überzeugt sind), viel wichtiger ist es, was Menschen denken, was andere von ihnen erwarten, was also zum Beispiel in einer Nachbarschaft oder in einer bestimmten Situation akzeptiertes, übliches und erwartetes Verhalten ist. Wir können davon ausgehen, dass viele Menschen ihren Rasen am Samstagvormittag mähen, nicht weil es Ihnen ein zutiefst persönliches Anliegen ist, sondern weil „man“ das ebenso macht. In diesem Sinne spielen soziale Normen eine wichtige Rolle in unserem Alltag.

Ist Eigenvorsorge nun eine etablierte soziale Norm? In unseren jüngsten Befragungen zeigt sich, dass knapp die Hälfte aller Befragten der Aussage „Die meisten Menschen in meiner Kommune erwarten von mir, dass ich mich vor Überschwemmungen schütze“ zustimmt. D.h. also, dass rund 50 % der Menschen in den befragten Kommunen Eigenvorsorge durchaus als eine soziale Norm ansehen. Das ist kein unerheblicher Anteil. Allerdings hat sich diese Norm nicht wegen eines Paragraphen im Wasserhaushaltgesetz

5 Kuhlicke, C. et al. (2020) Multiple flood experience and social resilience: findings from three surveys on households and companies exposed to the 2013 flood in Germany. *Weather Climate and Society*, 12/1, 63-88.

6 Kuhlicke, C. et al. (2014) Hochwasservorsorge und Schutzgerechtigkeit. UFZ-Discussions Paper, 15/2014; https://www.ufz.de/export/data/global/59629_DP_15_2014_Kuhlicke_Hochwasservorsorge.pdf

7 Kreibich, H. (2022) The challenge of unprecedented floods and droughts in risk management. *Nature* 608, S. 80-86

etabliert (WHG §5) und auch nicht wegen zurückliegender Informationskampagnen der Bundesländer, die im Verbund mit dem Gesamtverband der Deutschen Versicherer (GDV) durchgeführt wurden – der Gesetzespassus ist weitestgehend unbekannt⁸ und die Informationskampagne wirkungslos⁹. Es ist zu vermuten, dass sich die Normen in den Kommunen vor allem wegen der zurückliegenden Überschwemmungen verändert haben und den neuen Überschwemmungsrealitäten angepasst haben. Die Ergebnisse zeigen also, dass sich der Alltag vieler Menschen in den exponierten und häufig betroffenen Gebieten, verändert hat und hydrologische Extreme so etwas wie eine neue Normalität geworden sind.

Die Ergebnisse, die ich ihnen bisher präsentiert habe, sind allerdings nur die eine Seite der Medaille. Sie haben es gestern gehört: die Folgen des Hochwassers 2021 sind für viele Betroffenen traumatisch. Ich möchte Ihnen kurz eine Studie meines Kollegen Philip Bubeck von der Universität Potsdam vorstellen¹⁰. Die Studie ist relativ einmalig, da hier dieselben Haushalte dreimal nach dem Hochwasser 2013 befragt wurden und zwar rund 9 Monate, 18 Monate und 46 Monate danach. Die Studie zeigt, dass der Anteil von Personen, die noch relativ lange nach dem Hochwasser stark chronisch belastet ist, mit rund 40 % durchaus hoch ist. Gleichzeitig ist der Anteil der Personen, die resilient sind, sich also relativ schnell nach dem Hochwasser wieder erholen können, mit 30 % relativ gering.

Wie gehen nun die Haushalte mit den Folgen von Überschwemmungen um, wenn sie dreimal überschwemmt wurden? Es ist paradox: Gerade die mehrfachbetroffenen Super-Vorsorgefühlen sich besonders häufig hilf- und machtlos. Es sind also die Personengruppen, die besonders viel und umfassend vorsorgen, die sich gleichzeitig besonders vulnerable und machtlos fühlen. Ich kann mir nur schwervorstellen, was das für die Personen bedeutet. Es ist als würden sie regelmäßig und häufig trainieren, um stärker und schneller zu werden; sie werden darüber aber immer schwächer und langsamer. Es ist daher nur konsequent, dass die Mehrfachbetroffenen selbst nur eines wollen: raus aus den Überschwemmungsgebieten. Je häufiger ein Haushalt überschwemmt wird, desto wahrscheinlicher ist es, dass über einen Wegzug nachgedacht wird. Allerdings können gerade Eigentümer nicht so einfach wegziehen¹¹. Ihre Immobilien haben meist drastisch an Wert verloren. Sie sind also gefangen; gefangen in der Ausweglosigkeit zunehmender Extreme.

Dies hat meiner Meinung nach durchaus Implikationen und zwar für den durch Steuergeld finanzierten Wiederaufbau: Die Maxime der Politik war es bisher: Den Menschen schnell, solidarisch und unbürokratisch zu helfen, zumindest nach den großen Hochwasser von 2002, 2013 und 2021. Schnelle finanzielle Hilfe wird dabei meist gleichgesetzt mit Finanzierung des Wiederaufbaus an Ort und Stelle und damit die Ermöglichung einer Rückkehr zur „Normalität des Davors“ (also vor der Überschwemmung). Vor dem Hintergrund der gerade gezeigten Befunde ist es für mich fraglich, ob damit den Menschen langfristig ein Gefallen getan wird – gerade dann, wenn sie in stark exponierten Nachbarschaften wiederaufbauen. In bin mir sicher, dass Menschen, die dreimal von einer Überschwemmung betroffen waren und dreimal solch ein tiefeinschneidendes Ereignis bewältigen mussten, dass diese Menschen möglicherweise denken: „Wäre ich nach dem ersten Mal nur weggezogen“. Zur Ehrlichkeit gehört allerdings auch: diese Option gibt es meist gar nicht, denn die Kompensationszahlungen wurden meist nur dann gewährt, wenn an Ort und Stelle wiederaufgebaut wird. Auch bauliche Veränderungen im Sinne der Hochwasservorsorge werden meist nicht finanziert.

8 Siehe Fußnote 6

9 Osberghaus, D. und Hinrichs, H. (2021) The effectiveness of a large-scale flood risk awareness campaign – evidence from two panel data sets. *Risk Analysis*, 41/6, S. 944-957.

10 Bubeck, P. et al. (2020) Using panel data to understand the dynamics of human behavior in response to flooding. *Risk Analysis*, 40/11, 2340-2359.

11 Siehe Fußnote 6.



Klimaanpassung – wo und wie bauen?

Wir haben gestern von Achim Daschkeit vom Umweltbundesamt (UBA) die Perspektive des Bundes auf das Thema Klimaanpassung gehört. Ich bin der Meinung, dass sich Klimaanpassung derzeit im klein-klein verheddert. Es ist kein Querschnittsthema, obwohl es das sein müsste. Die Ansätze, die es in den fachlichen Rechtsarenen gibt, also zum Beispiel dem Wasserhaushaltgesetz oder dem Baurecht gibt, atomisieren sich. Sie werden der Größe der Herausforderung nicht gerecht. Die große Klammer, die die verschiedenen relevanten Anpassungsarenen überwölbt, ich sehe sie noch nicht.

Zwar gibt es Initiativen, wie z. B. das im Koalitionsvertrag der Bundesregierung festgehaltene Vorhaben, ein Klimaanpassungsgesetz auf den Weg zu bringen. Die Umsetzung dieses Vorhabens steht allerdings noch aus. Anders als die stark exponierten Haushalte, die sich anpassen, verharren der Gesetzgeber und damit häufig auch die Verwaltung in der Nicht-Anpassung.

Ich meine daher, dass es notwendig ist, eine große Klammer der Klimaanpassung zu etablieren, auch um die Kommunen mit den notwendigen Ressourcen ausstatten zu können. Die Kommunen sind einer der zentralen Akteure in der Klimaanpassung. Klimafolgen manifestieren sich lokal, es braucht daher auch lokale Antworten. Derzeit ist Anpassung allerdings allenfalls Kür für die Kommunen und keine Pflicht.

Welche Folgen das hat, zeigt eine Studie meiner Kollegin Annegret Thieken. Die Studie untersucht sehr umfassend, wie gut Kommunen und Städte in Deutschland für die Anpassung an die Folgen des Klimawandels aufgestellt sind¹². Dafür haben sie einen sogenannten Adaption-Readiness-Index entwickelt. Die aktiven und umtriebigen Städte sind die großen Städte, also Städte mit mehr als 500.000 Einwohner. Unter den weniger aktiven Städten und Kommunen, sind vor allem kleinere Kommunen zu finden. Diese Städte haben meist weniger Personal, weniger Geld und auch häufig schlicht nicht das Wissen, um sich strategisch und operativ mit dem Themenkomplex Klimafolgen und der Frage zu befassen, wie Anpassung eigentlich in effektives, das heißt risikoreduzierendes Verwaltungshandeln übersetzt werden kann. Sie würden zwar gerne, das wissen wir, können aber meist nicht. Daher ist ein Klimaanpassungsgesetz durchaus notwendig. Es schafft überhaupt erst die Ressourcenvoraussetzung, die die Kommunen in die Lage versetzt, das Mega-Thema der nächsten Jahre und Jahrzehnte angehen zu können. Zumal es häufig die kleinen Kommunen und Städte sind, die in den exponierten Mittelgebirgen in Deutschland liegen. Diesen Kommunen gilt es zu helfen und sie langfristig und unabhängig von projektbasierte Förderung mit Ressourcen auszustatten.

Ich möchte zwei Aspekte nochmals etwas detaillierter ansprechen. Der erste ist: Anpassung und Wiederaufbau. Der Zusammenhang scheint kontra-intuitiv, da Klimaanpassung vor allem die Folgen zukünftiger Ereignissen lindern soll und damit die Frage nach dem Wiederaufbau überflüssig machen sollte. Ich meine aber, dass die Frage, wie nach Zerstörungen aufgebaut wird, eine entscheidende ist und eine, der wir bisher sowohl in Politik als auch in der Forschung nicht genügend Aufmerksamkeit geschenkt haben. Der Wiederaufbau ist immer auch ein Transformationsfenster, eine Möglichkeit tiefgreifend Raumnutzung und Siedlungsstrukturen zu verändern.

Meine Diplomarbeit schrieb ich zur Umsiedlung von Valmeyer, einer kleinen US-amerikanischen Gemeinde am Mississippi¹³. Valmeyer hat sich nach dem Hochwasser von 1993 dazu entschieden, aus der Flussauen auf eine Anhöhe zu ziehen. Die Bewohner haben sich dafür zwar aus freien Stücken entschieden, hätten sich aber wahrscheinlich dazu nie einfach so durchgerungen, Valmeyer war schließlich ihre wohlvertraute Heimat. Allerdings machte den Kommunen ein Bundesgesetz den einfachen Wiederaufbau so gut wie unmöglich. Der Stafford Act von 1988 sah vor, dass ein Grundstücksbesitzer nur dann

¹² Otto A. et al. (2021) Are cities prepared for climate change? An analysis of adaptation readiness of 104 German cities. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 26/8.

¹³ Kuhlicke, C. (2005) Wenn Deiche weichen – umsiedeln? Warum Umsiedlungen in Deutschland kaum möglich sind. *GAIA* 14/4, S. 307-313.

mit umfassender staatlicher Hilfe rechnen kann, wenn er sein Haus oberhalb der gedachten Linie eines 100jährigen Bemessungshochwassers erbaut. Das galt auch für den Wiederaufbau zerstörter Gebäude. Ein Haus musste demnach entweder auf Stelzen oder an einem anderen Ort wieder errichtet werden. Baute ein Eigentümer sein Haus dennoch an gleicher Stelle wieder auf, hatte er zukünftig mit keinerlei Hilfe zu rechnen. Gerade während und nach dem 1993er Hochwasser wurde dieser Ansatz konsequent verfolgt und der Wegzug im Rahmen eines sogenannten Buy-outs, eines Ausverkaufs zerstörter Häuser, finanziell besonders honoriert. Die Bewohner Valmeyers entschieden sich rund sechs Wochen nach dem Kollaps der Deiche, kollektiv umzuziehen und einen Neuanfang zu wagen.

Wir sind in Deutschland von einer ähnlich angelegten Wiederaufbauregelung weit entfernt. Es gibt kein Rahmenwerk, keine Strategie, die konkretisieren würde, welche Maßstäbe oder Kriterien für den Wiederaufbau gelten. Wurden die Schäden, die in Folge des Winterhochwassers 1993 am Rhein entstanden sind, mit 10 % durch Steuergelder unterstützt, waren es beim Hochwasser 2002 bereits 80 % mit einer Gesamtsumme von rund 9 € Milliarden. Beim Hochwasser 2021 wurden schließlich 30 Milliarden € für die Schadenkompensation angesetzt. Einen solchen Trend, also eine immer umfangreiche Kompensation bei stetig steigenden Schadenssummen einfach laufen zu lassen, ist nicht nachhaltig. Zwar weisen einzelne Bundesländer darauf hin, dass es keine öffentliche Kompensation ohne des Nachweises des Versuches eine Versicherung zu erhalten, gäbe – dieser Hinweis wird aber bei jeder großen Katastrophe nicht realisiert. Es bedarf daher einer langfristigen Regelungen, die einerseits verlässliche Bedingungen formuliert für den Wiederaufbau, also Kriterien festlegt, die unabhängig von Ereignissen regeln wo und wie wieder aufgebaut werden kann und andererseits die Finanzierung eines vorsorgenden Wiederaufbaus unabhängig von politischen Großwetterlage sicherstellt¹⁴.

Ich möchte noch auf einen weiteren Punkt eingehen und zwar auf die Frage, wie und wo zukünftig gebaut wird. Der Schwerpunkt der Wasserwirtschaft lag in den letzten Jahren darauf, dass bestimmte Gebiete nicht länger von Hochwasser betroffen sind. Dafür wird ein bestimmtes Schutzziel anhand von Jährlichkeit definiert, welches der Bemessung von Hochwasserschutzanlagen zugrunde liegt. Die Paradoxie ist nun, dass mit der Herstellung von vermeintlicher Sicherheit hinter den Deichen das Schadenpotential ansteigt¹⁵. Jüngst ist eine Studie erschienen, die diesen Zusammenhang eindrucksvoll belegt. Die Studie vergleicht die vom Hochwasser 2002 betroffenen Gebiete in Sachsen mit den nicht-betroffenen Gebieten und stellt fest, dass die Bevölkerung gerade in den betroffenen Gebieten deutlich stärker gewachsen ist als in den nichtbetroffenen Gebieten¹⁶. D.h. das in den besonders gut geschützten Räumen, langfristig das Schadenpotential zunimmt, denn hier sind in Folge des Wiederaufbaus, der Sanierung von Wohngebäuden und der Erneuerung der Infrastruktur attraktive Wohnstandorte entstanden. Offensichtlich ist dieser paradoxe Trend in der Perspektive sehr teuer, zumal etablierten Instrumente und Gesetz derzeit nicht darauf ausgerichtet sind, dieser Entwicklung entgegen zu treten.

Ein Blick über die Grenzen zeigt wie es auch gehen kann. Von der Schweiz kann durchaus gelernt werden. Die Raumplanung macht klare und unverhandelbare Vorgaben, in welchen Räumen nicht gebaut werden darf, in welchen Räumen Bauvorsorge verpflichtend ist und in welchen Räumen sie empfohlen wird. Die gesetzlichen Vorgaben geben eine klare Orientierung und stellen transparente Standards her. Vorsorge in stark exponierten Räumen als eine freiwillige Aufgabe für den Eigentümer bzw. als ein Abwägungsbelang für die Kommunen zu belassen, wie es in Deutschland derzeit Praxis ist, wird sicher nicht ausreichen, um die gesellschaftliche Verwundbarkeit grundlegend zu ändern. Daher meine ich, wir sollten endlich beginnen, die Belange der Klimavorsorge solchermaßen zu konkretisieren, dass sie in den Siedlungsstrukturen und Gebäudebeständen wirksam wird¹⁷.

14 <https://www.hochwasser-kahr.de/index.php/de/neuigkeiten/10-empfehlungen>

15 https://rpv-elbtalosterz.de/wp-content/uploads/mit_sicherheit_waechst_der_schaden.pdf

16 https://www.ifo.de/DocDL/ifoDD_22-04_03-06_Berleemann.pdf

17 Greiving, S. (2021) Flutkatastrophen und Hochwasserschutz aus Sicht der raumorientierten Risikoforschung. Nachrichten der ARL, 03/2021, 12-19



Lassen sie mich nun zum Schluss nochmals auf Frau Addams zurückkommen. Ich meine, dass sich aus ihrer Perspektive auf Normen Hinwiese zur Rolle der Wasserwirtschaft in der Klimaanpassung ableiten lassen. Erstens, ist die Vielfalt der Perspektiven auf hydrologische Extreme sicher eine Herausforderung. Vorsorgemaßnahmen lassen sich zwar wasserwirtschaftlich konzipieren und auf ihre Wirksamkeit hin bewerten, spätestens aber, wenn sie in die Realisierung gehen, werden sie mit divergierenden gesellschaftlichen Vorstellungen zur Dringlichkeit, Wirksamkeit oder Sinnhaftigkeit konfrontiert. Konflikte, die auf unterschiedlichen Sicherheitsvorstellungen bzw. Prioritätensetzungen basieren (z. B. Natur-, Denkmal-, Hochwasserschutz) sind heute schon Umsetzungsalltag in der Wasserwirtschaft. Ich wage aber zu behaupten, dass sie vor dem Hintergrund der anstehenden notwendigen Tiefe der siedlungsstrukturellen Veränderungen, eher nicht abnehmen werden. Gleichzeitig ist die Wasserwirtschaft in der Klimaanpassung ein zentraler und durchaus einflussreicher Akteur; ein Akteur, der nicht nur die Grundlagen schafft (z. B. Gefahren- und Risikokartierung), sondern im Verbund mit anderen relevanten Handlungsfeldern, die notwendigen Weichstellungen einleiten kann, die notwendig sind, um den Umbau von Städten und Gemeinden, von Gebäuden und Infrastrukturen sowie Ökosystemen solchermaßen voranzutreiben, dass diese zukünftigen Wetterdynamik widerstehen können.

Zusammenfassung der Diskussion

Die Keynote wurde von Herrn Prof. Dr. Christian Kuhlicke gehalten und trug den Titel „Hydrologische Extreme – neue gesellschaftliche Normalität“.

Im Anschluss an die Keynote wurde auf dem Podium unter dem Titel „Klima und Wasser im Fokus der Politik“ diskutiert. An der Diskussion nahmen teil:

- Dr. Erwin Manz, Staatssekretär im Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität des Landes Rheinland-Pfalz
- Prof. Dr. Gerhard Adrian, Präsident des Deutschen Wetterdiensts
- Dipl.-Ing. Jürgen Reich, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg
- Dipl.-Ing. Christian Wanger, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz
- Prof. Dr. Christian Kuhlicke, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Leipzig (UFZ)

Zunächst wurde den Landesvertretern die Möglichkeit gegeben, die bisherigen und geplanten Aktivitäten ihrer Bundesländer im Bereich Klimaschutz und Klimaanpassung in der Wasserwirtschaft zu skizzieren.

In Rheinland-Pfalz wurde im Bereich Dürre & Trockenheit ein Strategiepapier zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die Trinkwasserversorgung und entsprechenden Anpassungsstrategien erarbeitet. Teil dieser Strategie ist etwa die Fortschreibung des Wasserversorgungsplans. Im Bereich Hochwasser & Starkregen hat die Wasserwirtschaftsverwaltung im Nachgang der Ahrkatastrophe eine eingehende Überprüfung ihrer Maßnahmen und Verfahrensweisen durchgeführt und daraus einen Sieben-Punkte-Plan entwickelt. Auf der Basis soll in den kommenden Jahren das bestehende Hochwasserrisikomanagement weiterentwickelt und verbessert werden, um zukünftig besser im Ernstfall reagieren zu können. Das betrifft Vorsorge, Vorhersage und Kommunikation und beinhaltet konkret z. B. bessere Hochwassergefahrenkarten, auch mit einem wirklichen Extremszenario, mehr Informationen über den Hochwassermeldedienst, eine Fachberatung für den Katastrophenschutz, Pegel die auch bei einem extremen Ereignis noch Daten zur Verfügung stellen.

In Baden-Württemberg wurde nach dem Sturzflutereignis in Braunsbach im Jahr 2016 ein Starkregenerisikomanagement basierend auf einer eigenen Methodik und eigenen hydrologischen Kennwerten entwickelt. Im Zuge dessen werden Kommunen bei der Erstellung eines entsprechenden Starkregenerisikomanagements gefördert. 2022 wurde Strategie zum Umgang mit Hochwasser in Baden-Württemberg überarbeitet und eine Strategie zum Umgang mit Wassermangel in Baden-Württemberg neu entwickelt. Dabei wurde ein besonderer Fokus auf die Verbesserung der Datengrundlagen gelegt. Dies gilt insbesondere für kleinere Einzugsgebiete. Weiter soll die Zusammenarbeit mit der Raum- und Regionalplanung in diesem Bereich gestärkt werden. Außerdem wichtig sind etwa die seit 2002 bestehenden Hochwasserpartnerschaften. Diese sollen zukünftig auch Niedrigwasserthemen bzw. deren Wechselwirkungen mit Hochwasserthemen behandeln.

In Bayern fand 2016 mit dem Sturzflutereignis in Simbach am Inn ebenfalls ein Schlüsselereignis statt. Im Zuge dessen wurde eine Starkregenstrategie aufgesetzt, die auf Erkenntnissen aufbaut, die Bayern aus seinen alpinen Gewässern bereits gewonnen hat. Teil dieser Strategie war der Aufbau einer Förderung von Kommunen für ein kommunales Sturzflutschutzmanagement in Auftrag geben können. Darüber hinaus soll im Zuge des Ahr-Hochwassers ein Hochwasser-Check durchgeführt werden; in den kommenden vier Jahren soll jede Kommune in Bayern von Vertreter:innen der Wasserwirtschafts- und Landwirtschaftsverwaltung besucht werden, um die Themen Sturzfluten und Hochwasser vor Ort an konkreten Ereignissen und Erkenntnissen zu besprechen und die Kommune hinsichtlich verschiedener möglicher Maßnahmen zu beraten. Dieser Vorstoß, die Arbeit der bayerischen Wasserwirtschaftsverwaltung wieder verstärkt



in die Fläche zu bringen, wird auch gerade im Zusammenhang mit dem Thema Trockenheit als enorm wichtig erachtet. Im Bereich Trockenheit bedarf es noch besonders viel Arbeit im Bereich Forschung und Datengenerierung.

Der Deutsche Wetterdienst unterstützt Bund, Länder und Kommunen bei der Durchführung ihrer Aufgaben im Katastrophen-, Bevölkerungs- und Umweltschutz. Dies erfolgt über die Erbringung meteorologischer und klimatischer Dienstleistungen, u.a. für die Wasserwirtschaft. Im Zuge des Ahr-Hochwassers wurden beim DWD bzw. im Bund-Länder-Beirat mehrere Bereiche identifiziert, die künftig verbessert werden sollen. Zum einen soll die Kommunikation an der Schnittstelle zwischen Meteorologie und Hydrologie verbessert werden, um die Bevölkerung zuverlässiger vor Gefahren aus der Atmosphäre und am Boden warnen zu können. Im Zuge dessen, wird derzeit die Einführung eines Naturgefahrenportals diskutiert. Mit diesem sollen die Warnungen nicht mehr sektoral gegliedert, sondern gemeinsam veröffentlicht werden können.

Darüber hinaus wird daran gearbeitet die Entwicklungen in der Hydrologie und der Meteorologie (z. B. der Modelle) besser aufeinander abzustimmen.

Herr Kuhlicke bewertete die geschilderten Entwicklungen und Bestrebungen als wichtig und richtig, wies aber gleichzeitig am Beispiel der Sensibilisierung der Bevölkerung des Kantons Bern im Hinblick auf Hochwasser darauf hin, dass insgesamt noch viel zu tun bleibe. Seine Forschungen ergaben zum Beispiel, dass der Großteil der Bevölkerung in Deutschland im Hochwasserfall nicht wüsste was zu tun sei.

Der vorhandene Handlungsbedarf bei Klimaschutz und –anpassung wurde durch die erste Umfrage unterstrichen. Auf die Frage, ob die Länder bereits genug für die Klimaanpassung täten, antworteten:

- 17% Stimme überhaupt nicht zu
- 52% Stimme nicht zu
- 18% Weder noch
- 11% Stimme zu
- 2% Stimme voll zu

Vom Podium wurde anschließend bestätigt, dass von Seiten der Politik im Bereich Klimaanpassung bereits viel passiert sei, aber noch mehr getan werden müsse.

In einer zweiten Umfrage, wurde das Publikum befragt, in welchen wasserwirtschaftlichen Handlungsfeldern der Anpassungsbedarf am größten sei. Am häufigsten wurden folgende Begriffe genannt:

- Trockenheit
- Grundwasser
- Starkregen
- Wasserversorgung

Diese Einordnung wurde vom Podium geteilt. Besonders der Anpassungsbedarf im Bereich Trockenheit wurde betont. Hier gebe es noch weniger klare Erkenntnisse und Maßnahmen wie etwa im Bereich Hochwasser & Starkregen. Zudem sei die Anpassung im Bereich Trockenheit zwar ein Thema der Wasserwirtschaft, aber auch andere Sektoren seien betroffen. Daher könnte die Anpassung hier nur durch gemeinsames Handeln, etwa mit der Landwirtschaft erfolgreich sein. Aus dem Plenum wurde eingeworfen, dass Fragestellungen zum Thema Trockenheit und Dürre immer häufiger bei den Verwaltungen eingehen würden. Gerade vor dem Hintergrund der angespannten Personalsituation wurden deshalb neue Instrumentarien gefordert, die die unteren Wasserbehörden bei der Bearbeitung dieser Fragestellungen unterstützen.

Die Frage nach den Hauptakteuren bei der Anpassung der Wasserwirtschaft an den Klimawandel wurde vom Publikum wie folgt beantwortet.

- Bund 39%
- Länder 65%
- Kommunen 77%
- Unternehmen 33%
- Verbände 17%
- Privatpersonen 27%

Herr Kuhlicke verwies bei der Bewertung zunächst auf den geringen Anteil kommunaler Vertreter:innen im Plenum, was zu einer Verzerrung der Ergebnisse geführt haben könnte. Er bestätigte aber, dass Kommunen als zentrales Bindeglied zwischen den Rahmenbedingungen aus Bund und Ländern und der Bevölkerung zentrale Akteure seien. Er wies aber auch darauf hin, dass diese Verantwortung in keiner Weise mit der Ressourcenausstattung der Kommunen zusammenpasse. Herr Reich und Herr Adrian wiesen darauf hin, dass die Kommunen nicht in jedem Bereich der alleinige Hauptakteur seien, dies gelte gerade für den Bereich Trockenheit und Dürre.

In der letzten Umfrage wurde nach den größten Hürden bei der Anpassung an den Klimawandel gefragt. Das Ergebnis fiel wie folgt aus:

- Fehlende monetäre Mittel und Ressourcen (ca. 25 %)
- Fehlendes Bewusstsein und dadurch geringe Motivation (ca. 25 %)
- Zielkonflikte und gegensätzliche Forderungen (ca. 25 %)
- Fehlende/mangelhafte Gesetzeslage (ca. 20 %)
- Fehlende Datengrundlage (ca. 5 %)
- Fehlende Unterstützung / Handlungshilfen (ca. 5 %)

Dieses Ergebnis wurde anschließend anhand von Beispielen diskutiert. Herr Manz wies darauf hin, dass für eine beschleunigte, unmittelbare Festsetzung von Überschwemmungsgebieten aus den Hochwassergefahrenkarten in Rheinland-Pfalz derzeit die gesetzliche Grundlage fehle. Ein Baustein des Sieben-Punkte-Plans sei aber, zukünftig eine gesetzliche Grundlage hierfür zu schaffen. Aus Sicht von Herrn Wanger sind die rechtlichen Grundlagen zum Schutz vor Sturzfluten noch unterentwickelt. Herr Reich forderte ebenfalls gesetzliche Grundlagen, damit im Zweifelsfall nicht zwischen verschiedenen Faktoren abgewogen werden könne, sondern die Klimaanpassung der bestimmende Faktor bleibe. Ein Beispiel sei die Ausweisung von Vorranggebieten für den Hochwasserschutz.

Es wurde in der Diskussion aber auch betont, dass gerade die Anpassung im Bereich Trockenheit ein sektorübergreifendes Arbeitsfeld sei und sich hier in jüngerer Vergangenheit aber auch für die Zukunft Zielkonflikte herauskristallisiert hätten, die nur schwer oder auch nicht komplett lösbar seien. Aus diesem Grund gebe es in der LAWA seit längerem ein gemeinsames Gremium mit Vertreter:innen aus Land- und Wasserwirtschaft.

Aus Sicht des Podiums besteht der Mangel an Ressourcen vor allem im Mangel an Personal. In Rheinland-Pfalz solle etwa ein Förderprogramm für kommunalen Klimaschutz und –anpassung mit einem Volumen von 250 Mio. € aufgelegt werden. Für Bayern und die Forschung wurde hierbei auf die häufig befristeten Anstellungen verwiesen. Dies erschwere nicht nur die Personalgewinnung, sondern auch die Ausbildung.



Aus dem Plenum wurde in der weiteren Diskussion angeregt, Klimaschutz und Klimaanpassung rechtlich als Daseinsvorsorge zu betrachten und damit als Aufgabe der Kommunen im Gesetz zu verankern. Auf diese Weise müsse auch das entsprechende Personal eingestellt werden und die Thematik würde flächendeckend gestärkt werden. Daraufhin wurde die Frage in den Raum gestellt, wie kleine Kommunen dies bewerkstelligen sollen, selbst wenn der gesetzliche Auftrag vorliege.

In einer weiteren Wortmeldung wurde auf die Zielkonflikte und Hürden hingewiesen, die die Kommunen bei der Klimaanpassung überwinden müssten. In diesem Zusammenhang wurde der Wunsch nach einer Verbesserung des sektoralen Arbeitens formuliert. Dies könne durch den Aufbau von Szenariokompetenzen geschehen. Außerdem wurden politische Unterstützung und mutige politische Entscheidungen gefordert.

In der Schlussrunde der Podiumsdiskussion wurde die Frage gestellt, wie „mutiges Handeln“ in der Politik konkret aussehen könnte und wie trotz der vielen Zielkonflikte, unzureichender Erkenntnisse oder Ressourcen dennoch der geforderte Schulterschluss über Sektoren hinweg erreicht werden könnte.

Vom Podium wurde darauf hingewiesen, dass die Behörden derzeit schon sehr mutig seien und dass gerade im Bereich Trockenheit trotz der noch unzureichenden Daten und Erkenntnisse viele Entscheidungen getroffen werden müssten. KLIWA sei zudem schon häufig mutig gewesen. Beispielsweise sei bereits 2005 auf Basis der ersten regionalen Klimaprojektionen ein Klimaänderungsfaktor eingeführt worden, der bis heute Bestand habe.

Der Schulterschluss könne laut Herrn Kuhlicke nur durch ein geteiltes Verständnis erreicht werden. Man müsse beispielsweise formulieren, was eine „klimagerechte Kommune“ genau sei und daraus entsprechende Leitbilder ableiten. Von der Wasserwirtschaft wünschte sich Herr Kuhlicke, dass auf wasserwirtschaftlichen Konferenzen der Kreis der Teilnehmenden auf andere Fachbereiche ausgeweitet wird. Herr Wanger formulierte den Wunsch unterschiedlich extreme Szenarien aufzustellen, um das Gesamtbild der zukünftigen Entwicklung darzustellen und zu verdeutlichen. Herr Manz plädierte dafür, die Zusammenarbeit auf andere Sektoren auszuweiten und besonders die Bevölkerung und die Wirtschaft mitzunehmen.

Grundwasser – Auswirkungen des Klimawandels in Süddeutschland

Jörg Neumann
Bayerisches Landesamt für Umwelt

1. Einleitung

Die Auswirkungen der Trockenheit auf das Grundwasser haben deutschlandweit in den letzten beiden Jahrzehnten massiv an Bedeutung gewonnen. So werden auch im vergleichsweise wasserreichen Süden Deutschlands die Folgen des Klimawandels auf den gesamten Wasserhaushalt immer offensichtlicher (Fliss et al., 2021). Langfristig unterdurchschnittliche Grundwasserneubildungsraten haben großräumig sinkende Grundwasserstände und zurückgehende Quellschüttungen zur Folge. Die öffentliche Wasserversorgung und konkurrierende Nutzungen wie die landwirtschaftliche Bewässerung beanspruchen dieselben Ressourcen bei einem insgesamt sinkenden Dargebot.

Im Rahmen der Kooperation KLIWA werden seit Jahren länderübergreifend umfangreiche Untersuchungen zu den Auswirkungen des Klimawandels auf das Grundwasser durchgeführt und fortlaufend aktualisiert. Neben statistischen Auswertungen zum Langzeitverhalten von Grundwasserständen und Quellschüttungen auf Basis von Monitoringdaten der Länder erfolgen gemeinsame flächendeckende Modellrechnungen mit dem Bodenwasserhaushaltsmodell GWN-BW (Gudera & Morhard, 2015; Kopp et al., 2018). Betrachtet wird dabei sowohl die Entwicklung des Bodenwasserhaushalts und der Grundwasserneubildung in der Vergangenheit (ab 1951 bis heute), als auch künftige Entwicklungspfade (bis 2100) auf Basis regionaler Klimaprojektionen (KLIWA-Ensemble).

Sämtliche Ergebnisse zur bisherigen und zukünftigen Entwicklung der Grundwasserverhältnisse stellen wichtige Grundlagen bzw. Rahmenbedingungen für dringend erforderliche Anpassungsmaßnahmen und Handlungsempfehlungen im Grundwassersektor dar. Der fachliche Fokus liegt dabei insbesondere auf den möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf die öffentliche Wasserversorgung. Aufbauend auf den KLIWA-Erkenntnissen werden hierzu seitens der Länder bereits eigene weiterführende Vorhaben, vor allem im Hinblick auf die zukünftige Versorgungssicherheit, durchgeführt. Im wasserwirtschaftlichen Vollzug müssen daher entsprechende Anpassungsmaßnahmen, z. B. bei der Erteilung von Entnahmerechten, bzw. der Entwicklung lokaler Managementpläne einen noch größeren Stellenwert bekommen (Dohmen 2020).

2. Was zeigen die Messdaten?

Grundwasserstände und Quellschüttungen werden in den Messnetzen der Bundesländer seit Jahrzehnten systematisch überwacht. Damit liegt mittlerweile eine Datengrundlage vor, die sowohl eine Bewertung der aktuellen Situation, als auch eine Beschreibung der langfristigen Entwicklung in der Vergangenheit zulässt. Das gesamte Monitoring mit Blick auf mögliche Klimafolgen ist ein wichtiger Projektbereich innerhalb des Kooperationsvorhabens KLIWA. Die entsprechenden Auswertungen werden regelmäßig fortgeschrieben und in Form von KLIWA-Monitoringberichten veröffentlicht.

Aktuelle Situation Grundwasserstände und Quellschüttungen

Die Web- und Datendienste mehrerer KLIWA-Länder veröffentlichen fortlaufend aktuelle Informationen zur Grundwassersituation in den Regionen. Dabei erfolgt i.d.R. auch eine Bewertung der jeweiligen Verhältnisse an Hand von statistischen Kennwerten (z. B. Perzentile). Auf Grundlage dieser Ergebnisse kann

die zeitliche Entwicklung der Grundwasserstände und Quellschüttungen in der jüngeren Vergangenheit aufgezeigt werden. Nachfolgend wird dies am Beispiel von Daten aus dem Niedrigwasserinformationsdienst Bayern näher erläutert.

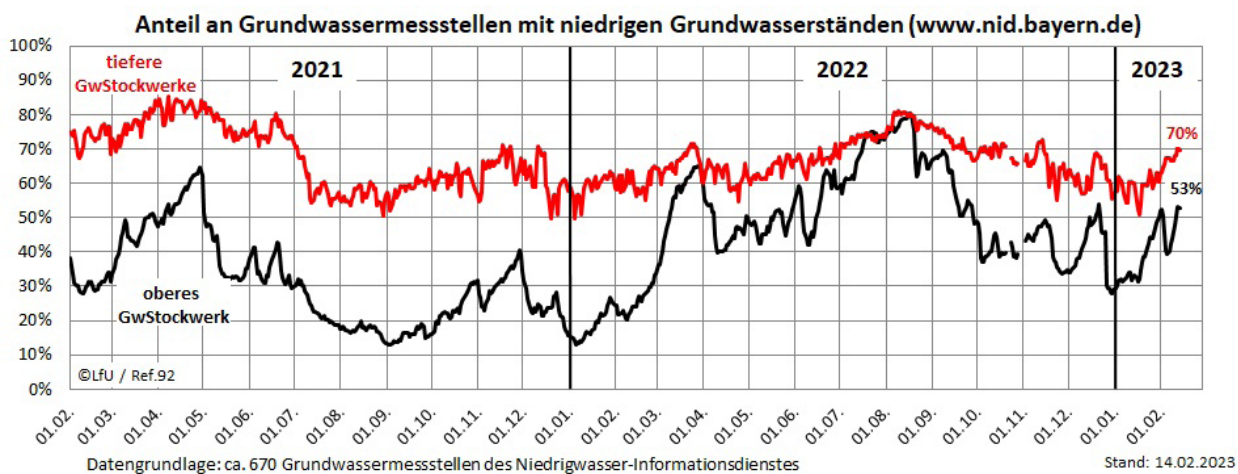


Abbildung 1: Niedrigwasserinformationsdienst Bayern: Anteil von Messstellen mit niedrigen und sehr niedrigen Grundwasserständen und Quellschüttungen, Entwicklung der letzten zwei Jahre.

Im Niedrigwasserinformationsdienst Bayern werden aktuell rd. 670 Grundwassermessstellen und Quellen geführt. Betrachtet man den Anteil an Messstellen mit niedrigen und sehr niedrigen Werten und deren zeitlichen Verlauf, so ergibt sich für die letzte zwei Jahre das in Abbildung 1 dargestellte Bild. Für das oberflächennahe Grundwasser ist deutlich erkennbar, dass das Jahr 2022 ausgehend von einem Minimum zu Jahresbeginn (rd. 15%) im weiteren Verlauf einen stark steigenden Anteil an Messstellen mit niedrigen/ sehr niedrigen Werten aufgewiesen hat. Das Jahresmaximum wurde zum Höhepunkt der Dürreperiode Mitte August erreicht, als rd. 80% aller Messstellen deutlich zu niedrige Werte aufwiesen. Diese Entwicklung im Grundwasser spiegelt das Niederschlagsgeschehen, bzw. die ausgeprägte Trockenheit im Jahresverlauf wider und unterscheidet sich deutlich von der des Vorjahres. Die tieferen Grundwasserstockwerke zeigen demgegenüber einen vom Witterungsgeschehen stärker entkoppelten langfristigen Verlauf. Während der letzten beiden Jahre bewegt man sich hier durchgehend auf einem Niveau >50%. Für eine nachhaltige Erholung der Grundwasserneubildung sind vor allem überdurchschnittliche Winter-niederschläge erforderlich. Die bisherigen, erneut zu geringen Niederschläge bis einschließlich Februar 2023 führten dabei zu einem hohen Anteil niedriger Messwerte im Grundwasser. Eine Trendwende im Sinne eines Ausgleichs des Defizits ist daher kurzfristig nicht zu erwarten. Vergleichbare Entwicklungen werden in Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Hessen beobachtet.

Entwicklung in der Vergangenheit – Niedrigstwerte

Im Rahmen der oben beschriebenen Entwicklung der letzten beiden Jahre wurde auch eine Vielzahl neuer Niedrigstwerte (NNW-Werte) an Grundwassermessstellen und Quellen beobachtet. Das bedeutet, dass zahlreiche Zeitreihen zuletzt den niedrigsten jemals gemessenen Wert aufweisen. Um eine bessere Einordnung dieser aktuellen Entwicklung und einen Vergleich mit früheren Trockenperioden vornehmen zu können, wurde eine länderübergreifende Auswertung der NNW-Werte für den Zeitraum 1971-2020 durchgeführt (Abbildung 2). Die Ergebnisse zeigen die Verteilung der NNW-Werte auf die einzelnen Jahre des 50-Jahreszeitraums. Auffällig sind vereinzelte Extremjahre in den 1970er Jahren sowie in den 1990er Jahren, die jedoch deutlich durch die Jahre 2018-2020 übertroffen werden, in denen gehäuft NNW-Werte aufgetreten sind. Diese Entwicklung hat sich in den Folgejahren 2021 und 2022 fortgesetzt und nochmals weiter verstärkt. Bemerkenswert ist außerdem, dass die Extremjahre 2003 und 2015 innerhalb der

Gesamtzeitreihe vergleichsweise unauffällig sind. Hinzu kommen große regionale Unterschiede in der Ausprägung einzelner Trockenjahre.

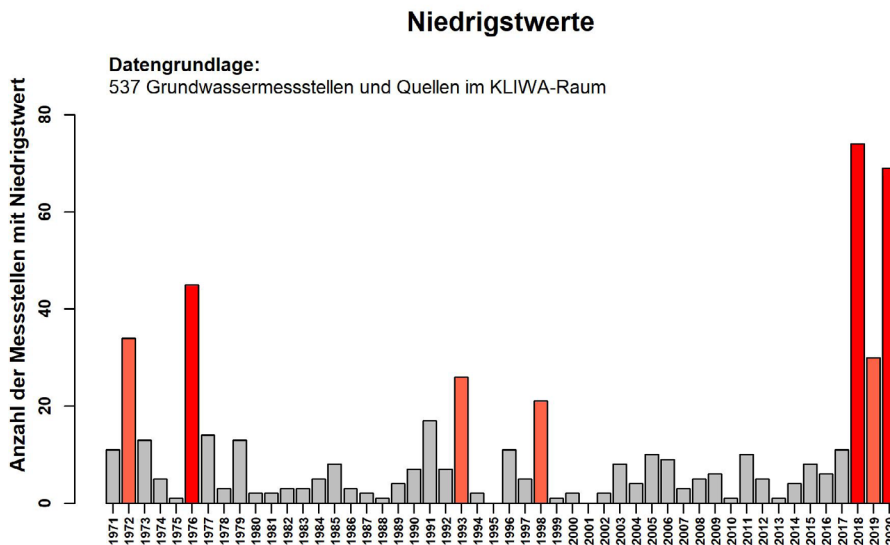


Abbildung 2: Zeitliche Verteilung von Niedrigstwerten (Grundwasserstand, Quellschüttung) in Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz seit 1971 (KLIWA, 2021).

Entwicklung in der Vergangenheit – Trends im Langzeitverhalten

Im Rahmen von KLIWA wurden 172 Messstellen in Bayern, Baden-Württemberg, Hessen und Rheinland-Pfalz mit möglichst langen, wenig beeinflussten Zeitreihen für Untersuchungen zum Langzeitverhalten ausgewählt. Diese werden regelmäßig mit Hilfe verschiedener Verfahren detailliert statistisch ausgewertet (KLIWA 2010, 2011) und für den alle fünf Jahre erscheinenden KLIWA-Monitoringbericht aufbereitet (KLIWA 2021). Nachdem bereits bei früheren Untersuchungen die Mehrzahl der Messstellen langfristig fallende Werte (mittleres Trendverhalten) aufgewiesen hat, ist diese Entwicklung bei der letzten Bearbeitung nochmals deutlicher geworden. Die aktuellen Untersuchungsergebnisse zeigen inzwischen für 136 Messstellen einen Rückgang der Messwerte. Dies entspricht einem Anteil von rd. 80% aller Messstellen in Süddeutschland (Abbildung 3) und kann als klares Klimasignal interpretiert werden. Neben dieser länderübergreifend eindeutigen Tendenz in Richtung Niedrigwasser im Grundwasser bzw. „Grundwasserdürre“ (Hellwig, 2019) konnte eine weitere signifikante Entwicklung festgestellt werden. So wurde deutlich, dass das Maximum des jeweiligen Jahresgangs immer früher im Jahr auftritt. Als Folge gesteigerter Temperaturen und dem dadurch bedingt zurückgehenden Einfluss des Schneespeichers kann es zu einer verlängerten Leerlaufphase des Grundwasserleiters in den Sommermonaten kommen. Mögliche wasserwirtschaftliche Konsequenzen dieser Entwicklung können dabei zurückgehende Dargebote insbesondere bei Quellwasserversorgungen sein.

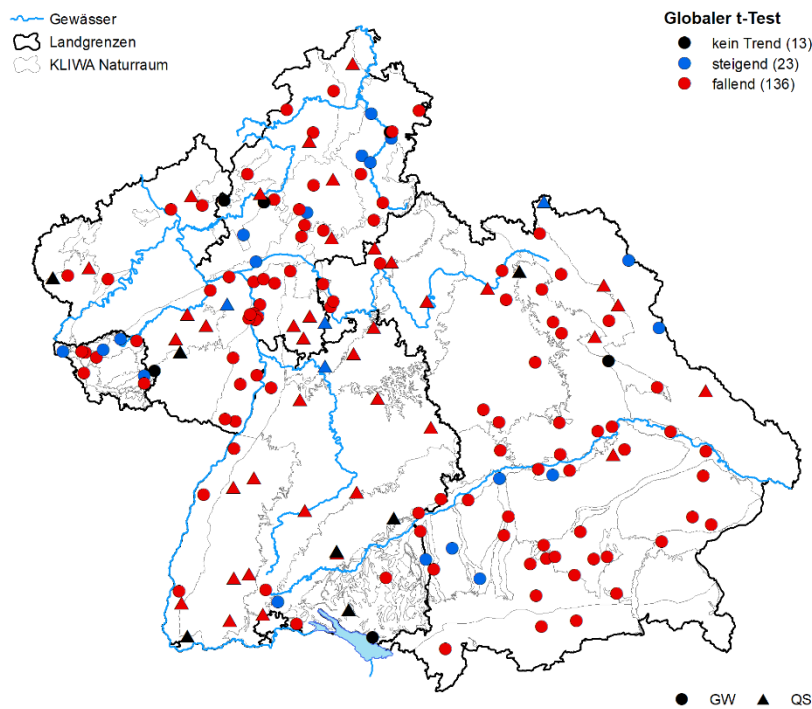


Abbildung 3: Langzeitentwicklung von Grundwasserständen und Quellschüttungen in Süddeutschland – Beurteilung des mittleren Verhaltens (KLIWA, 2021).

3. Entwicklung der Grundwasserneubildung seit 1951

Auf Grundlage des Bodenwasserhaushaltsmodells GWN-BW werden beginnend mit dem Jahr 1951 länderübergreifend Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung modelliert und jährlich fortgeschrieben. Betrachtet man die Entwicklung der Grundwasserneubildung in Süddeutschland so ergibt sich das in Abbildung 4 dargestellte Bild. Im Zeitraum 1951 bis 2002 sind große jährliche Unterschiede und ein häufiger Wechsel nasser, trockener und durchschnittlicher Jahre zu beobachten. Beginnend mit dem Trockenjahr 2003 hat sich eine deutlich abgeschwächte Neubildungsdynamik eingestellt. Die Bandbreiten der jährlichen Grundwasserneubildung haben dabei insgesamt abgenommen und es wurden nahezu ausnahmslos unterdurchschnittliche oder stark unterdurchschnittliche Werte verzeichnet. Die mittlere Grundwasserneubildung ist in Süddeutschland seit 2002 um rund 18 % gegenüber dem langjährigen Mittel 1971-2000 zurückgegangen. In Summe bedeutet dies für Süddeutschland ein absolutes Defizit in Höhe von rd. 570 mm bzw. 570 l/m². Hierbei sind jedoch regionale Unterschiede zu beobachten. Während Hessen und Rheinland-Pfalz Abnahmen von rd. 26 % zu verzeichnen haben, sind Baden-Württemberg (-17 %) und Bayern (-16 %) weniger stark betroffen. Als Hauptursache für die geringe Grundwasserneubildung wirkt sich der Rückgang der Winterniederschläge in den letzten 20 Jahren aus. Besonders die Niederschläge im Winterhalbjahr sind jedoch für die Erneuerung der Grundwasserressourcen elementar. Zusätzlich zu Lasten der Grundwasserneubildung geht die temperaturbedingt zu verzeichnende Zunahme der potentiellen Verdunstung sowie das immer häufigere Ausbleiben einer Schneedecke. In ihrer zeitlichen Entwicklung korreliert die modellierte Grundwasserneubildung insgesamt gut mit dem beobachteten Rückgang der Grundwasserstände und Quellschüttungen an den Messstellen.

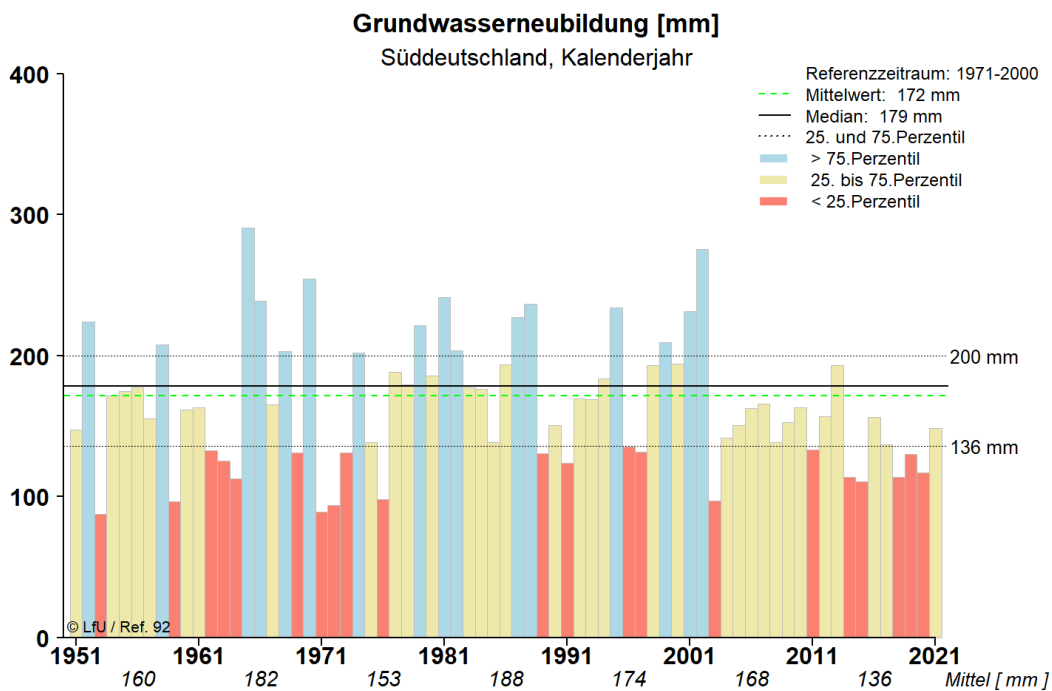


Abbildung 4: Entwicklung der Grundwasserneubildung aus Niederschlag in Süddeutschland im Zeitraum 1951-2021 und Angabe der Jahreswerte einschließlich statistischer Einordnung in Perzentilklassen.

4. Zukünftige Entwicklung der Grundwasserneubildung

Im Rahmen von KLIWA wird ein Ensemble aus regionalen Klimaprojektionen verwendet, um Aussagen zur Bandbreite der möglichen Entwicklung der Grundwasserneubildung in der Zukunft treffen zu können. Dieses sogenannte KLIWA-Ensemble entstand auf Basis eines Audits und besteht aus neun dynamischen Projektionen. Für den Bereich Grundwasser wurde es um vier statistische Projektionen ergänzt. Alle Projektionen beruhen dabei auf dem Emissionsszenario RCP8.5, dem ein weiterer Anstieg der Treibhausgasemissionen zugrunde liegt. Stellt man die Ergebnisse der Ensemblesimulationen für verschiedene Dreißigjahreszeiträume dem Referenzzeitraum 1971-2000 gegenüber, so ergeben sich für die Grundwasserneubildung die in Abbildung 5 dargestellten Bandbreiten. Während mehrere Projektionen in der nahen Zukunft für Süddeutschland leichte Zunahmen der mittleren Grundwasserneubildung bis ca.10% erwarten lassen, deuten andere Projektionen mit Abnahmen von bis zu -25% in die gegenteilige Richtung. Im weiteren Verlauf des Jahrhunderts sind innerhalb des Ensembles dann immer häufiger Abnahmen und weiter zurückgehende Werte zu erwarten. Auffällig ist dabei, dass die Spannen der möglichen Entwicklung mit fortschreitender Zeit deutlich größer werden.

Für die aktuelle Normalperiode 1991-2020 ist eine Gegenüberstellung der Ergebnisse der Ensemblesimulationen mit denen der Langzeitsimulation auf Basis von meteorologischen Messdaten möglich. Im Vergleich fällt dabei auf, dass der Großteil der Projektionen den auf Messdaten basierenden Rückgang der Grundwasserneubildung kaum oder gar nicht abbilden. Die reale Entwicklung der jüngeren Vergangenheit ordnet sich somit bisher im Bereich des unteren „trockenen“ Rands der Werteverteilung (also den Minima der Projektionen) des Ensembles ein. Ob sich diese Entwicklung weiter manifestiert kann erst mit längeren Datenreihen sicher festgestellt werden. Bei Abschätzungen des zukünftigen Grundwasserdargebots

sollte in Betracht gezogen werden, dass sich die tatsächliche Entwicklung hin zu vergleichsweise trockenen Verhältnissen fortsetzen könnte.

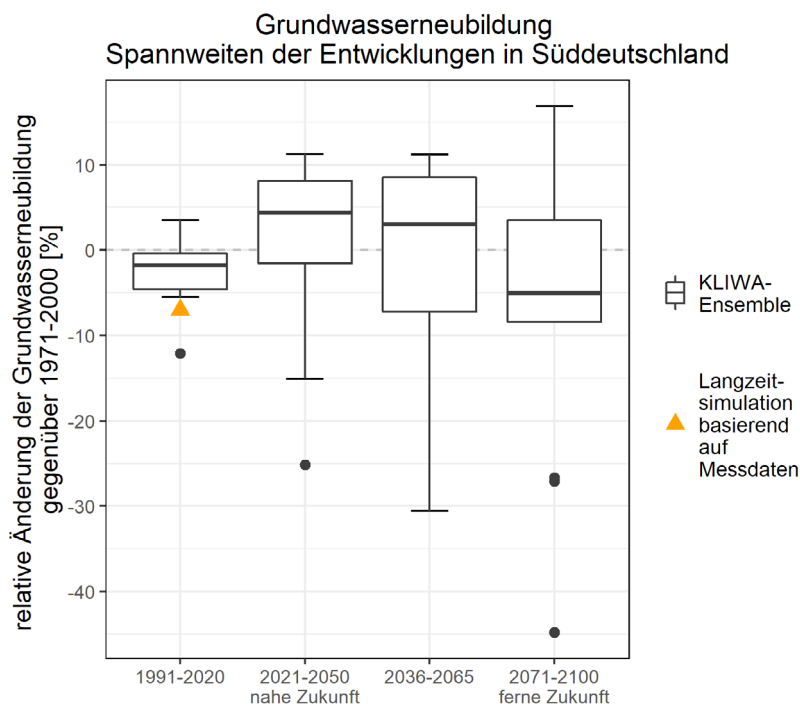


Abbildung 5: Zukünftige Entwicklung der Grundwasserneubildung bis zum Jahr 2100. Darstellung der Bandbreiten auf Grundlage des für den Bereich Grundwasser erweiterten KLIWA-Ensembles (13 Projektionen).

Bei der Auswertung von regionalen Klimaprojektionen werden grundsätzlich dreißigjährige Zeiträume betrachtet. Als Klimaänderungssignale besitzen entsprechende Mittelwerte allerdings nur eine eingeschränkte Aussagekraft. Insbesondere im Hinblick auf zukünftige Trockenextreme ist zusätzlich eine Betrachtung weiterer Kennwerte erforderlich, wie z. B. Dauer, Variabilität, Abfolge und Häufigkeiten von Trockenperioden. Betrachtet man dahingehend alle Einzelprojektionen des Ensembles mit Ihren Jahreswerten innerhalb der dreißigjährigen Betrachtungszeiträume, so fallen bezogen auf die untersuchten Bundesländer folgende Aspekte besonders auf:

- Mehr als die Hälfte aller Projektionen des betrachteten KLIWA-Ensembles zeigt eine Unterschreitung der bisherigen jährlichen Minima
- Alle Projektionen umfassen in Zukunft mehrjährige Trockenperioden, vielfach mit einer Zunahme der Dauer
- Trockene Zehnjahresabschnitte (Dekaden) weisen zumeist niedrigere Grundwasserneubildungsraten als die Vergangenheit auf

5. Fazit – Wasserwirtschaftliche Konsequenzen

Die bisherigen Beobachtungen in Süddeutschland zeigen bereits deutliche Auswirkungen des Klimawandels auf die Grundwasserneubildung sowie Grundwasserstände und Quellschüttungen. Dem entsprechend wird seit rund 20 Jahren ein Rückgang der Messwerte festgestellt, welcher sich in den letzten Jahren vielerorts verschärft hat. Hauptursächlich für diese Entwicklung ist das erhebliche Defizit bei der Grundwasserneubildung. Dies hat bereits jetzt unmittelbare Auswirkungen auf das insgesamt

verfügbare Dargebot und erfordert entsprechende Anpassungsmaßnahmen im Hinblick auf verschiedene Grundwassernutzungen (Kluge & Treskatis, 2022). Für die Zukunft ergibt sich auf Grundlage des für den Bereich Grundwasser erweiterten KLIWA-Ensembles unter Berücksichtigung aller Unsicherheiten ein differenziertes Bild mit großen Spannweiten möglicher Entwicklungen. Während mehrere Projektionen auf leichte Zunahmen bzw. stagnierende Verhältnissen hinweisen, zeigen andere Projektionen erhebliche Rückgänge der mittleren Grundwasserneubildung. Unter Berücksichtigung der beschriebenen Entwicklung der letzten 20 Jahre sollte sich die erforderliche Anpassung der öffentlichen Wasserversorgung an Trockenheit daher aus Vorsorgegründen auf die ungünstigen Entwicklungspfade („trockener Rand“) beziehen. Dabei sind nicht nur das dreißigjährige Mittel, sondern insbesondere auch weitere Kennwerte, speziell zur Beschreibung von Extremsituationen, relevant. Zusätzlich empfiehlt sich, tatsächliche Erfahrungen aus der Vergangenheit in die Beurteilung zukünftiger Verhältnisse einfließen zu lassen. Dies ist beispielsweise auf Grundlage von sogenannten Stresstest-Simulationen möglich (KLIWA 2018a, 2019). Ergänzend spielen hier auch regionale Abschätzungen zum Grundwasserdargebot, z. B. anhand von Fallstudien, eine wichtige Rolle (KLIWA 2018b). Die Gesamtheit aller Erkenntnisse zur künftigen Entwicklung der Grundwasserhältnisse bildet die Grundlage für weiterführende Beurteilungen der künftigen Versorgungssicherheit, bzw. für ein nachhaltiges Grundwassermanagement in den Bundesländern.

Literatur

DOHMEN, A. (2020): Wasserrechtliche Benutzungen vor den Herausforderungen des Klimawandels. *Korrespondenz Wasserwirtsch.* 8, 436–441

FLISS, R.; BAUMEISTER C.; GUDERA T.; HERGESELL M.; KOPP B.; NEUMANN J.; POSSELT M. (2021): Auswirkungen des Klimawandels auf das Grundwasser und die Wasserversorgung in Süddeutschland. *Grundwasser – Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie* (2021) 26:33–45; <https://doi.org/10.1007/s00767-021-00477-z>

GUDERA, T., MORHARD, A.: Hoch aufgelöste Modellierung des Bodenwasserhaushalts und der Grundwasserneubildung mit GWN-BW. *Hydrol. Wasserbewirtsch.* 59(5), 205–216 (2015)

HELLWIG, J. (2019): Grundwasserdürren in Deutschland von 1970 bis 2018. *Korrespondenz Wasserwirtsch.* 12(10), 567–572

KLIWA, KLIMAVERÄNDERUNG UND WASSERWIRTSCHAFT (2010): Willems, W.: Langzeitverhalten von Grundwasserständen und Quellschüttungen – Periodizitäten und Korrelation mit Klimasignalen. *KLIWA-Heft 15*: 165-186.

KLIWA, KLIMAVERÄNDERUNG UND WASSERWIRTSCHAFT (2011): Langzeitverhalten von Grundwasserständen, Quellschüttungen und grundwasserbürtigen Abflüssen in Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz. *KLIWA-Heft 16*. Veröffentlicht auf www.kliwa.de.

KLIWA, KLIMAVERÄNDERUNG UND WASSERWIRTSCHAFT (2017): Entwicklung von Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg, Bayern, Rheinland-Pfalz und Hessen (1951-2015). *KLIWA-Heft 21*. veröffentlicht auf www.kliwa.de.

KLIWA, KLIMAVERÄNDERUNG UND WASSERWIRTSCHAFT (2018a): Neumann, J.: Vulnerabilität von Grundwassersystemen Süddeutschlands – Ergebnisse von Stresstestuntersuchungen. *KLIWA-Heft 22*: 211-218.

KLIWA, KLIMAVERÄNDERUNG UND WASSERWIRTSCHAFT (2018b): Kopp, B.: Wasserversorgung und die Entwicklung des Dargebots in gering ergebnigen Grundwasserleitern. *KLIWA-Heft 22*: 219-231.

KLIWA, KLIMAVERÄNDERUNG UND WASSERWIRTSCHAFT (2019): Leitfaden zur Durchführung von KLIWA-Stresstests. 19 S. *KLIWA-Kurzbericht*.



KLIWA, KLIMAVÄNDERUNG UND WASSERWIRTSCHAFT (2021): Klimawandel in Süddeutschland – Veränderungen von meteorologischen und hydrologischen Kenngrößen. Monitoringbericht 2021. Veröffentlicht auf www.kliwa.de.

KLUGE, T; TRESKATIS, C. (2022): Warten und Zusehen trotz beunruhigender Signale? gwf-Wasser, Abwasser 06, 59-65.

KOPP, B., BAUMEISTER, C., GUDERA, T., HERGESELL, M., KAMPF, J., MORHARD, A., NEUMANN, J. (2018): Entwicklung von Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg, Bayern, Rheinland-Pfalz und Hessen von 1951 bis 2015. HyWa 62(2), 62–76.

Aquatische Ökosysteme im Klimastress – Folgen und Schutzmöglichkeiten

Sarah Oexle

Fischereiforschungsstelle Baden-Württemberg, LAZBW

1. Hot-Spot der Biodiversität in Gefahr

Süßwasserökosysteme zählen weltweit und auch bei uns zu den artenreichsten Lebensräumen, sie gelten als „Hot-Spots“ der Biodiversität. Obwohl Binnengewässer und Feuchtgebiete nur etwa 0,3 Prozent der Erdoberfläche einnehmen, finden sich dort über 10 Prozent aller bekannter Arten (z. B. Balian et al. 2007). Diese Biodiversität ist jedoch hochgradig gefährdet – zahlreiche menschliche Eingriffe in die Gewässersysteme führten dazu, dass mittlerweile ein dramatischer Rückgang der Artenvielfalt zu verzeichnen ist. Verschmutzungen durch Einleitung von Abwässern oder Einträge aus der industriellen Landwirtschaft, Verbau und Aufstauung der Gewässer zur Wasserkraftnutzung oder für die Schifffahrt, ebenso die Trockenlegung von Feucht- und Auengebieten zur Flächennutzung sind nur einige Beispiele der Beeinträchtigung der ökologischen Funktionen der Gewässersysteme. Die Verschleppung von fremden, teilweise invasiven Arten und mit ihnen Krankheitserregern, wie z. B. der Krebspest, setzen unseren heimischen Tier- und Pflanzenarten zusätzlich zu.

Der menschengemachte, rapide Klimawandel stellt die aquatischen Ökosysteme nun vor zusätzliche massive Herausforderungen. Zum einen werden durch die Folgen die bereits bestehenden Probleme in den Gewässern verstärkt und der Nutzungsdruck auf die „Ressource“ Wasser wird zunehmen. Zum anderen verändert sich die klimatische Eignung der Lebensräume durch die Klimaerwärmung direkt und mit einer erdgeschichtlich beispiellosen Geschwindigkeit. Anpassungen der Tier- und Pflanzenarten erfolgen dabei oft nicht schnell genug und sind nur in den jeweiligen physiologischen Grenzen möglich, so dass sich für zahlreiche Süßwasserarten bereits jetzt ein enormer Habitatverlust abzeichnet. Das wird sich zukünftig bis zum Aussterben solcher, an sommerkühle Gewässer angepasste Arten in verschiedenen Regionen fortsetzen. Durch den gleichzeitigen inselartigen Charakter der Binnengewässer haben hololimnische Arten deutlich schlechtere Möglichkeiten, ihrer sich verschiebenden Klimanische zu folgen, als dies beispielsweise für landlebende Tierarten möglich ist.

2. Aquatische Ökosysteme im Klimastress

2.1 Auswirkungen der Klimakrise am Beispiel der Fische

Der Klimawandel setzt die Fischfauna und die aquatischen Lebensräume auf vielschichtige Weise unter erheblichen Druck (z. B. Jarik et al. 2019). Fische als wechselwarme Organismen, wie auch die meisten der anderen Gewässerlebewesen, sind in ihrer Physiologie von der Wassertemperatur abhängig und haben sich in allen Entwicklungsstadien optimal an ihren Lebensraum und die bisherigen jahreszeitlichen Temperaturen angepasst (z. B. Dahlke et al. 2020).

Dabei beeinflusst die Wassertemperatur maßgeblich eine Vielzahl an biologischen und physikalisch-chemischen Prozessen in den Gewässern und steuert den Stoffwechsel der Lebewesen, die Löslichkeit von Gasen, wie z. B. Sauerstoff und die Toxizität von zahlreichen Schadstoffen. Je wärmer das Wasser, desto höher sind die Stoffwechselraten und der damit verbundene Sauerstoffbedarf der Tiere – gleichzeitig sinkt aber die Sauerstofflöslichkeit im Wasser. Jede Tier- und Pflanzenart hat hinsichtlich der umgebenden Wassertemperatur einen Vorzugsbereich, dabei können Unter- oder Überschreitungen bis zu einem gewissen Grad toleriert werden. Durch den Klimawandel kommt es aber immer häufiger zu

schnellen, sprunghaften Veränderungen der Umweltparameter, die dann diese kritischen Toleranzbereiche überschreiten oder aufgrund der hohen Dynamik nicht mehr kompensiert werden können. Sofern die Tiere dem nicht ausweichen können, kann es durch den Ausfall von Fortpflanzungsstadien zur Unterbrechung des Lebenszyklus oder direkt zum Tod führen.



Abbildung 1: Die extremen Hitze- und Dürrephasen sorgen im Sommer immer häufiger dafür, dass Gewässer streckenweise kaum noch Wasser führen oder sogar ganz austrocknen.

Die Auswirkungen der Klimakrise auf die Fischfauna sind komplex und variieren entlang des Gewässerlaufs. Dabei lassen sie sich grob in kurzfristige Wetterphänomene und langfristig wirkende Veränderungen einteilen (z. B. Basen et al. 2022a und Zitate darin):

Zu den kurzfristigen Wetterphänomenen zählen extreme Hitze- und Dürrephasen, aber auch Starkregenereignisse und daraus resultierende Hochwasser. Sie werden durch den Klimawandel in ihrer Frequenz und Dauer in Zukunft immer häufiger auftreten (LUBW 2021). Steigende Wassertemperaturen mit sinkendem Sauerstoffgehalt können zu Hitzestress bei den Fischen führen, bei Überschreiten der kritischen Toleranzgrenzen bis zum Tod. Ähnliche Effekte werden durch Trockenfallen von Gewässern bewirkt. Niedrige Pegel führen zu enormen Habitatverlusten, können Gewässerabschnitte voneinander abschneiden und bei fortschreitender Erwärmung und Austrocknung so zur tödlichen Falle werden. Aber auch bereits die fehlende Vernetzung der Rückzugsgebiete kann Fischpopulationen dadurch gefährden, dass etwa Laichhabitate nicht mehr erreichbar sind und der Fortpflanzungserfolg ausbleibt. Weitere Folgen des Klimawandels können auch durch häufigere Starkregenereignisse und den damit verbundenen erhöhten Stoffeinträgen verursacht werden. Durch Erosion können sowohl Feinsedimente, Nähr- und Schadstoffe, beispielsweise von umliegenden Feldern, in großem Maß in die Gewässer eingeschwemmt werden. Neben möglichen toxischen Effekten durch Schadstoffe, verringern erhöhte Anteile an Feinsedimenten und Nährstoffen im Gewässer wiederum die Habitatqualität (v. a. für Nachwuchsstadien) und die Sauerstoffverfügbarkeit durch vermehrte Abbauprozesse und resultieren somit wiederum in zusätzlichen Stressfaktoren für die Tiere.

Durch die langfristigen Klimawandeleffekte erwärmen sich die Gewässer insgesamt. Mildere Winter mit weniger Frosttagen und immer heißere Sommer sorgen für einen Anstieg der Wassertemperaturen, selbst bis ins Grundwasser. Neben den Temperaturerhöhungen kommt es langfristig auch zu einer saisonalen Umverteilung der Niederschläge, wodurch die Wasserführungen der Gewässer im Jahresgang beeinflusst werden (LUBW 2021). Langfristig sorgen diese Effekte zum Verlust geeigneter Habitate und Verschiebungen der Artverbreitungen. Für Habitatspezialisten mit hohen Habitatansprüchen wie beispielsweise Äschen und andere wärmeempfindliche Arten werden geeignete Lebensräume abnehmen und sich im Gewässerverlauf weiter in die Oberläufe verschieben. Anspruchslosere, wärmetolerantere Generalisten könnten hingegen von den steigenden Temperaturen profitieren und sich weiter ausbreiten. Dies gilt auch für die Verbreitung und Etablierung von invasiven Arten und Krankheitserregern (z. B. Ros et al. 2021; Chucholl 2017).

2.2 Auswirkungen der vergangenen Hitzeextreme

Die letzten Jahre waren bereits geprägt von extremen durch den Klimawandel hervorgerufenen Wetterereignissen. Während der Sommer 2021 von katastrophalen Hochwässern geprägt war, führten langandauernde Hitze- und Dürrephasen in den Vorjahren in vielen Flüssen und Seen zu Ausnahmesituationen. Die fehlenden Sommerniederschläge in 2018 verbunden mit den extrem hohen Temperaturen sorgten vielerorts für außergewöhnlich niedrige Wasserstände oder sogar abschnittsweise komplette Austrocknungen (Abbildung 1). Wo Fische nicht rechtzeitig ausweichen konnten, verendeten sie aufgrund des Wassermangels bzw. der Hitzebelastung und des Sauerstoffmangels. Landesweite Fischbestandsuntersuchungen in Baden-Württemberg an etwa 370 WRRM-Monitoringstellen zeigten in 2018 und 2019 ein stellenweises Massenaufkommen wärmetoleranterer Kleinfischarten, wie Schmerlen, Rotaugen oder Gründlingen. Im Vergleich zu den Vorjahren wurde ein landesweiter Rückgang an kälteliebenden Fischarten, wie z. B. Bachforellen, beobachtet. In den kühleren, beschatteten Oberläufen der Mittelgebirge konnten sie noch ein Refugium vor dem Hitzestress finden (Oexle et al. 2021), sodass flächendeckende starke Schädigungen der Fischbestände bislang noch ausblieben. Die erwartete Zunahme an Hitze- und Dürreperioden werden die Lebensraumbedingungen in den Gewässern zukünftig weiter herausfordern und ohne entsprechende Anpassungsstrategien zu größeren Schäden bzw. Verschiebungen in der Ausbreitung und Artenzusammensetzung der Fischfauna führen. Die Untersuchungen zeigten dabei jedoch auch, dass die Fischbestände in den naturnahen Gewässern in gutem oder sehr gutem ökologischem Zustand von diesem Hitzeereignis kaum beeinflusst waren und bislang eine hohe sogenannte Klimaresilienz zeigen. Wie langfristig die beobachteten Schädigungen und wie nachhaltig die gefundenen Resilienzen der Fischbestände wirken, sollen weitere Auswertungen über einen längeren Zeitraum zeigen.

3. Was bringt die Zukunft?

3.1 KLIWA-Klimafolgenmonitoring

Um die komplexen und vielschichtigen Auswirkungen des Klimawandels auf die Gewässerökosysteme und ihre Lebensgemeinschaften wissenschaftlich erfassen und bewerten zu können, wurde 2018 ein langfristiges Monitoring-Programm durch KLIWA gestartet. Dafür wurden 54 Messstellen in Fließgewässern und 9 Messstellen in den drei KLIWA-Ländern und Hessen ausgewählt, die möglichst naturnah und mit geringen anthropogenen Beeinträchtigungen sind (Abbildung 2).

In beiden Gewässergruppen werden regelmäßig biotische und abiotische Daten erhoben. In Fließgewässern werden dabei die Artzusammensetzungen und Dichten des Makrozoobenthos und der Fische erhoben. Zusätzlich werden monatlich chemisch-physikalische Parameter erfasst und durch kontinuierliche Wassertemperatur- und Abflussmessungen ergänzt. In Seen werden als biotische Parameter die

jahreszeitliche Entwicklung von Phyto- und Zooplankton überwacht und ebenfalls mit physikalisch-chemischen Einflussgrößen ergänzt. Da in Seen zusätzlich die jahreszeitliche Schichtungsdynamik von großer Bedeutung ist, werden zusätzlich Tiefenprofile mit kontinuierlichen Messungen der Wassertemperatur und des Sauerstoffgehaltes erfasst.

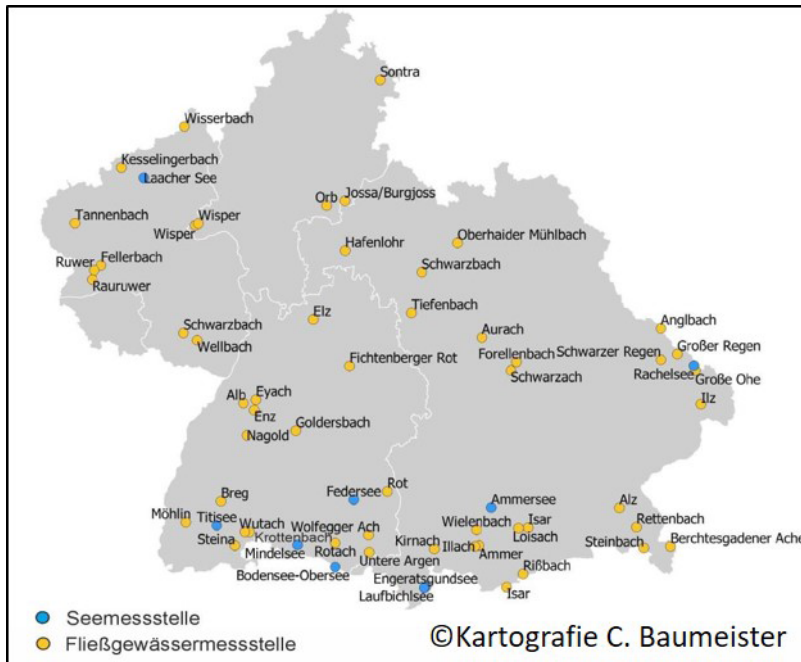


Abbildung 2: Übersicht der Messstellen des KLIWA-Klimafolgenmonitorings an möglichst naturnahen Fließgewässern (gelb) und Seen (blau).

Diese Datenbasis soll es ermöglichen, im Zusammenspiel mit meteorologischen Kenngrößen wie Globalstrahlung, Lufttemperatur oder Windstärke, Effekte des Klimawandels auf die gewässerökologischen Zusammenhänge zu erfassen und Zukunftsprognosen zu erstellen. Mit Hilfe dieser Erkenntnisse sollen effektive Handlungs- und Maßnahmenoptionen abgeleitet werden, um die regionale Klimaresilienz der Gewässer fördern zu können.

3.2 Artverbreitungsmodelle als Zukunftsprognose

Eine weitere Methode zur Ableitung von Zukunftsprognosen und somit dem besseren Verständnis der langfristigen Auswirkungen ist die Erstellung von Artverbreitungsmodellen. Mit diesen Modellen können grundlegende Umweltansprüche und Verbreitungsmuster der einzelnen Tier- und Pflanzenarten ermittelt werden. Dazu werden diese Modelle mit aktuellen Verbreitungsnachweisen und Umweltdaten „trainiert“, dazu gehören z. B. die Geländemorphologie, die Landnutzung und die Geologie, aber auch bioklimatische Faktoren wie die Temperatur- und Niederschlagsdaten. So lässt sich eine idealisierte Umweltnische abbilden. Durch eine räumliche Projektion lassen sich Lebensraumeignungen dann in der Fläche darstellen. Dieses Modell lässt sich anschließend auf neue Umweltbedingungen projizieren, wie sie beispielweise in Zukunft durch die klimawandelbedingten Veränderungen erwartet werden. Damit können zukünftige grundlegende Verschiebungen von Verbreitungsmustern der einzelnen Arten prognostiziert werden.

In Arbeiten der Fischereiforschungsstelle Baden-Württembergs wurden mit dieser Methode Zukunftsprognosen zur zukünftigen Ausbreitung heimischer Fischarten durchgeführt. Für die Zukunftsprojektionen wurden zwei verschiedene Zukunftsszenarien verwendet, die die bislang ungenügenden Bemühungen der

Weltgemeinschaft zur Eindämmung der Klimaerwärmung von weniger als 2 °C widerspiegeln: RCP4.5 als moderates Emissionsszenario mit begrenztem Klimaschutz und RCP8.5 als worst-case Emissionsszenario ohne Klimaschutz (IPCC 2021).

Dabei zeigt sich, dass insbesondere kaltstenotherme Arten wie Bachforellen und Äschen zu den großen Klimawandelverlierern gehören (Basen et al. 2022a, b) (Abbildung 3). Während die Bachforelle aktuell noch in ganz Baden-Württemberg weit verbreitet vorkommt (Baer et al. 2014; Dußling et al. 2018), wird die Art voraussichtlich aus weiten Teilen des Landes verschwinden. Unter realistischen Klimawandelszenarien könnten über 80 % an geeigneten Lebensräumen für die Art verloren gehen: Bachforellen kommen hauptsächlich in sommerkühlen, sauerstoffreichen Bächen und kleinen Flüssen vor. Diese Habitats sind insbesondere durch zukünftige steigende Wassertemperaturen in sommerlichen Hitzeperioden gefährdet. Die kleineren Oberläufe könnten in langen Dürreperioden verstärkt austrocknen und hohe Bestandseinbußen erfahren. Bachforellen könnten in Zukunft verbleibende Klimarefugien nur noch in den höher gelegenen, kühleren Lagen in den Mittelgebirgen und dem Alpenvorland vorfinden.

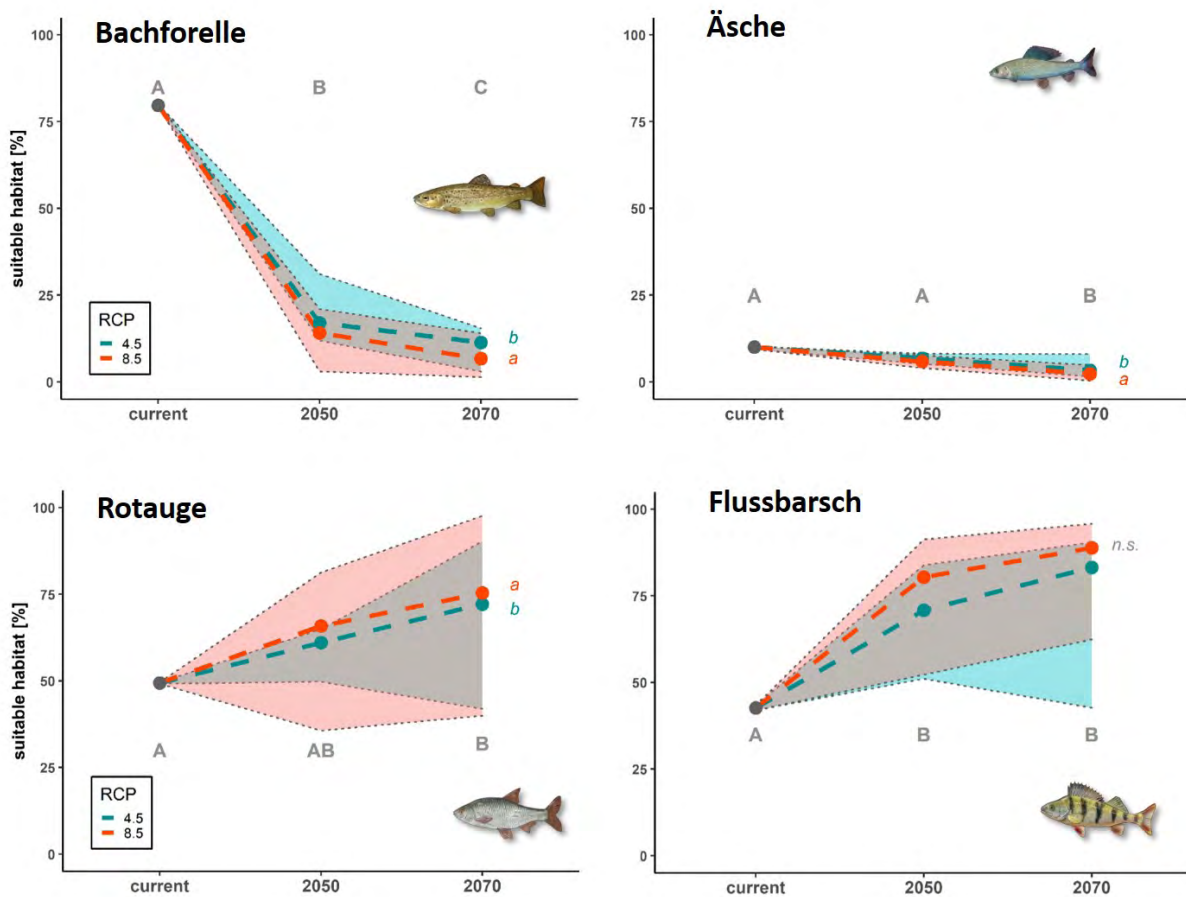


Abbildung 3: Artverbreitungsmodelle können zur Prognose der Lebensraumeignungen unter gegenwärtigen und zukünftigen Bedingungen verwendet werden. Für die Zukunftsszenarien RCP4.5 und RCP8.5 (kleine Buchstaben) wird mit einer deutlichen Abnahme geeigneter Habitats für kälteliebende Salmoniden (oben) gerechnet, während für Generalisten (unten) eine signifikante Zunahme geeigneter Lebensräume zur Mitte bis Ende des Jahrhunderts zu erwarten ist. Großbuchstaben geben das Signifikanzniveau an. Grafik angepasst aus Basen et al. 2022b.



Auch Äschen benötigen kühle, sauerstoffreiche Gewässer mit kiesig sandigem Gewässergrund und bevorzugen dabei strukturreiche große Bäche und kleinere Flüsse. Auch sie sind dadurch maßgeblich durch zu hohe Sommertemperaturen bedroht. Im Gegensatz zur Bachforelle sind Äschen aber schon heute stark gefährdet (z. B. durch Verbau und Verschmutzung der Gewässer oder hohem Fraßdruck), sie kommen nur noch auf etwa knapp 10 % der Gewässerflächen in Baden-Württemberg vor (Baer et al. 2014; Dußling et al. 2018). Die Modellprognosen für die Zukunft gehen davon aus, dass es bei den Äschen zu einem weiteren Habitatverlust von 65-75 % kommen wird und nur noch sehr wenige Gewässer im Oberen Donausystem und dem Alpenvorland für die Art geeignet sein könnten (Basen et al. 2022a, b). Zu weiteren Verlierern der Klimakrise gehören auch Arten, die sehr spezifische Umweltbedingungen in ihrem Lebenszyklus benötigen. Für eine erfolgreiche Fortpflanzung benötigt beispielsweise die Trüsche sehr kalte Wassertemperaturen von 0-4 °C im Winter. Der Fortbestand der ohnehin bereits selten gewordenen Art ist durch die zukünftig steigenden Wintertemperaturen aber zusätzlich bedroht. Neben den Verlierern werden einige Fischarten in Baden-Württemberg aber auch vom Klimawandel profitieren können (Abb 3). Insbesondere anpassungsfähige Generalisten und wärmeliebende Arten könnten in ihrer Häufigkeit zunehmen und durch die steigenden Wassertemperaturen neue Lebensräume erschließen. Zu den Gewinnern gehört beispielsweise das Rotauge oder der Flussbarsch. Als anpassungsfähiger Generalist besiedelt der Flussbarsch Still- und Fließgewässer mit ausreichend strömungsarmen Strukturen. Verbreitungsprognosen zeigen eine mögliche Verdopplung der geeigneten Lebensräume im Zuge des Klimawandels. Andere Fischarten wie der Wels oder Karpfen benötigen für ihre Fortpflanzung im Frühsommer Wassertemperaturen von mindestens 18 °C. Der Klimawandel wird hier voraussichtlich häufiger für günstige Wassertemperaturen sorgen, wodurch sich die Bestände dieser Arten weiter zunehmen und ausbreiten können (Basen et al. 2022a, b).

4. Schutzmöglichkeiten für unsere Gewässer

Unsere Gewässer und ihre Lebensgemeinschaften sind gegenüber der Klimakrise hochanfällig und wir brauchen dringend wirksame Handlungs- und Maßnahmenoptionen, um sie zu schützen und ihre Widerstandskraft gegen den Klimawandel – ihre Klimaresilienz – zu stärken. Schon jetzt können lokale negative Auswirkungen der kurzfristigen Wetterextreme auf lokale Fischbestände und Artzusammensetzungen nachgewiesen werden. In solchen akuten Extremsituationen können Notfallmaßnahmen vor lokalen Totalausfällen schützen. Dazu können Bestandsbergungen gehören, die Schaffung von künstlichen Kaltwasserrefugien oder nächtliche Belüftung der Gewässer. Aber um die Folgen des Klimawandels auf Dauer abzumildern, sind proaktive langfristig wirksame Maßnahmen nötig. Bislang zeigen natürliche oder möglichst naturnahe Gewässer bislang die höchste Klimaresilienz. Diese natürliche Widerstandskraft der Gewässer muss langfristig gezielt gestärkt und gefördert werden – z. B. durch Wiedervernetzung von aquatischen Lebensräumen durch den Rückbau von Querbauwerken und Renaturierungsmaßnahmen der Gewässer und ihrer Gewässerrandstreifen. Wie wirksam insbesondere die Beschattung durch natürliche Ufergehölze sein kann, um sommerliche Temperaturspitzen in Gewässern zu vermeiden, wurde durch das KLIWA-Projekt „2-Grad-Ziel für unsere Bäche“ für verschiedene Gewässergrößen quantifiziert (Haag et al. 2022; vgl. Beitrag in diesem Heft). Zusätzlich bietet ein natürlicher Uferstrandstreifen zahlreiche ökologische Funktionen und fördert die Artenvielfalt in und um die Gewässer (Leitfaden Sachsen)

Neben der regionalen Förderung der Klimaresilienz und Abmilderung der Klimawandelfolgen, ist es dennoch unabdingbar, eine Verschärfung der Klimakrise durch rasche Eindämmung der Treibhausgasemissionen zu verhindern. Nur so können wir unsere Umwelt und unsere aquatischen Ökosysteme langfristig erhalten.

Dank geht an die Mitglieder der KLIWA Gruppe Gewässerökologie, mit deren Hilfe und fachlichem Austausch dieser Beitrag entstanden ist: Wolfgang Frey (LfU RLP), Harald Morscheid (BLfU), Marvin von Randow (BLfU) und Bernd Wahl (LUBW) der Untergruppe Seen; Renate Semmler-Elpers (LUBW), Michael Schäffer (LfU RLP), Thomas Riegel (BLfU), Lukas Ittner (BLfU), Mechthild Banning (HLNUG), Thomas Wanke (HLNUG) und Marieke Frassl (BfG) der Untergruppe Fließgewässer, zu der auch die Autorin gehört.

Literatur

Baer, J.; Blank, S.; Chucholl, C.; Dußling, U.; Brinker, A. (2014): Die Rote Liste für Baden-Württembergs Fische, Neunaugen und Flusskrebs. Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg, 64 S.

Balian, E.V., Segers, H., Martens, K., Lévêque, C. (2007): The Freshwater Animal Diversity Assessment: an overview of the results. In: Balian, E.V., Lévêque, C., Segers, H., Martens, K. (eds) Freshwater Animal Diversity Assessment. Developments in Hydrobiology, vol 198.

Basen, T.; Chucholl, C.; Brinker, A. (2022a): Auf schmalem Grad° - Die Zukunft unserer Fische in der Klimakrise. Analysen, Vorhersagen, Handlungsmöglichkeiten. Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg, Stuttgart, 120 S.

Basen, T.; Ros, A.; Chucholl, C.; Oexle, S., Brinker, A. (2022b): Who will be where: Climate crisis forces redistribution of potential fish habitats in southern Germany. PLOS Climate (akzeptiert).

Chucholl, C. (2017): Niche-based species distribution models and conservation planning for endangered freshwater crayfish in south-western Germany. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 27, S. 698–705.

Dahlke, F.T.; Wohlrab, S.; Butzin, M.; Pörtner, H.-O. (2020): Thermal bottlenecks in the life cycle define climate vulnerability of fish. Science 369, S. 65–70.

Dußling, U.; Baer, J.; Gaye-Siessegger, J.; Schumann, M.; Blank, S.; Brinker, A. (2018): Das große Buch der Fische Baden-Württembergs. Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg, 372 S.

Haag I., Teltscher, K., Regenauer, J. & Aigner, D. (2022): Zwei-Grad-Ziel für unsere Bäche – Wassertemperatur und Beschattung. Abschlussbericht der HYDRON GmbH im Auftrag der KLIWA AG Gewässerökologie.

IPCC (2021): Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 3949 S.

Jaric, I.; Lennox, R.J.; Kalinkat, G.; Cvijanovic, G.; Radinger, J. (2019): Susceptibility of European freshwater fish to climate change: Species profiling based on life-history and environmental characteristics. Global Change Biology 25, S. 448–458.

LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (2021): Klimazukunft Baden-Württemberg – Was uns ohne effektiven Klimaschutz erwartet! Klimaleitplanken 2.0, Karlsruhe, 24 S.

Oexle, S.; Gaye-Siessegger, J.; Basen, T.; Brinker, A. (2020): Untersuchungen zu den Auswirkungen der Extremsommer 2018 und 2019 auf die Fischbestände in baden-württembergischen Fließgewässern. Unveröffentlichter Abschlussbericht, Fischereiforschungsstelle, Landwirtschaftliches Zentrum Baden-Württemberg, 18 S.

Ros, A.; Baer, J.; Basen, T.; Chucholl, C.; Schneider, E.; Teschner, R.; Brinker, A. (2021): Current and projected impacts of the parasite *Tetracapsuloides bryosalmonae* (causative to proliferative kidney disease) on Central European salmonid populations under predicted climate change. Freshwater Biology 66 (6), S. 1182-1199.



Niedrigwasser 2018 – 2020: Verbote für mehrjährige Dürre-Ereignisse?

Michael Stölzle, Kerstin Stahl

Professur für Umwelthydrosysteme, Universität Freiburg

Dieser Vortrag zeigt verschiedene Schlaglichter auf das außergewöhnliche Dürre- und Niedrigwasser-Ereignis 2018-2020 mit einem regionalen Fokus auf Südwest-Deutschland. Neben der Einordnung des Niedrigwasserereignisses hinsichtlich räumlicher Ausdehnung, Intensität, Dauer und Abflussdefizit des Ereignisses, werden auch negative Auswirkungen der Dürre auf verschiedene Wassernutzungen wie die Trinkwasserversorgung oder Abwassereinleitungen beleuchtet. Anhand verschiedener Studien aus den letzten Jahren wird die Unterschiedlichkeit der Einzeljahre in 2018 bis 2020 herausgearbeitet und in Hinblick auf die Dürre-Auswirkungen und deren zeitliche Dimension analysiert. In der Zukunft kann eine gekoppelte Analyse von Indikatoren für Fließgewässer und Grundwasser zu einer besseren Früherkennung von sommerlichen Wassermangelsituationen führen. Dabei spielen die Gebietsspeicher und deren Zustand eine entscheidende Rolle, um etwa die Unterschiedlichkeit in der Reaktionsweise auf kurze und längere Trockenperioden schneller zu erkennen.

Zusammenfassung der Diskussion

Der erste Block widmete sich den Auswirkungen von Trockenheit und Hitze auf unsere Gewässer und die Grundwasserressourcen. In den Vorträgen wurden die Auswirkungen des Klimawandels auf die Grundwasserneubildung (Vortrag Dr. Jörg Neumann, KLIWA) und aquatischen Ökosysteme (Vortrag Sarah Oexle, KLIWA) dargestellt. Außerdem wurde die anhaltende Trockenheit der Jahre 2018 bis 2020 charakterisiert und ihre Auswirkungen beleuchtet (Vortrag Dr. Michael Stölzle, Uni Freiburg).

In der anschließenden Diskussion wurden zunächst die zur Verfügung stehenden Messdaten und die daraus ableitbaren bisherigen Veränderungen thematisiert. Es wurde darauf verwiesen, dass die Messreihen immer länger und robuster und die Aussagen damit belastbarer würden. Die abnehmenden Tendenzen, die bei Grundwasserständen und Quellschüttungen vor allem seit Beginn der 2000er Jahre festgestellt wurden könnten daher bereits Teil einer langfristigen Entwicklung sein. Dies würde auch durch andere Daten, etwa die der gravimetrischen Fernerkundung („GRACE-Mission“) gestützt. Derzeit zeigten etwa 85 % der im Rahmen von KLIWA ausgewerteten Grundwassermessstellen mit besonders langen Zeitreihen eine Tendenz hin zu niedrigeren Werten und zu einem immer früher auftretenden Jahresmaximum. Trotz weiterhin bestehender Unsicherheiten in Bezug auf zukünftige Entwicklungen erfolgte der Appell, sich mit Hilfe der Projektionen vor allem auf die trockenen Extreme einzustellen, statt mittlere Werte zu sehr in den Fokus zu rücken. Darauf sollten aus Gründen der Vorsorge auch erforderliche Anpassungsmaßnahmen ausgerichtet sein.

Die bisherigen und zukünftigen Auswirkungen des Klimawandels könnten zudem drastische Folgen für die Ökosysteme haben. Neben den kurzfristigen negativen Auswirkungen von Wetterextremen wie Hitze und Dürre, würden auch die langfristig, grundlegend ansteigenden Wassertemperaturen für Probleme für die Gewässerfauna sorgen. So könne es beispielsweise für einige winterlaichende Arten aktuell schon zu warm sein.

Aus diesen Gründen wurde die Wichtigkeit von anschaulichen Ergebnisdarstellungen, einer schnellen Datenverfügbarkeit und -übertragung und Instrumenten wie einer Dürrefrühwarnung oder Echtzeitmessungen an Gewässern betont. Die Wichtigkeit einer Dürrefrühwarnung, wurde gerade aufgrund der vielen durch Dürre betroffenen Sektoren hervorgehoben. Derzeit gibt es in Deutschland noch kein System zur Dürrefrühwarnung.

Eine Möglichkeit um die Auswirkungen des Klimawandels auf die Gewässertemperaturen und damit die Gewässerökologie möglichst gering zu halten seien Beschattungen. So könnten schon einige 100m Beschattung zu einer Reduktion der Gewässertemperatur um 2-4 °C führen (s. Vortrag von Herrn Haag, Hydron GmbH). Es wurde allerdings betont, dass Beschattungstreifen einen Zielkonflikt mit der Landwirtschaft darstellen könnten. Im Zuge des Klimawandels hätten besonders durch Trockenheit und Dürren die Zielkonflikte bereits deutlich zugenommen. Dies zeigten auch die Ergebnisse der Publikumsbefragung nach den von Trockenperioden betroffenen Themenbereichen. Mit jeweils 19 % wurden „Trink- und Brauchwasserversorgung“ & „Gewässerökologie“ am häufigsten genannt – auf einem geteilten 2. Platz mit jeweils 12 % landeten die Sektoren „Wasserentnahmen aus Gewässern“ & „Bewässerung für die Landwirtschaft“.



Zukünftige Entwicklung von Starkregen in einem konvektionserlaubendem Ensemble

Matthias Voigt

Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz

mit: **Andreas Hoy (HLNUG)**, **Thomas Junghänel (DWD)**, **Manuela Nied (LUBW)**,
Tilmann Sauer (RLP-KfK), **Lukas Zwosta (LfU BY)**

Die beobachtete und zukünftig erwartete Klimaerwärmung in Süddeutschland greift unmittelbar in den Wasserhaushalt ein. Warme Luft kann mehr Feuchtigkeit aufnehmen. Der Wasserdampfgehalt der Luft steigt bei Sättigung um 7% pro Grad Celsius Erwärmung. Bei einer 10 Grad Celsius höheren Lufttemperatur kann also doppelt so viel Feuchtigkeit in der Luft enthalten sein.

Konvektive Starkregen in Form von Schauern und Gewittern ereignen sich vorwiegend in den Sommermonaten und sind durch hohe Niederschlagsmengen in kurzer Zeit gekennzeichnet. Sie haben häufig eine geringe räumliche Ausdehnung und stellen ein schwer zu kalkulierendes Risiko für die Entstehung von Sturzfluten und Bodenerosion dar. Mit dem Klimawandel und der damit einhergehenden Erwärmung steigt grundsätzlich das Potenzial für höhere Niederschlagsmengen und damit auch das Risiko für extremere Niederschlagsereignisse.

Globale Klimamodelle rechnen auf numerischen Gittern mit einer Gitterweite in der Größenordnung von ~100 km. Regionale Klimamodelle rechnen auf kontinentaler Skala mit einer Gitterweite in der Größenordnung von ~10 km. Beide Auflösungen sind zu grob, um Schauer und Gewitter auflösen zu können. Diese müssen daher parametrisiert werden, d.h. anhand anderer auf dem Gitter aufgelöster Variablen wie Temperatur und Feuchte berechnet werden. In den letzten Jahren sind auf subkontinentaler Skala Klimaprojektionen mit einer Gitterweite von ~3 km durchgeführt worden. Diese Gitterweite erlaubt es die hochreichende Konvektion auf dem Gitter aufzulösen und die entsprechende Parametrisierung auszuschalten. Da sie aufgrund ihrer hohen räumlichen und zeitlichen Auflösung einzelne Schauer und Gewitter simulieren können, sind die konvektionserlaubenden Projektionen geeignet Aussagen über die zukünftige Entwicklung von Starkregenereignissen zu treffen. Aufgrund des hohen Rechenbedarfs dieser Simulationen stehen bisher nur einzelne konvektionserlaubende Projektionen für begrenzte Gebiete und Zeiträume zur Verfügung.

Konvektionserlaubende Projektionen haben eine Reihe von Vorteilen gegenüber herkömmlichen Projektionen¹. Der Tagesgang des Niederschlags wird beispielsweise besser wiedergegeben. Herkömmliche Simulationen berechnen das Maximum der konvektiven Niederschläge in den Mittagsstunden einhergehend mit dem Einstrahlungsmaximum. In den konvektionserlaubenden Projektionen verschiebt sich dieses Maximum in die Nachmittagsstunden, was sich besser mit den Beobachtungen deckt. Des Weiteren werden die Intensität, die Fläche und die Dauer von Niederschlagsereignissen besser wiedergegeben. Dabei werden Intensitäten in der Spitze höher, die Niederschlagsgebiete kleiner und die Dauer der Ereignisse kürzer. Die Intensität wird gegenüber den Beobachtungen allerdings jetzt zum Teil auch überschätzt. Zuletzt werden Niederschlagsextreme durch die konvektionserlaubenden Projektionen besser wiedergegeben.

Im Rahmen von KLIWA wurde ein Ensemble aus fünf konvektionserlaubenden Projektionen zusammengestellt (Tabelle 1) und für das KLIWA Gebiet inklusive Hessen ausgewertet. Die Projektionen wurden an der Goethe-Universität Frankfurt (GUF), dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und dem Deutschen Wetterdienst (DWD) berechnet. Sie wurden unter Annahme des „Weiter-wie-bisher-Szenario“ (RCP8.5) für das Ende des 21. Jahrhunderts gerechnet. Dabei wurden als Globalmodelle das EC-Earth Modell des Europäischen Zentrums für mittelfristige Wettervorhersage, das MPI-ESM des Max-Planck-Instituts in Hamburg, das britische HadGem2 und das japanische MIROC5 verwendet. Das konvektionserlaubende

¹ (Lucas-Picher, et al. 2021)

Regionalmodell war in allen Fällen das COSMO-CLM des Konsortiums für kleinskalige Modellierung, einem Zusammenschluss nationaler Wetterdienste.

Tabelle 1: Konvektionserlaubendes KLIWA Ensemble.

Institution	Globalmodell	Regionalmodell	Szenario	Historischer Zeitraum	Projektion Zeitraum
Deutscher Wetterdienst DWD	MIROC5	COSMO-CLM	RCP 8.5	1971-2000	2071-2100
Goethe-Universität Frankfurt GUF	EC-Earth	COSMO-CLM	RCP 8.5	1972-2005	2071-2100
Karlsruher Institut für Technologie KIT	EC-Earth	COSMO-CLM	RCP 8.5	1971-2000	2071-2100
Karlsruher Institut für Technologie KIT	MPI-ESM	COSMO-CLM	RCP 8.5	1971-2000	2071-2100
Karlsruher Institut für Technologie KIT	HadGem2	COSMO-CLM	RCP 8.5	1971-2000	2071-2099

Die Temperaturänderung der konvektionserlaubenden Modelle im Projektionszeitraum Ende des 21. Jahrhunderts gegenüber dem historischen Zeitraum Ende des 20. Jahrhunderts wird stark durch das Globalmodell vorgegeben (Abbildung 1). Das stärkste Temperatursignal für den KLIWA Raum inklusive Hessen zeigt dabei die vom britischen HadGEM2 angetriebene Simulation mit einem Anstieg von 6°C, gefolgt von der MIROC5 getriebenen Simulation mit 4,5°C Anstieg. Die beiden EC-Earth getriebenen Simulationen, von GUF und KIT, zeigen übereinstimmend 3,5°C Anstieg. Den moderatsten Anstieg mit ca. 3°C berechnet das MPI-ESM getriebene Modell.

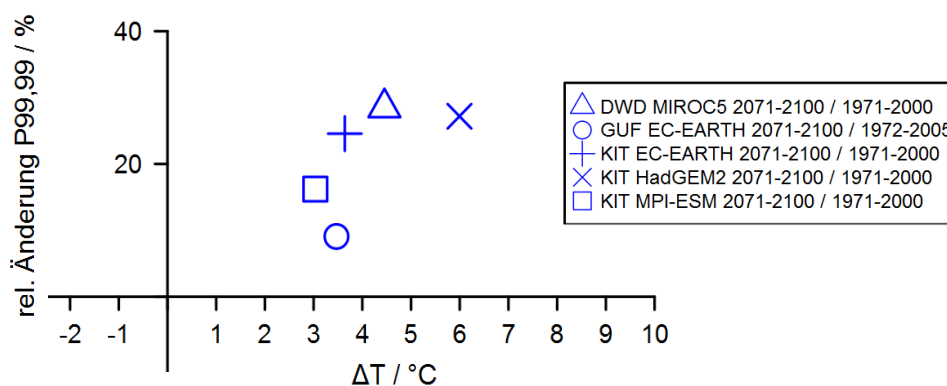


Abbildung 1: Temperatur- und Starkniederschlagsignal für den KLIWA Raum inklusive Hessen.



Das 99,99 Perzentil einer 30-jährigen Zeitreihe von Stundenwerten entspricht in etwa dem höchsten Stundenwert, der in einem Jahr zu erwarten ist. Bei den extremen einstündigen Niederschlägen ab dem 99,99 Perzentils erwarten alle konvektionserlaubenden Projektionen übereinstimmend einen Anstieg der Intensität im Projektions- gegenüber dem Bezugszeitraum (Abbildung 2). Die relative Änderung bleibt aber für alle Perzentile oberhalb des P99,9 weitgehend gleich. Je nach Modellkombination beträgt der Anstieg zwischen 10 und 30%, wobei die Höhe dieses Anstiegs jetzt nicht mehr maßgeblich durch das Globalmodell bestimmt wird, wie am unterschiedlichen Anstieg der beiden EC-EARTH angetriebenen Projektionen ersichtlich ist (Abbildung 1). Da der relative Zuwachs innerhalb einer Modellkette konstant bleibt, steigt der absolute Zuwachs der Intensität bei höheren Perzentilen an (Abbildung 2). Die absoluten Niederschlagsintensitäten der Perzentile werden gegenüber der Radarklimatologie² von den meisten Modellen überschätzt.

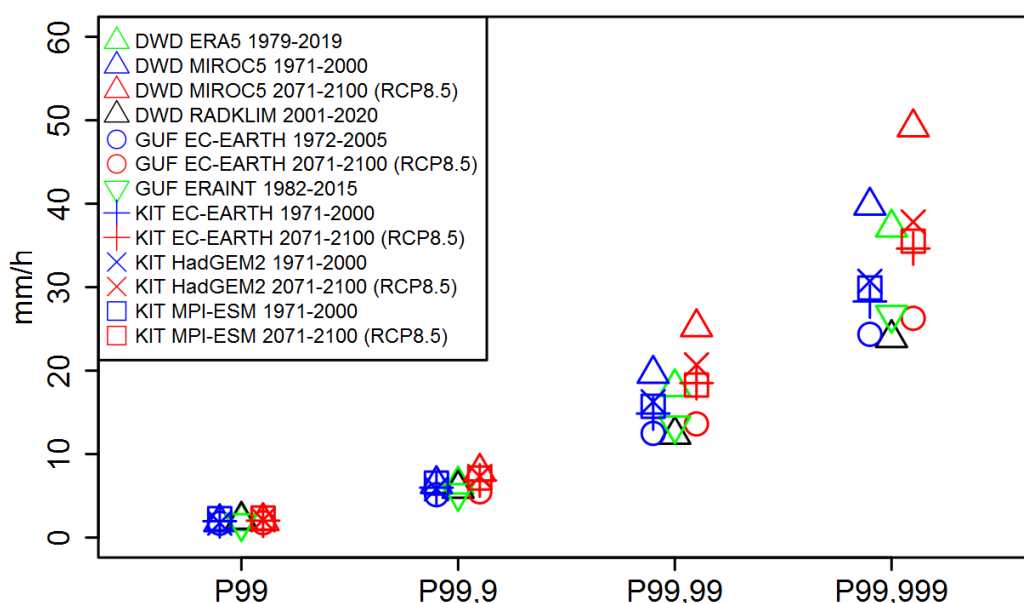


Abbildung 2: Perzentile der einstündigen Niederschläge für den KLIWA Raum inklusive Hessen.

Als Alternative zur Betrachtung der Perzentile können aus den Projektionsdaten auch Wiederkehrzeiten berechnet werden. Der Deutsche Wetterdienst hat diese Auswertung nach DWA-A531 mit den Daten des konvektionserlaubenden KLIWA Ensembles durchgeführt³. Hier zeigt sich analog über alle Modelle eine Abnahme der Wiederkehrzeiten. Ein Starkregenereignis, das im Bezugszeitraum alle 10 Jahre auftrat, kehrt am Ende des 21. Jahrhunderts in Süddeutschland je nach Modell bereits alle 3-8 Jahre wieder.

Fast alle Modelle zeigen einen Rückgang der Sommerniederschläge von 15 bis 25%, lediglich das MIROC5 getriebene Modell erwartet eher gleichbleibende Sommerniederschläge. Einig sind sich die Modelle aber darin, dass künftig ein noch größerer Anteil der Sommerniederschläge als Starkregen fällt. Während Ende des letzten Jahrhunderts ca. 5% des sommerlichen Niederschlags in der niederschlagsreichsten Stunde fielen, werden es nach diesen Berechnungen Ende dieses Jahrhunderts 6 bis 8% des Niederschlags sein. Das entspricht einem Anstieg von 20 bis 60% (Abbildung 3).

² (Winterrath, et al. 2018)

³ (Rybka, et al. 2022)

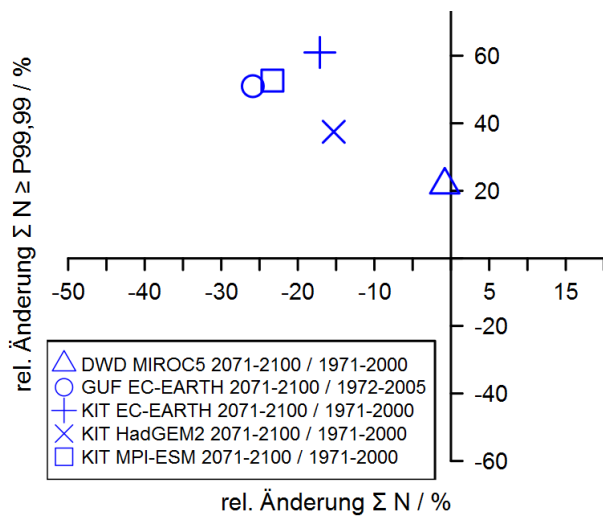


Abbildung 3: Änderung der Sommerniederschläge im KLIWA Raum inklusive Hessen.

Literatur

Lucas-Picher, Philippe, Daniel Argüeso, Erwan Brisson, Yves Trambly, Peter Berg, Aude Lemonsu, Sven Kotlarski, und Cécile Caillaud. 2021. „Convection-permitting modeling with regional climate models: Latest developments and next steps.“ *WIREs Climate Change* (Wiley) 12. doi:10.1002/wcc.731.

Rybka, Harald, Michael Haller, Susanne Brienen, Jennifer Brauch, Barbara Früh, Thomas Junghänel, Katharina Lengfeld, Andreas Walter, und Tanja Winterrath. 2022. „Convection-permitting climate simulations with COSMO-CLM for Germany: Analysis of present and future daily and sub-daily extreme precipitation.“ *Meteorologische Zeitschrift* (Schweizerbart). doi:10.1127/metz/2022/1147.

Winterrath, Tanja, Christoph Brendel, Mario Hafer, Thomas Junghänel, Anna Klameth, Katharina Lengfeld, Ewelina Walawender, Elmar Weigl, und Andreas Becker. 2018. „Radar climatology (RADKLIM) version 2017.002; gridded precipitation data for Germany.“ *Radar climatology (RADKLIM) version 2017.002; gridded precipitation data for Germany*. Deutscher Wetterdienst (DWD). doi:10.5676/DWD/RADKLIM_RW_V2017.002.



„Aus der Geschichte lernen“: Starkregenereignisse und lokale Hochwasserkatastrophen in historischer Perspektive

Thomas Adam
Historiker

Der zerstörende Einfluss von Naturgewalten bis hin zu vernichtenden, auch Menschenleben fordernden Katastrophen lässt sich durch die Geschichte hindurch verfolgen. Dabei gehört in unserem Land von jeher zu den verheerendsten Einzelereignissen mit der höchsten Zahl an Todesopfern – oft in weit stärkerem Maße als bei Hochwasser an den großen Binnenflüssen – das rasche Anschwellen relativ kleiner, ansonsten als „völlig harmlos“ erlebter Fließgewässer. Von ihnen dürfte im Süden und in der Mitte Deutschlands die wohl beträchtlichste und am meisten unterschätzte Naturgefahr ausgehen: Abrupt einsetzende Sommerhochwasser dieser eigentlich unscheinbaren Bäche mit einem recht schmalen, nur wenige Meter breiten Bett, sonst in den heißen Monaten beinahe ausgetrocknet, doch nach schwerem Gewitterregen „dermaßen angeloffen, als wann es grosse Ströhm wären“, in historischer Zeit Brücken niederreißend, Siedlungen verwüstend, Mensch und Tier ertränkend.

Mit der kleinräumigen, allerdings kolossalen Gewalt dieser Sturzfluten gibt es meist wenig Erfahrung. Sich vorbereiten, vorwarnen gar ist nicht möglich, denn über Generationen oder Jahrhunderte hin passiert nichts – bis sich im Gefolge heftiger lokaler Starkniederschläge tosende Wassermassen binnen Minuten, längstens Stunden übermannshoch in Tal und Dorf ergießen. Und so schnell sie kommen, so rasch klingen sie ab, eine Schneise der Verwüstung hinterlassend und die fast ungläubige, erschütternde Erinnerung an den „großen Bach“, jetzt wieder das unbedeutende friedliche Rinnsal, als das er bekannt und scheinbar vertraut war.

Die früheste Überlieferung eines solchen örtlichen Wolkenbruchs mit verheerenden Folgen erzählt von dem Dorf Asgabrunno, es ist Eschborn am Taunus, im unteren Mainingebiet, heimgesucht durch eine plötzliche nächtliche Überschwemmung am 3. Juli 875, gleichwohl doch „weit entfernt von Flüssen und Strömen“, wie der Geschichtsschreiber des Klosters Fulda später in seiner Aufzeichnung staunend vermerkt. Angeblich verlieren 88 Menschen ihr Leben, die Zugtiere und das Vieh ebenso, fast vollständig zerstört wird der Ort, selbst von der Kirche soll kaum mehr etwas übrig geblieben sein. Um dieselbe Zeit gründen Bauern unweit von Göppingen ein Dorf und nennen es „Siedlung am zerstörerischen Fluss“. Deutlich spiegelt sich darin ein Bewusstsein für die drohenden Gefahren wider. Die Rede ist von dem Ort Faurndau – sein althochdeutscher Name meint genau das –, wo Brunnenbach und Marbach in die Fils münden und so zu dritt miteinander für besondere Überschwemmungsgefahr sorgen.

Aber warum wurde so nahe am Wasser gebaut, wenn doch auch den Menschen damals schon völlig bewusst gewesen ist – die Namensgebung des Dorfes zeigt es –, dass man in dieser geografischen Lage sehr verwundbar sein würde? Der Grund ist einfach: Weil es früher, noch bis ins 20. Jahrhundert, weit mehr Gründe dafür gegeben hat, sein Haus und sein Dorf genau dort zu errichten. Man bedurfte der Bäche und Flüsse: Wasser zur Versorgung, Wasser zur Entsorgung, Wasser zur Reinigung, Wasser zur Verteidigung, Wasser zum Flößen, Wasser zum Wiesenwässern, Wasser als Energielieferant und Mühlenantrieb, Wasser zum Brauen, Wasser zum Löschen, Wasser zum Aufstauen, zum Durchfrieren im Winter und Heraussägen von Eisklötzen zur Kühlung der Keller im Sommer, Wasser als Transport- und Handelsweg und damit als Einnahmequelle für Zölle – es gab unzählige Gründe, warum die Dörfer genau an Ufer der Bäche und Flüsse gebaut wurden, dorthin, wo man das Wasser ganz direkt entnehmen und nutzen konnte. Früher brauchten fast 100% der Menschen diese direkte Lage am Gewässer, und deshalb befinden sich nahezu alle altbesiedelten Dörfer und Gemeinden an Flüssen und Bächen. Die Vorteile in guten Zeiten wogen die Nachteile in den schlechten Zeiten, also bei Hochwasser, hinreichend auf.

Unsere Verwundbarkeit durch Hochwasser ist also gewissermaßen eine historische „Altlast“. Allerdings wird in unserer Zeit nichts mehr aufgewogen. Bäche und Flüsse liefern selten noch den direkten praktischen und ökonomischen Nutzen wie früher – aber ihre zerstörerische Kraft ist geblieben. Die theoretisch ganz einfache und doch in der Realität nicht machbare Lösungsmöglichkeit, die Nähe des Wassers zu verlassen und in größerer Höhe abseits von Bächen und Flüssen neu zu bauen, würde das Ende von Überschwemmungskatastrophen für den Menschen bedeuten. Eine solche Idee muss Theorie bleiben: Wohnraum und Infrastruktur in Milliarden- und Billionenwerten liegen am Wasser, und sie werden auch künftig dort bleiben – um womöglich nach dem nächsten Hochwasser ein weiteres Mal neu errichtet zu werden. Wir werden unsere Dörfer und Städte nicht verlegen. Wir werden sie weder auf Stelzen stellen und noch werden wir sie künstlich aufschütten und anheben. Und wir werden nicht an jeden Bach und jeden Fluss genügend Staustufen und Retentionsflächen und Hochwasserdämme bauen können, um alle Gefahren auszuschließen.

Gefahren, die viel häufiger auftreten als den meisten Menschen bewusst ist. Die Liste plötzlicher Sturzfluten angeschwollener kleiner Bäche im Gefolge lokaler Starkniederschläge ist fast beliebig lang. Mai 1911, eine sieben Meter hohe Welle schießt durch das Grünbachtal bei Tauberbischofsheim, zwölf Tote; Spätsommer 1939, über Tage hinweg mehrfache Überschwemmung des Dorfes Seitingen auf der Baar; Februar 1955 im Roggental bei Geislingen an der Steige; Ende Mai 1956, Fronleichnamstag, Schauplatz Blaubeuren; Mai 1959, Schramberg, teilweise hysterische Reaktionen der Betroffenen; 21. Juni 1984, wieder Fronleichnam, bis zu drei Meter hohe Flutwellen in Tauberfranken; Juli 2014, Land unter im Raum Tuttlingen. Schließlich führte der Orlacher Bach am 29. Mai 2016 nach schweren Regenfällen zu einer Flutwelle mit massiven Verwüstungen im Ortskern von Braunsbach (Kreis Schwäbisch Hall, Baden-Württemberg).

Dies nur einige zufällig herausgegriffene Beispiele für ein überaus häufiges Phänomen. Allenthalben Erdbeben, Schlammlawinen, verendetes Vieh, kilometerweit mitgeschwemmte Autos, lädierte Wohngebäude und vollgelaufene Parkhäuser, Schäden bis in Millionenhöhe. Manchmal, glücklicherweise selten, auch Opfer. Besonders tragisch der Tod von zehn Mädchen in einem überfluteten Schwimmbad im vorderpfälzischen Edesheim, 11. Juni 1937. Nach Hagelschlag und schwerem Gewitterregen stiegen die Wassermassen im sonst unscheinbaren Modenbach binnen Minuten auf beinahe zweieinhalb Meter an. Mehrere zehntausend Teilnehmer sollen zur Beisetzung der ertrunkenen Kinder in Rhodt unter Rietburg gekommen sein, „eine Wallfahrt gewaltigen Ausmaßes“.

Häufigste Ursache solcher Ereignisse ist die schnelle Abflusskonzentration bei lokal zwar sehr begrenzt auftretenden, aber extrem hohen Niederschlagsmengen. Die Auftrittshäufigkeit und -wahrscheinlichkeit solcher Ereignisse ist an jedem einzelnen Ort extrem selten bzw. gering, so dass weder Erfahrungen noch eingeübte Katastrophenschutzmaßnahmen für derartige Fälle vorhanden sind und ihr Eintreten von den Betroffenen stets als völlig unvermittelt und „nie dagewesen“ erlebt wird. Neben hohen materiellen Schäden hinterlassen diese Ereignisse auch psychische Folgen: Gerade aus Braunsbach gibt es Äußerungen, dass der zuvor von vielen Einwohnern als anheimelnd wahrgenommene Orlacher Bach, nachdem er so massive Zerstörungen über den Ort gebracht hat, jetzt hauptsächlich noch als Gefahr verstanden wird, der jeden Reiz für die Menschen verloren hat.

Einerseits also sind plötzliche Sommerhochwasser unvorhersehbar, ihre Auftrittshäufigkeit minimal. Andererseits sind doch Lerneffekte aus ihrem Vorkommen möglich. Grundsätzlich gilt: Das einmal entstandene Schadensbild, und sei es nur noch durch Hochwassermarken an Hauswänden aus dem 18. oder 19. Jahrhundert bekannt, kann sich jederzeit wiederholen. „Aus der Geschichte lernen“, ein häufiger, zuweilen geradezu inflationär gebrauchter Topos, ist im Hinblick auf die möglichen Folgen von Hochwasserereignissen an kleinen Bächen durchaus wörtlich und ernst zu nehmen. Keine Naturkatastrophe und damit eigentlich kein einziges wiederkehrendes historisches Ereignis ist so vorhersehbar in den Folgen – nicht im Eintreten, aber in den Folgen! – wie das Hochwasser. Was einmal passiert ist, kann wieder passieren, und es wird ziemlich genau wie beim vorigen Mal passieren.



In bestimmten Lagen, entlang vieler Täler und an Talausgängen ist das Eintreten von Hochwasser durch Starkregenereignisse über viele Jahrhunderte hin dokumentiert. Und wenn es also keine Veränderung in der Topografie der Dörfer und Städte gegeben hat, dann wird das Wasser auch im Jahr 2022 genau dorthin laufen, wohin es schon 1781 oder 1869 hingelaufen ist. Insoweit lässt sich hier Geschichte voraussehen. Nicht wann es passieren wird, nicht wie oft, nicht in welchem genauen Ausmaß – aber wo und was.

Deshalb ist der Einbezug historischer Daten in Hochwasserabschätzungen von größter Bedeutung. Oftmals gründen Planungen oder auch die Festlegung von Jährlichkeiten nicht auf einer wirklich durchdringenden Analyse aller erfassten und bekannten historischen Hochwasser, sondern auf zu kurzen, auf allzu menschlichen Bemessensfristen. Die Zeitreihen reichen einfach nicht weit genug zurück. So schreibt der Hochwasserexperte Thomas Roggenkamp in seiner Expertise über das Hochwasser vom 14. auf den 15. Juli 2021 im Ahrtal, dieses habe „in seiner Größe alle Ahr-Hochwasser, die seit der Errichtung von Pegelmessanlagen auftraten“, übertroffen, auch das zuvor stärkste von 2016. Die Einschränkung liegt im „Beginn der Pegelmessung“. Denn bereits deutlich zuvor, 1804, hat sich laut Roggenkamp im Ahrtal eine Flutkatastrophe ähnlicher Messgröße nebst vergleichbaren „katastrophalen Scha?den“ ereignet. „Dies und weitere historische Hochwasser mit höherem Wasserstand und stärkerem Abfluss als 2016 wurden in der Gefahrenabschätzung nicht berücksichtigt.“

Die Quellen, auf die wir uns bei der Rekonstruktion historischer Hochwasserereignisse stützen können, sind unterschiedlicher Natur. Zahlreiche schriftliche Dokumente aus mehreren Jahrhunderten lagern in den Archiven, wobei jedoch die reinen Berichte zwar Hinweise auf Opferzahlen und Schadensbilanzen enthalten, oftmals aber keine ganz konkreten Angaben über die Spitze der Flutwelle erlauben. Bilder – Holzschnitte, Stiche und Gemälde – entstanden verschiedentlich recht bald nach den Ereignissen, aber es bleibt zumindest fraglich, mit welchem Anspruch auf realistische Wiedergabe oder umgekehrt mit welchen Anteilen an fantasievoller Ausschmückung der jeweilige Künstler ans Werk gegangen ist.

Objektiver, doch auch sie keineswegs frei von Irrtümern und Manipulationen, sind Erinnerungszeichen wie die Hochwassermarken, seit dem ausgehenden Mittelalter nach besonders schweren Überschwemmungen an Stadtmauern und Häusern angebracht – dem Vergessen entgegenwirkend, zugleich auch mahnend, die Naturgefahren nicht zu unterschätzen. Aus Württemberg sind für den Zeitraum zwischen 1633 und 1951 rund 3200 derartige Zeichen bekannt, im damaligen Großherzogtum Baden wurden 1911 insgesamt fast 2600 Marken katalogisiert, die meisten entlang des Oberrheins und seiner nördlichen Zuflüsse. Beinahe in jeder dritten Gemarkung des Landes Baden fand sich wenigstens ein solcher Hinweis auf Hochwasser, dies ebenfalls ein Fingerzeig auf die weite Verbreitung der Überschwemmungsgefahren. Die Stadtmauer von Wertheim ist geradezu übersät mit solchen Ritzungen, ähnlich die Karl-Theodor-Brücke in Heidelberg und eine Häusercke in der Eberbacher Rosengasse; eine steinerne Tafel in Lindau dokumentiert die Höhe der größten Bodenseefluten vom 16. bis zum 18. Jahrhundert. Solche Bezugspunkte machen eine Katastrophe vergleichbar und helfen Überschwemmungsfolgen zu bewältigen. Einschränkungen hinsichtlich der Aussagekraft bleiben aber auch hier: Manche historische Marke könnte zu hoch angebracht sein, weil kapillare Saugeffekte dafür sorgen, dass das Wasser im Stein noch über die Pegelspitze hinaus ansteigt. So weit oben also, wie die Hauswände nass waren, muss die Flut gar nicht gestanden haben. Auch darf man die Volumen älterer Hochwasser zumindest dort nicht überschätzen, wo größere Flüsse – etwa der Rhein – sich im Laufe der Zeit stark in ihr Bett eingegraben haben.

Wir werden Hochwasser nicht vermeiden können. Wir werden weiterhin verwundbar bleiben. Aber wir können – und nur dafür wirbt dieser Beitrag – aus der Geschichte lernen: Wenn wir gerade entlang kleiner Bäche und in schmalen Flusstälern wissen, dass das Wasser bei künftigen Hochwassern genau dorthin laufen wird, wohin es schon vor 500 Jahren gelaufen ist, können und müssen wir Konsequenzen ziehen für künftige bauliche Entwicklungen.

Bestimmte Einrichtungen müssen wegbleiben vom Wasser. Sollen in einer Gemeinde mit nachgewiesenen historischen Hochwasserereignissen neue Parkflächen für Fahrzeuge geschaffen werden, dann nicht in Gestalt einer Tiefgarage direkt neben dem Bachufer. Denn Tiefgaragen sind bei Hochwasser Todesfallen. Auch sollte man keine soziale Infrastruktur wie Seniorenzentren und Krankenhäuser neben Bach und Fluss bauen, da gerade in diesen Einrichtungen im Katastrophenfall unzählige nicht mobile Menschen gefährdet werden und zu evakuieren sind. Wo es irgendwie geht, wegbleiben vom Wasser mit allem oder jedenfalls so hoch ansiedeln wie irgend möglich von allem, was im Katastrophenfall zum Risiko und auch zum Umweltproblem wird: Chemisches Gewerbe, Tankstellen.

Also die Quintessenz: Kein historisches Ereignis ist in seinen möglichen Folgen so vorhersehbar und immergleich wie das Hochwasser; aus keinem historischen Ereignis können wir deshalb so einfach lernen und Verbesserungsmöglichkeiten erschließen; kein historisches Ereignis wiederholt sich in so deutlicher Ähnlichkeit mit früheren Ereignissen wie lokale Überschwemmungen. Das Problem ist: Wann? Morgen? In 500 Jahren? Die zumeist langen Abstände zwischen einzelnen Starkregenfällen mit nachfolgender Flutwelle gerade an den kleinen Bächen macht uns das Lernen und das Bewusstsein für die Möglichkeit des Eintretens von Schadensereignissen so schwer. Und damit natürlich auch die Bereitschaft, sinnvoll in die Vermeidung und/oder in den Schutz zu investieren. Weil aber die Lektionen, mit denen wir dies beigebracht oder besser gesagt eingepreügelt bekommen, zeitlich meist so weit auseinanderliegen, haben wir unseren Lernstoff leider oft schon wieder vergessen, wenn wir ihn brauchen könnten. Daran müssen wir arbeiten.



Flutkatastrophe 2021

Cornelia Weigand

Landrätin Kreis Ahrweiler

Landrätin Cornelia Weigand war zum Zeitpunkt des Ahr-Hochwassers im Jahr 2021 Bürgermeisterin der Verbandsgemeinde Altenahr. Sie schilderte die Flutnacht aus ihrer Perspektive und welche Maßnahmen aus ihrer Sicht in verschiedenen Bereichen ergriffen werden sollten um in Zukunft besser auf Hochwasserereignisse vorbereitet sein zu können.

Auswirkungen von Starkregenereignissen auf die Gefahrenabwehr – Anpassungsstrategien von Feuerwehr und Katastrophenschutz

Dr. Thomas Kutschker
Hessisches Ministerium des Innern und für Sport

Insbesondere in Ballungsräumen, wo sowohl ein hoher Vernetzungsgrad zwischen verschiedenen Technologien und Infrastrukturen als auch eine sehr hohe Bevölkerungsdichte auftreten, wirken sich Beeinträchtigungen und Schäden durch Naturereignisse nicht nur in Form von volkswirtschaftlichen Verlusten aus, sondern bringen oftmals die zur Gefahrenabwehr eingesetzten Institutionen an ihre Leistungsgrenzen. Jedes einzelne Naturereignis, ob Regen, Sturm oder ein Erdbeben kann dabei Wirkungskaskaden verursachen, die zur effektiven Schadensbekämpfung nicht nur eine überörtliche Kapazitäts- und Ressourcenbündelung bei den Gefahrenabwehrbehörden bedingen, sondern auch eine gut entwickelte präventive und operative Interaktion zwischen den betroffenen Institutionen der Gefahrenabwehr voraussetzen. Dies gestaltet sich jedoch oftmals schwierig, da bei der Erstellung von Notfallplänen oftmals die Planungsgrundlage lediglich auf Erkenntnisse zurückliegender Ereignisse begründet ist und meist nur in geringem Umfang prospektive Ansätze enthält.

Der Klimawandel vollzieht sich zunehmend und auch in Deutschland können bereits erste Anzeichen veränderter Wetterphänomene beobachtet werden. In Deutschland muss deshalb, nach Aussagen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) bereits ab Mitte dieses Jahrhunderts ganzjährig mit einer starken Zunahme extremer Niederschläge gerechnet werden. In diesem Zusammenhang ist zu beobachten, dass hierbei als Nebeneffekte von Unwettern, selbst im urbanen Raum, neben Überflutungen auch seltene Ereignisse wie z. B. Hangrutschungen oder Schlammlawinen auftreten, die bisher hauptsächlich in alpinen Regionen beobachtet wurden. Diese Effekte haben nicht nur Beschädigung oder Zerstörung an Gebäuden zur Folge, sondern üben auch schädigenden Einfluss auf Verkehrs- und Wasserwege aus und bedrohen z. B. Einrichtungen der Energieversorgung und andere Kritische Infrastrukturen.

Speziell die Schwere beobachteter Ereignisse der letzten Jahre, die u.a. auch im Rhein-Main Gebiet stets einen massiven und personalintensiven Einsatz der Feuerwehren zur Folge hatten, sowie die örtlich registrierten und mitunter sehr hohen Sachschäden durch Überflutung oder zeitweise Nichtverfügbarkeit von Infrastrukturen sind dabei augenfällig geworden. Eine Anpassung der materiellen Ressourcen ist nur ein Teil des erforderlichen Ansatzes zur Anpassung von Feuerwehr und Katastrophenschutz an die möglichen Herausforderungen der Zukunft und repräsentiert dabei die operative Kapazität. Ebenso wichtig ist der präventive Ansatz, der sowohl einsatzvorbereitende Maßnahmen bei den Behörden, als auch Öffentlichkeitsarbeit der Kommunen im Dialog mit den Bürgern beinhaltet.



Zusammenfassung der Diskussion

Der zweite Block widmete sich den Auswirkungen des Klimawandels auf Starkregenereignisse. Im ersten Impulsvortrag wurden die zukünftigen Auswirkungen des Klimawandels auf die Häufigkeit und Intensität von Starkregenereignissen in Süddeutschland dargestellt (Vortrag Matthias Voigt / KLIWA / LfU RP). Im Anschluss wurde darüber referiert (Vortrag Thomas Adam), welche möglichen Schlussfolgerungen sich aus historischen Hochwasserereignissen für das heutige Gefahrenmanagement ziehen lassen. Zentraler Vortrag in diesem Vortragsblock war der Vortrag von Landrätin Cornelia Weigand, die zum Zeitpunkt des Ahr-Hochwassers im Jahr 2021 Bürgermeisterin der Verbandsgemeinde Altenahr war. Sie schilderte die Flutnacht aus ihrer Perspektive und welche Maßnahmen aus ihrer Sicht in verschiedenen Bereichen ergriffen werden sollten um in Zukunft besser auf Hochwasserereignisse vorbereitet sein zu können. Komplettiert wurde der Block von Dr. Thomas Kutschker, der die Auswirkungen von Starkregen auf die Gefahrenabwehr skizzierte.

In der anschließenden Diskussion wurde zunächst betont, dass es zwar in Zukunft möglicherweise bessere Starkregenvorhersagen geben werde, diese aber nie perfekt sein könnten. Für die richtige Einschätzung der Lage und die Ergreifung der richtigen Maßnahmen vor Ort sei aber gerade eine Verbesserung der räumlichen Treffsicherheit von Vorhersagen sehr wichtig. Zudem wurden für eine verbesserte Starkregenvorsorge die große Bedeutung von historischen Hochwasser- bzw. Sturzflutereignissen und die Verbesserung der Interpretierbarkeit von Vorhersagen hervorgehoben. Herr Adam betonte hierbei, dass historische Hochwasserereignisse möglicherweise nicht genau genug quantifizierbar seien, um sie in Modelle oder Hochwasserstatistiken einzubringen. Historische Quellen könnten allerdings sehr hilfreich in der Abschätzung sein, welche Hochwasserextremereignisse an Gewässern möglich seien, da historische Quellen in der Regel weit länger zurückreichen als die Messungen an Pegeln. So könnte dies etwa bei der Ausweisung neuer Siedlungsflächen helfen nicht weiter am Gewässer zu bauen, sondern vom Gewässer wegzurücken. In Bezug auf eine Verbesserung der Interpretierbarkeit von Vorhersagen im Rahmen der Starkregenvorsorge wurde in der Diskussion zwischen „gewöhnlichen“ Starkregenereignissen und extremen Ereignissen wie z. B. dem Ahr-Hochwasser unterschieden. Bei „gewöhnlichen“ Starkregenereignissen könnten Kommunen mit vergleichsweise einfachen Mitteln verhindern, dass Flächen überflutet würden. Dazu sei es wichtig die Bevölkerung zu unterstützen und zu animieren eigene Vorsorge zu betreiben. Auf diese Weise könnten bei dieser Art von Ereignissen viele Feuerwehreinsätze verhindert werden. Bei „gewöhnlichen“ Starkregenereignissen sei auch die Interpretierbarkeit der Warnungen für die Bevölkerung weniger wichtig. Bei extremen Ereignissen sei die Interpretierbarkeit der Warnung für alle Entscheidungsträger:innen in Politik, Katastrophenschutz aber auch die Bevölkerung dagegen von zentraler Bedeutung, ebenso wie die Zuverlässigkeit und Schnelligkeit der Warnkette. So könnte die Anweisung „suchen Sie höher gelegene Bereiche auf“ für die Bevölkerung besser interpretierbar sein, als nur Pegelprognosen für einen anderen Ort oder noch abstraktere Niederschlagsmengen. Dies wurde auch durch die Aussage von Frau Weigand belegt, nach der der ermittelte Wert des 100-jährlichen Hochwasserabflusses in Altenahr durch die Hochwasserereignisse in den vergangenen Jahren von 3,69 m auf 5,17 m gestiegen sei.

Dass das Hochwasser an der Ahr im vergangenen Jahr Anstoß gegeben hat, Arbeitsweisen und Abläufe zu überdenken, wurde durch eine Wortmeldung aus dem Publikum belegt: derzeit werde in verschiedenen Arbeitskreisen daran gearbeitet, die Erfahrungen zu nutzen um Verbesserungen in der Hochwasservorhersage und dem Katastrophenschutz zu bewirken.

(Karten-)Instrumente zur kommunalen Starkregenvorsorge

Prof. Dr. E. Ruiz Rodriguez
Hochschule Rhein-Main

Ein wesentliches Ergebnis des Forschungsvorhabens „KLIMPRAX – Starkregen und Katastrophenschutz für Kommunen“ war die Erarbeitung von Karten-Instrumenten zur besseren Bewältigung von Auswirkungen von Starkregen und Sturzfluten in den hessischen Kommunen.

Zwar hat es durch den Einsatz der Radarniederschlagsmessung deutliche Verbesserungen bei der Verfolgung von Starkregen- und Gewitterzellen gegeben, eine ausreichend genaue zeitliche und räumliche Vorhersage von konvektiven Starkregen ist aber nach wie vor nicht möglich. Weder die Ausdehnung und Bewegung noch die Intensitätsverteilung innerhalb der Starkregenzelle lassen sich so vorhersagen, dass eine Gemeinde rechtzeitig Schutzmaßnahmen einleiten kann. Umso wichtiger ist es, sich mit möglichst realistischen Starkregenszenarien im Vorfeld auf extreme Niederschläge vorzubereiten. Das Land Hessen hat auf kommunaler Ebene folgende Karteninstrumente dafür vorgesehen:

Die hessenweite Starkregen-Hinweiskarte zur Identifizierung von besonders durch Starkregen gefährdeten Kommunen.

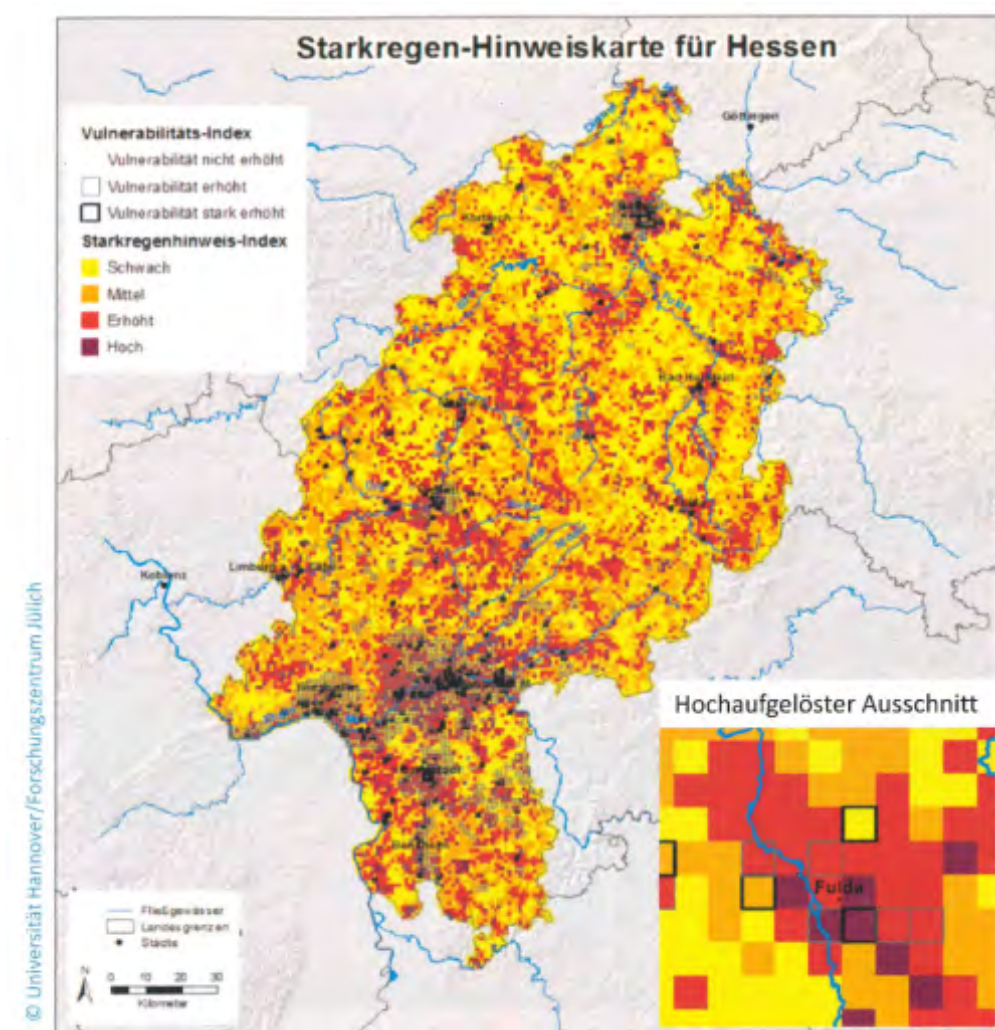


Abbildung 1: <https://www.hlnug.de/themen/klimawandel-und-anpassung/projekte/klimprax-projekte/starkregen-hinweiskarte>

In dieser von der Universität Hannover und dem Forschungszentrum Jülich entwickelten Karte werden der:

- Vulnerabilitäts-Index als aggregierter Parameter aus:
 - Bevölkerungsdichte
 - Anzahl Krankenhäuser pro km²
 - Anzahl industrieller und gewerblicher Anlagen mit Gefahrenstoffen pro km²
 - Bodenerosionsgefahr im Bereich hydrologischer Einzugsgebiete, die in urbane Räume entwässern
- und der Starkregen-Index als aggregierter Parameter aus:
 - Anzahl der beobachteten Starkregen-Ereignisse
 - Versiegelter Flächenanteil
 - überflutungsgefährdete Gebiete aufgrund der Topographie in einer Auflösung von 1x1 km² dargestellt.

Die kommunale Fließpfadkarte stellt nahezu alle potentiellen Fließwege dar, die sich bei einem Starkniederschlag ausbilden können.

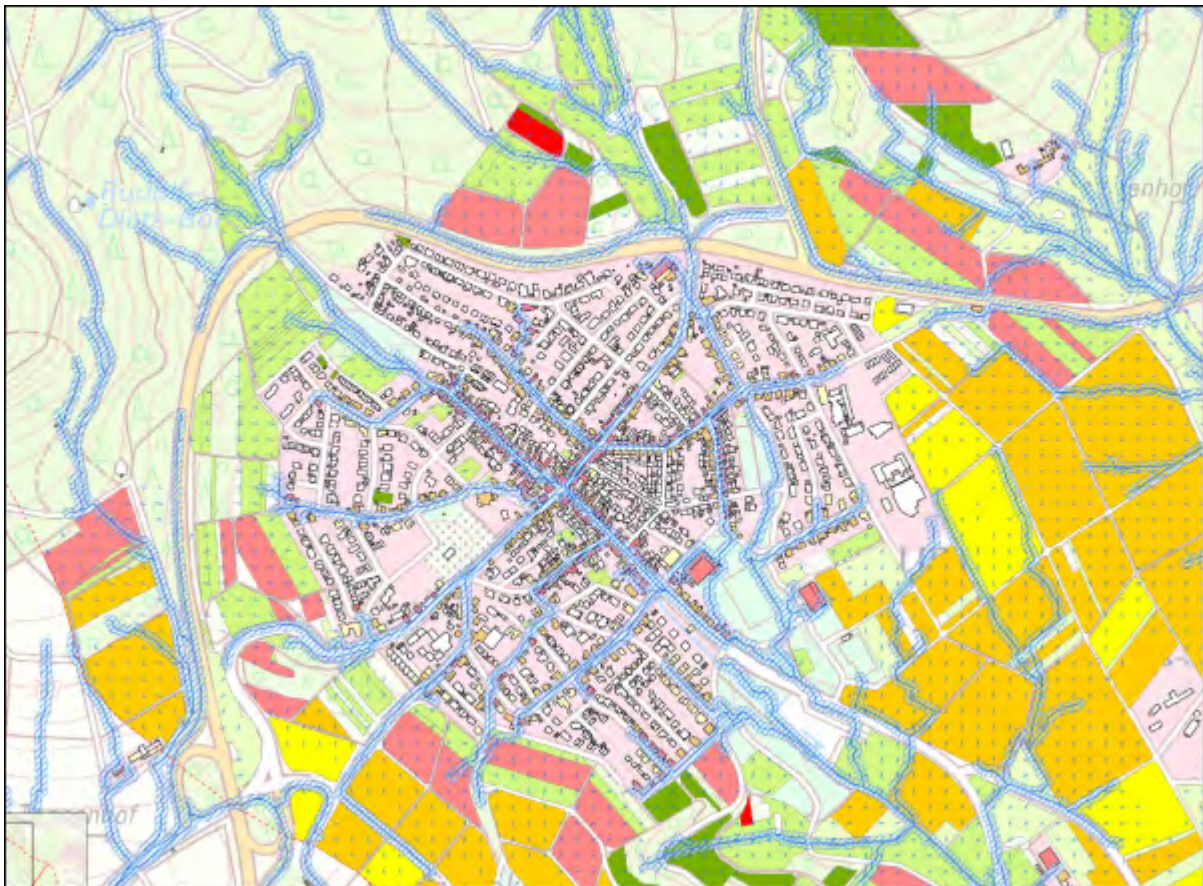


Abbildung 2: <https://www.hlnug.de/themen/klimawandel-und-anpassung/projekte/klimprax-projekte/klimprax-starkregen/fliesspfadkarten>

Nach dem Aufstanzen der Gebäudeumrisse in das DGM1 werden mittels GIS-Routinen die Fließwege berechnet. Potentiell betroffene Gebäude innerhalb von 5 m, 10 m und 15 m Abstand zu den Fließwegen werden identifiziert und klassifiziert.

Ergänzend werden die landwirtschaftliche Nutzung sowie deren Gefälle unter Zuhilfenahme einer fachlich begründeten Matrix zur Identifizierung von potentiell gefährdeten Erosionshangflächen und Fließrichtung der Hanglage dargestellt.

Geländeneigung	Grünland	Ackerland	
		Bearbeitung quer zur Fallrichtung	Bearbeitung in Fallrichtung
I. kleiner 2%	nicht gefährdet	wenig gefährdet	mäßig gefährdet
II. kleiner 5%	nicht gefährdet	wenig gefährdet	mäßig gefährdet
III. 5% bis 10%	nicht gefährdet	mäßig gefährdet	stark gefährdet
IV. 10% bis 20%	mäßig gefährdet	stark gefährdet	sehr stark gefährdet
V. größer 20%	mäßig gefährdet	sehr stark gefährdet	sehr stark gefährdet

Fließpfadkarten sind immer in Zusammenhang zu den realen Gegebenheiten zu interpretieren. Z. B. sind die Fließpfade an kleinen im DGM1 nicht abgebildeten Strukturen zu verifizieren. Die Bearbeitungsrichtung der landwirtschaftlichen Flächen ist nachträglich zu erfassen.

Die kommunalen Fließpfadkarten werden vom Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie gegen eine geringe Bearbeitungsgebühr auf Anforderung der Gemeinden bereitgestellt (starkregen@hlnug.hessen.de). Hierfür würde dem HLNUG im Rahmen des KLIMPRAX-Projektes ein ArcGIS Werkzeug zur Erstellung der Fließpfadkarten bereitgestellt.

Die kommunalen Fließpfadkarten sind leicht verständlich und bieten eine gute Grundlage, um sich mit dem Starkregenproblem in der Gemeinde zu befassen und den weiteren Handlungsbedarf abzuschätzen, ohne dass die hohen Bearbeitungskosten einer Starkregen-Gefahrenkarte anfallen.

Die kommunalen Starkregen-Gefahrenkarten sind das Ergebnis einer klassischen zweidimensionalen, instationären Abflussberechnung.

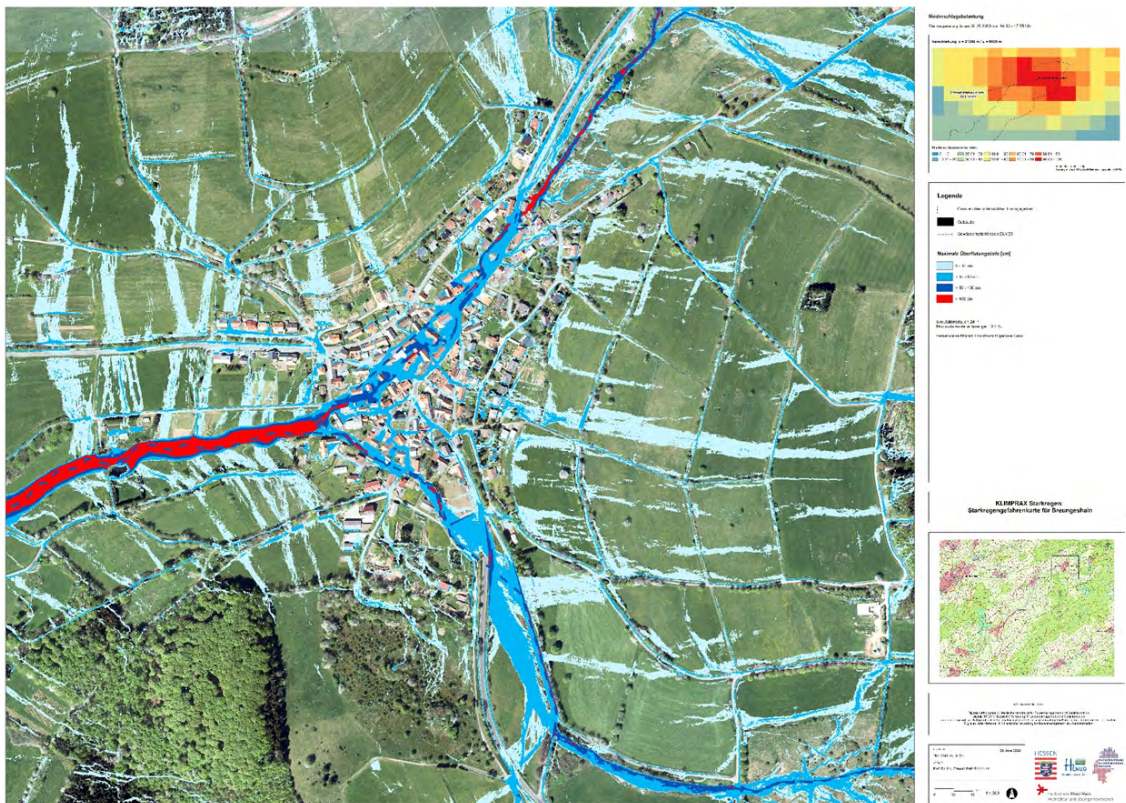


Abbildung 3: <https://www.hlnug.de/themen/klimawandel-und-anpassung/projekte/klimprax-projekte/klimprax-starkregen/starkregen-gefahrenkarten>

Für das betrachtete Starkregenszenario zeigt die Starkregen-Gefahrenkarte:

- Die Fließwege der Überflutung,
- die zu erwartende maximale Überflutungsausdehnung und
- die zu erwartende maximale Überflutungshöhe.

Aus der 2-Dimensionalen Abflusssimulation lassen sich auch die zu erwartenden max. Fließgeschwindigkeiten ableiten.

Als Modellantrieb gibt das Land Hessen vor, historische Starkregenereignisse aus den 5-Minuten-RADOLAN Radarniederschlagsdaten (YW-Produkt) als realistische Szenarien zu betrachten. Darüber hinaus können weitere Regen- und Betriebsszenarien betrachtet werden.

Für die Bearbeiter stellt das Land Hessen folgende Unterstützungsdokumente bereit:

- Hinweise zur Berechnung und Erstellung von Starkregen-Gefahrenkarten in Hessen.
- Unterstützungsdokumente zur Wahl eines Starkregens zur Berechnung der Starkregen-Gefahrenkarten
 - Starkregen-Sammlung (2006 bis 2014 als GIS Dokument)
 - Auswertung der RADOLAN Radarniederschlagsdaten
- GIS Dokument mit max. 5-min. Intensitäten (2001 bis 2021)
- Beispielhafte kommunale Fließpfadkarten und Starkregen-Gefahrenkarten aus den Pilotgemeinden des KLIWAPRAX Starkregen Projektes.

Die Starkregen-Gefahrenkarte ist die Grundlage für eine effektive Flächen-, Bauvorsorge und für eine eingübte Verhaltensvorsorge bei Starkregen in einer Gemeinde.

Interkommunales Starkregenerisikomanagement im Glems-Einzugsgebiet

Julia Schiller-Soetebier
Stadt Ditzingen

Einleitung

Immer wieder verursachen Hitzewellen, Stürme, Starkregen etc. große Schäden und stellen Städte und Kommunen vor erhebliche Herausforderungen. Im Hinblick auf den Klimawandel sind somit Anpassung in verschiedenen Bereichen von großer Bedeutung.

Am 04.07.2010 wurde die Glems-Region von einem Starkregen betroffen, welcher teils erhebliche Schäden an Infrastruktur, privaten Gebäuden und öffentlichen Einrichtungen verursachte. Allein in Ditzingen entstanden an städtischen Gebäuden Schäden in Höhe von über 9,5 Millionen Euro.

Trotz der unterschiedlich starken Betroffenheit der einzelnen Glems-Kommunen stand schnell fest, dass nur ein gemeinsames Vorgehen bei der Anpassung an Starkregen zielführend ist. Aufgrund dessen schlossen sich die acht Glems-Kommunen Ditzingen, Gerlingen, Hemmingen, Korntal-Münchingen, Leonberg, Markgröningen, Schwieberdingen und Stuttgart zusammen und arbeiteten in den letzten Jahren an einem gemeinsamen Starkregenerisikomanagement.

Im Rahmen der interkommunalen Projektarbeit wurden diesbezüglich unterschiedliche Maßnahmen realisiert. Nachfolgend werden ausgewählte Maßnahmen aus den Bereichen bauliche Maßnahmen, Krisenmanagement und Öffentlichkeitsarbeit vorgestellt.

Bauliche Maßnahmen

Bauliche Maßnahmen können ein sinnvoller Baustein bei der Anpassung an Starkregen sein. Es bedarf jedoch stets einer grundlegenden Untersuchung, inwieweit eine technische Schutzmaßnahme am betroffenen Standort wirksam ist.

In der Glems-Region erfolgte nach dem Starkregenereignis am 04.07.2010 die Umsetzung zahlreicher baulicher Maßnahmen zum Schutz vor Starkregen. Damals war besonders die Kita Hohenstaufenstraße und das Schulzentrum Glemsaue in Ditzingen vom Niederschlagsereignis betroffen. Um diese Einrichtungen künftig besser zu schützen, wurden an der Kita Hohenstaufenstraße eine Steinmauer (Abbildung 1) und am Schulzentrum Glemsaue Erdschutzwälle (Abbildung 2) errichtet. Beide Maßnahmen haben zum Ziel, die Wassermassen im Falle eines Starkregens von den vulnerablen Einrichtungen fernzuhalten und stattdessen auf Flächen zu leiten, auf denen sie weniger Schaden anrichten (z. B. Grün- oder Ackerflächen).

Infolge des Starkregens am 04.07.2010 kam es zu einem schnellen und starken Anstieg der Glems, die durch die Kernstadt Ditzingens fließt. Gegen das Ausufer der Glems wurde die sog. Glemsmauer errichtet (Abbildung 3). Die Glems wird folglich länger in ihrem Flussbett gehalten, wodurch Schäden bei künftigen Ereignissen verringert werden sollen.

Besonders wichtig im Rahmen der Anpassung an den Klimawandel ist die Renaturierung von Flüssen, weshalb in Ditzingen beispielsweise der Lachengraben umgestaltet wurde (Abbildung 4). Neben Aspekten der natürlichen Gestaltung des Flussabschnittes lag der Fokus auch auf dem Hochwasserschutz, sodass eine Schaffung von zusätzlichem Retentionsraum erzielt wurde.



Abbildung 1: Steinmauer Kita Hohenstufenstraße.



Abbildung 2: Erdschutzwall Schulzentrum Glemsaue.



Abbildung 3: Glemsmauer.



Abbildung 4: Lachengraben nach der Umgestaltung.

Krisenmanagement

Starkregeneignisse sind Naturphänomene, die potenziell große Schäden anrichten können. Ein funktionierendes Krisenmanagement ist bei Starkregen sehr wichtig, um die kurzen Vorwarnzeiten bestmöglich zu nutzen.

Die Gloms-Region verfügt über ein installiertes Messnetz aus 18 Regenschreibern und 16 Pegelmessern (Abbildung 5). Während die Pegelmesser den Wasserstand in der Gloms und ihren Zuflüssen erfassen, ermitteln die Regenschreiber die Niederschlagsmenge an ausgewählten Standorten. Die ermittelten Messdaten beider Systeme werden im Flutinformations- und Warnsystem FLIWAS 3 zusammengeführt (nähere Informationen zu FLIWAS 3 unter: <https://infoportal.fliwas3.de/start.html>). Im Cockpit der FLIWAS-Plattform können die Messwerte mit einer geringen Übertragungsverzögerung eingesehen werden. Dies ermöglicht den Verantwortlichen – z. B. Feuerwehren und Mitarbeitenden der einzelnen Kommunen – eine genauere Einschätzung der gegenwärtigen Situation. Unter Einbezug weiterer Daten wie beispielsweise prognostizierten Niederschlagsmengen lassen sich zudem Tendenzen im Geschehen abbilden.

Im FLIWAS 3 können zusätzlich vorab identifizierte Risikoobjekte hinterlegt werden. Mittels einer Warnmatrix kann bei einer Überschreitung individuell festgelegter Schwellenwerte für die Messdaten der Pegelschreiber die Einleitung differenzierter Maßnahmen, wie z. B. die Evakuierung von potenziell betroffenen Einrichtungen, erfolgen, noch bevor die entsprechende Einrichtung von Überflutungen betroffen ist. Auf diese Weise kann die sehr knappe Vorwarnzeit bei Starkregen sinnvoll genutzt werden.

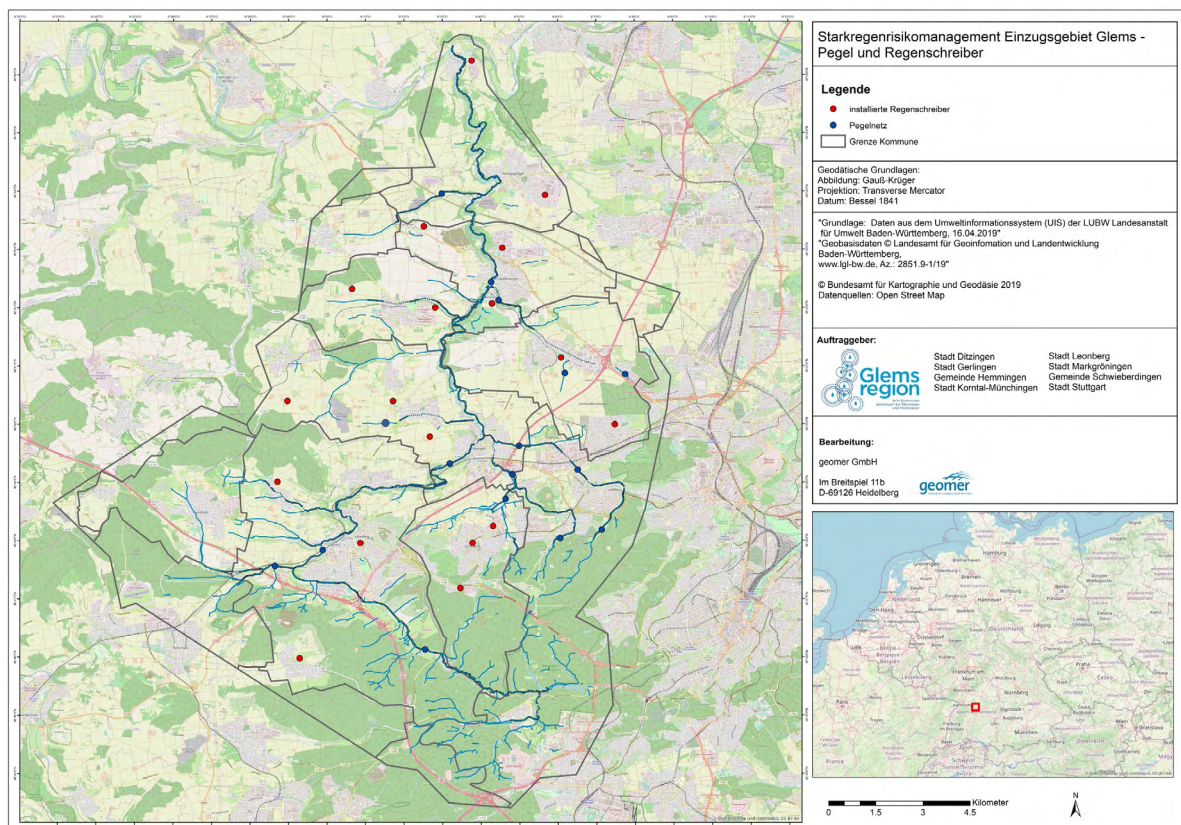


Abbildung 5: Messnetz aus Pegelmessern und Regenschreibern im Gloms-Einzugsgebiet.

Öffentlichkeitsarbeit

Neben technischen Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel spielt beim Starkregenrisikomanagement auch die Risikokommunikation eine entscheidende Rolle. Deshalb wurde im Rahmen der interkommunalen Zusammenarbeit ein Kommunikationskonzept erarbeitet, welches als Grundgerüst zu verstehen ist, das Ziele, Zielgruppen, Themen und Kernbotschaften der Öffentlichkeitsarbeit definiert. Jedoch lebt ein erfolgreiches Risikomanagement nicht nur vom Engagement einer Kommune, sondern auch von der Eigenvorsorge auf Seiten der Bürgerinnen und Bürgern. Dabei ist eine systematische und an die jeweiligen Zielgruppen angepasste Weitergabe von Informationen rund um das Thema Starkregen an die Bevölkerung essenziell.

Nachfolgend wird eine Auswahl an Maßnahmen der Risikokommunikation vorgestellt, die in der Gloms-Region Anwendung finden.

Redaktionsplan und Presstexte

Ein sehr wichtiger Baustein des Kommunikationskonzepts ist der Redaktionsplan samt entsprechender Presstexte. Der Redaktionsplan richtet sich an die kommunalen Pressestellen und gibt vor, wann welcher Text zum Thema Hochwasser- bzw. Starkregenschutz zu veröffentlichen ist. Folglich enthält der Redaktionsplan für jeden Kalendermonat ein festgelegtes Thema samt eines vorgefertigten Pressemustertextes mit ausgewähltem Bildmaterial, für dessen Veröffentlichung bereits sowohl der passende Anlass als auch der Kommunikationskanal definiert sind. Die Presstexte behandeln Themen wie Eigenverantwortung, das richtige Verhalten vor, während und nach einem Starkregenereignis, korrektes Lesen von Starkregengefahrenkarten, Katastrophentourismus etc. Ziel ist es, durch regelmäßige und systematische Publikationen das Thema Starkregen fest im Bewusstsein der Bürgerinnen und Bürgern zu verankern.

Interkommunale Webseite

Um einem möglichst großen Teil der Bevölkerung qualitativ hochwertige Informationsquellen zugänglich machen zu können, beschränken sich die Gloms-Kommunen nicht nur auf die Weitergabe von Informationen über kommunale Homepages, sondern legen Wert auf einen informativen und bürgerfreundlichen Internetauftritt in Form der gemeinsamen interkommunalen Webseite www.starkregengefahr.de/baden-wuerttemberg/glems/.

Auf der interkommunalen Webseite findet sich die interaktive und animierte Starkregengefahrenkarte für Simulationsergebnisse unterschiedlicher Starkregen- und Hochwasserereignisse für die Gloms-Region. Die Karte enthält zudem sowohl bereits umgesetzte bauliche Maßnahmen zum Schutz vor Schäden infolge von Starkregen, als auch Schadensbilder des Starkregenereignisses vom 04.07.2010, damit die negativen Auswirkungen nicht in Vergessenheit geraten.

Darüber hinaus beinhaltet die Webseite umfassende Informationen zu Starkregen und dem richtigen Verhalten vor, während und nach einem Ereignis, weiterführende Links z. B. zur Regina Stark Homepage und Ergebnisse aus dem Projekt.

Informationsbroschüre „Wegweiser Hochwasserschutz“

Um Bürgerinnen und Bürgern umfassend über das Thema Starkregen zu informieren und ihr Interesse an der Thematik zu wecken, wurde die Informationsbroschüre „Wegweiser Hochwasserschutz“ erstellt (Abbildung 6). Diese Broschüre ist direkt auf die Glems-Kommunen zugeschnitten, da sie Schadensbilder aus den einzelnen Kommunen, Zitate von Akteuren wie Einsatzkräften, Bürgermeistern und kommunalen Mitarbeitenden, die beim Starkregenereignis am 04.07.2010 involviert waren, sowie eine Darstellung der Historie der Projektarbeit, enthält.

Der direkte lokale Bezug zur Glems-Region soll die Aufmerksamkeit der Bevölkerung für die Thematik erhöhen, indem die direkte Betroffenheit aufgezeigt wird.

Des Weiteren beinhaltet die Broschüre kurzweilige Texte zu den Themen Hochwasser und Starkregen sowie weiterführende Links und Tipps zum Verhalten vor, während und nach einem Hochwasser- bzw. Starkregenereignis.



Abbildung 6: Informationsbroschüre Wegweiser Hochwasserschutz.

Imagefilm

Für eine umfassende Risikokommunikation ist es wichtig, auch jüngere Bevölkerungsgruppen zu erreichen. Dies kann beispielsweise mittels eines Kurzfilms erfolgen. Im Kurzfilm der Glems-Region stellen Mitglieder des Projektteams das interkommunale Projekt zum Starkregenrisikomanagement vor. Der Imagefilm wurde auf der kommunalen Homepage und den Social Media Kanälen der Stadt Ditzingen sowie auf der Plattform YouTube unter folgendem Link veröffentlicht:

https://www.youtube.com/channel/UClmD5xJj2JTYjKX5Ps7g_lg

Starkregenmarken

Eine weitere Möglichkeit, die Bevölkerung für die Thematik Starkregen zu sensibilisieren und zum eigenen Handeln anzuregen, sind sog. Starkregenmarken (Abbildung 7). Die Starkregenmarken werden z. B. an ausgewählten Laternenmasten oder Gebäuden angebracht. Passanten können den abgebildeten QR-Code einscannen und erhalten je nach Standort unterschiedliche Informationen wie z. B. Bilder der Schadenssituation vom 04.07.2010 am jeweiligen Standort, die Umsetzung baulicher Schutzmaßnahmen oder Inhalte der kommunalen Webseite. Auf diese Weise erreicht das Thema Starkregen die Bevölkerung auch unterwegs.



Abbildung 7: Starkregenmarke am „Platz an der Glems“ in Ditzingen.

Fazit

Starkregenereignisse sind Naturphänomene, die ubiquitär sind, und somit jede Kommune treffen können. Insbesondere im Hinblick auf den Klimawandel ist ein systematisches und abgestimmtes Starkregenrisikomanagement notwendig, sodass die Stadt Ditzingen die Starkregenvorsorge als Daueraufgabe ansieht. Zeitgleich ist Starkregenrisikomanagement jedoch nicht nur eine Aufgabe einer jeden einzelnen Kommune, sondern auch eine Schnittstellenaufgabe zwischen den Glems-Kommunen, da Starkregen keine administrativen Grenzen kennt.

Aber auch Bürgerinnen und Bürger stehen beim Thema Starkregen im Sinne der Eigenvorsorge in der Pflicht, weshalb neben technischen Schutzmaßnahmen und dem Krisenmanagement, insbesondere auch die Öffentlichkeitsarbeit wichtige Bausteine des Starkregenrisikomanagements im Glems-Einzugsgebiet sind.

Die in diesem Artikel vorgestellten Maßnahmen sowie weitere Praxisbeispiele zur Anpassung an Starkregen finden sich auf der interkommunalen Webseite der Glems-Kommunen www.starkregengefahr.de/baden-wuerttemberg/glems/ sowie auf der Homepage von Regina Stark www.reginastark.starkregengefahr.de.



Was bedeuten zunehmende Starkregen für die Landwirtschaft? – Bodenschutz im gesellschaftlichen und klimatischen Wandel –

Florian Ebertseder

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft LfL

Naturkatastrophen aufgrund von Starkregen nehmen mit dem Klimawandel zu (Munich Re, 2017). Nach neuesten Berechnungen und Auswertungen von Niederschlagszeitreihen und Klimaszenarien wird sich die Regenerosivität in Bayern bis zum Jahr 2050 verdoppeln im Vergleich zu den 1980er Jahren (Auerswald et al. 2018; Fischer et al. 2019). Zusätzlich lassen weitere veränderte Rahmenbedingungen wie die Forderung nach weniger chemischen Pflanzenschutz und mehr Biodiversität mit mehr Kulturvielfalt sowie Strukturveränderung in der Landschaft die Herausforderung größer werden. Das Erosionsschutzniveau muss also deutlich angehoben werden. Es ist bereits jetzt in der Breite zu niedrig, konventionell wie auch ökologisch (Auerswald et al. 2018).

Im Fokus wird in diesem Zusammenhang ein Handlungsfeld aus im Produktionssystem angepasstem Erosionsschutz, quantitativ und qualitativ geringerer Run-Off sowie eine erhöhte Wasserspeicherfähigkeit der Böden stehen.

Abschwemmung (Run-Off) von Nährstoffen, Pflanzenschutzmittel im Oberflächenwasser kann während Niederschlägen oder Schneeschmelze entstehen, wenn der Boden bis zur Oberfläche mit Wasser gesättigt ist (Sättigungsüberschuss) oder die Niederschlagsintensität das Aufnahmevermögen des Bodens übersteigt (Infiltrationsüberschuss). Letzteres hat vor allem Starkregen und verschlammte, verkrustete oder gefrorene Böden als Ursache. Dabei kann der Transport ins Gewässer direkt oder auch indirekt über Wege- und Straßenentwässerungssysteme, Wartungs- und Einlaufschächte oder Drainagen erfolgen (Seibert und Auerswald 2019, Prasuhn et al., 2018).

Oberflächenabfluss beziehungsweise Abschwemmung und Erosion können auf geeigneten landwirtschaftlich genutzten Flächen kaum vollständig verhindert, aber stark vermindert werden. Dabei kommen ungünstige Konstellationen zwischen Kulturanbauphase und Witterungsbedingungen, die Oberflächenabfluss zur Folge haben zum Tragen (Prasuhn et al., 2018). Da die Bodenerosion und Abschwemmungen ein Teil des gesamten Wasser- und Stoffhaushaltsgefüges von Landschaften darstellen, muss das Problem auch von unterschiedlichen Wissenschaftsdisziplinen (Bodenkunde, Pflanzenschutz, Landtechnik, Digitalisierung, Geomorphologie, Hydrologie, Gewässerökologie, Limnologie) untersucht, sowie von unterschiedlichen Verwaltungseinheiten und Akteuren (Landwirtschaft, Wasserwirtschaft, Naturschutz, Städtebau usw.) bearbeitet werden.

Die Bodennutzung wird immer stark von den natürlichen Bedingungen wie Bodenkapazitäten und lokalem Klima sowie von sozioökonomischen Randbedingungen einschließlich politischer Richtlinien beeinflusst. Brisanz entsteht aktuell, da alle drei Einschränkungen außerordentlich schnellen Veränderungen im Vergleich zum Tempo der Veränderungen in früheren Jahrhunderten oder Jahrtausenden unterliegen (Auerswald et al. 2021).

In diesem Impulsvortrag sollen die Herausforderungen für die Landwirtschaft aber auch für die gesamte Gesellschaft aufgezeigt werden und ebenso die notwendigen vielschichtigen und interdisziplinären Handlungsstränge.

Gemeinschaftsaufgabe Hochwasser- und Starkregenvorsorge

Dr. Annalena Goll

**Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität Rheinland-Pfalz,
Abteilung Wasserwirtschaft**

Die verheerende Flutkatastrophe vom Juli 2021 hat nicht nur physische Spuren hinterlassen. Auf vielen Ebenen müssen im Nachgang Vorgehen analysiert, Schlussfolgerungen gezogen und Anpassungen umgesetzt werden. Rheinland-Pfalz kann im Bereich der Hochwasservorsorge zwar in vielen Bereichen als Vorreiter betrachtet werden, dennoch müssen auch die Systeme der Hochwasservorsorge im Lichte der Ereignisse neu bewertet und weiterentwickelt werden. Dies betrifft die gesamte Bandbreite des Hochwasserrisikomanagements – von der Vorsorge mit Vermeidung und Schutz über die Bewältigung im Ereignisfall bis hin zur Nachsorge. Da der Klimawandel nachweislich in der Zukunft häufiger Extremereignisse mit sich bringen wird, müssen sich Verwaltungen, Kommunen, aber auch Bürgerinnen und Bürger an diese Randbedingungen anpassen. Insbesondere im Kontext der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie wird das Hochwasserrisikomanagement nicht ohne Grund häufig als Kreislauf dargestellt, bei dem im Nachgang zu einem Hochwasserereignis und der Analyse desselben die Aufgaben der Vorsorge erneut anstehen.

Aus Rheinland-Pfälzischer Sicht war sicherlich die erste Sitzung der Hochwasserpartnerschaft Ahr nach dem Flutereignis, welche am 25. Oktober 2021 stattgefunden hat, einer der wichtigen ersten Schritte. Die Kommunen haben gemeinsam und als direkte Reaktion die Erstellung eines überörtlichen Hochwasservorsorgekonzeptes beschlossen. Gemeinsam sollen die vielfältigen Bausteine des Hochwasserrisikomanagements erarbeitet werden. Gemeinsam bedeutet: die Kommunen des Landkreises Ahrweiler sowie weitere Kommunen des Einzugsgebiets der Ahr des Landkreises Vulkaneifel und des Landkreises Euskirchen aus Nordrhein-Westfalen, die ebenfalls zu den Sitzungen der Hochwasserpartnerschaft geladen sind. Unterstützt wird die Hochwasserpartnerschaft vom Land, fachlich und inhaltlich, aber auch mit der Zusage einer hohen Förderung für einzelne Bausteine des Konzepts, z. B. der Weiterentwicklung von überörtlichen Schutz- und Rückhaltemaßnahmen sowie der Finanzierung einer eigenen Geschäftsstelle. Das Gesamtkonzept enthält weitere Bausteine, u.a. das Thema Sensibilisierung, zum Beispiel durch gemeinsame Übungen und Informationsveranstaltungen, aber auch die Überarbeitung der Alarm- und Einsatzpläne.

Ziel muss sein, sich auf zukünftige Extrem-Ereignisse besser vorzubereiten. Naturnahe Gewässer mit Rückhaltepotenzialen, die im Hochwasserfall aktiviert werden können und ein angepasster Gewässerunterhalt sind essenzielle Bausteine einer effektiven Hochwasser- und Starkregenvorsorge, ebenso wie eine angepasste Flächennutzung. So können Schadenspotenziale vermindert werden und ein Leben am und mit dem Fluss weiterhin möglich sein. Klar ist, dass die große Aufgabe der nachhaltigen Hochwasservorsorge nur von einer Solidargemeinschaft der kommunalen Familie bewältigt werden kann.



Zusammenfassung der Diskussion

Der erste Themenblock am zweiten Tag trug den Titel „Stadt, Land – unter? Starkregen begegnen“. Im ersten Vortrag stellte Prof. Dr.-Ing. Ernesto Ruiz Rodriguez die Karteninstrumente vor, die in Hessen für die kommunale Starkregenvorsorge vorgesehen sind. Im Anschluss sprach Frau Schiller-Soetebier aus Ditzingen über das Interkommunale Starkregenrisikomanagement im Einzugsgebiet der Glems. Herr Ebertseder skizzierte die Herausforderungen, die für die Landwirtschaft aus dem Klimawandel resultieren und ging auf die daraus resultierenden notwendigen vielschichtigen und interdisziplinären Handlungsstränge ein. Dr. Annalena Goll stellte abschließend die Hochwasser- und Starkregenvorsorge in Rheinland-Pfalz vor.

In der anschließenden Diskussion wurde zunächst der Frage nach der Finanzierung der vorgestellten Produkte und Hilfen nachgegangen. Die Fließwegegefahrenkarten werden in Hessen für eine geringe Bearbeitungsgebühr zur Verfügung gestellt, die Erstellung von Starkregengefahrenkarten wird in Hessen für Klimakommunen mit bis zu 100 % gefördert, in den übrigen Kommunen mit bis zu 80 %.

Die flächenhafte Darstellung von Wasserständen bei Hochwasserszenarien wird in Rheinland-Pfalz vom Land finanziert und kostenfrei bereitgestellt werden. Die Förderung der Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen hängt dagegen von der Art der Maßnahme ab. Die Wasserwirtschaft kann etwa nur wasserwirtschaftliche Maßnahmen fördern, Starkregenvorsorge findet aber in vielen Bereichen statt, insbesondere am privaten Gebäude.

In Bayern sind die Karten zur Bodenabtragungsgleichung kostenfrei einsehbar. Außerdem gibt es eine Förderung, die die Landwirtschaft und Kommunen zusammenbringen soll.

Bei der Umsetzung von Maßnahmen betonte Frau Schiller-Soetebier als Erfahrung aus den Arbeiten in Ditzingen, dass Kommunikation und Beharrlichkeit von großer Bedeutung seien um die nötige Unterstützung in den Kommunen zu bekommen. Für eine erfolgreiche Kommunikation müsse zudem auf schwer verständliche Begriffe wie „Jährlichkeit“ verzichtet werden.

Für die Bemessung von Anpassungsmaßnahmen spielt die Frage nach der Größenordnung von Extremereignissen, die als Anpassungsmaßstab dienen sollen eine große Rolle. Die entsprechende Umfrage im Publikum lieferte hierbei keine klare Antwort und auch das Podium betonte, dass dies von Fall zu Fall unterschiedlich wäre. Auch die ergriffene Maßnahme hat einen Einfluss auf die Bemessungsgrenze – so könnten etwa weiche Maßnahmen wie eine Risikokommunikation leichter auch für Ereignisse mit einer hohen Wiederkehrzeit umgesetzt werden. Herr Ebertseder betonte zudem, dass aus Sicht der Landwirtschaft ein längerer Planungshorizont und damit auch Ereignisse mit einer hohen Wiederkehrzeit relevant wären.

Auch die Bewerbung der entwickelten und vorgestellten Produkte wurde als wichtige Aufgabe identifiziert. Eine Umfrage im Saal ergab, dass die meisten der Teilnehmenden nicht wussten, ob es in ihrer Kommune eine Starkregengefahrenkarte gibt. Es wurde außerdem vom Podium betont, dass diese Karten keine Drohung, sondern eine Hilfestellung seien und auch als solche wahrgenommen werden müssen. Es wurde festgestellt, dass von Seiten der Herausgebenden solcher Karten mehr für die Bewerbung dieser Karten getan werden müsse.

Außerdem wurde überlegt, wie sichergestellt werden kann, dass die Erstellung von Starkregengefahrenkarten, oder vergleichbarer Produkte von Ingenieurbüros mit dem nötigen Know-How durchgeführt wird. In Baden-Württemberg muss die Fähigkeit beispielsweise im Zuge der Vergabe durch Rechnung eines Modellgebiets nachgewiesen werden. Eine wichtige Maßnahme wäre es hier schon entsprechend in der Ausbildung anzusetzen.

Grundwasseranreicherung im Hessischen Ried

Dr. Hermann Mikat

Wasserverband Hessisches Ried

1. Einleitung

Die im 7. KLIWA-Symposium mit dem Titel ZU WENIG | ZU VIEL – Wasserwirtschaft zwischen Trockenheit und Starkregen – aufgezeigten möglichen zukünftigen Entwicklungstendenzen spiegeln sich auch im Naturraum des Hessischen Rieds wider. Das Hessische Ried wird überprägt durch intensive Anforderungen aus den Bereichen Siedlungswesen, Landwirtschaft, Industrie und Wasserwirtschaft, deren Interessen an dem Grundwasserstand kleinräumig sehr unterschiedlich und oftmals widerstreitig sein können, unabhängig von den witterungsbedingten Einflüssen.

Der im Hessischen Ried verfolgte Lösungsansatz zur Minimierung negativer Auswirkungen durch tiefe Grundwasserstände besteht in der Infiltration von aufbereitetem Oberflächenwasser in den Grundwasserkörper. Dieses System der künstlichen Grundwasseranreicherung im Hessischen Ried wird im Weiteren dargestellt. Für das allgemeine Grundverständnis der Situation ist eine Replik auf den Naturraum und dessen Entwicklung unabdingbar.

2. Das Hessische Ried

Der Naturraum des nördlichen Teils des Oberrheingrabens wird als Hessisches Ried bezeichnet. Das Hessische Ried, mit seiner geographischen Lage zwischen den Metropolregionen Frankfurt / Rhein-Main und Rhein-Neckar weist eine Breite von ca. 15 bis 20 km und eine Länge von ca. 60 km auf. Begrenzt wird der Naturraum im Osten durch den Odenwald und den Sprendlinger Horst, im Norden durch den Main, im Westen durch den Rhein und im Süden durch die hessische Landesgrenze.

Zur Trink- und Brauchwasserversorgung wird ein aus mächtigen sandig bis sandig-kiesigen Sedimenten, mit eingelagerten bis zu mehreren Dezimeter mächtigen schluffigen bis tonigen Horizonten bestehender Porenaquifer genutzt. Die natürliche Grundwasserneubildung erfolgt vor allem über die winterlichen Niederschläge, dem unterirdischen Zufluss aus dem Odenwaldrand und dem Sprendlinger Horst sowie über die Zusickerung aus den Vorflutern. In- und Exfiltration aus bzw. in die Vorfluter sind dabei abhängig von der Wasserspiegellage des Vorfluters zum umgebenden Grundwasserspiegel. In- und Exfiltration können dabei an einem Gewässerabschnitt zeitlich variieren und sind auch abhängig von dem Ausbau der Gewässer.

Der Naturraum, der sich durch das geringe Gefälle vom Odenwaldrand zum Rhein hin auszeichnet, lässt gemäß der Namensbezeichnung „Ried“, ein durch hohe Grundwasserstände und saisonale Überflutungen gekennzeichnete Region erwarten. Rheinbegradigung und der Generalkulturplan für das Hessische Ried in den 1920er Jahren führten zu einer großflächigen Entwässerung des Rieds. Diese Maßnahmen bildeten die Grundlage für die sich daran anschließende prosperierende Entwicklung des Hessischen Rieds mit Beginn der 1960er Jahre.

Die industrielle Entwicklung und der damit verbundene Bevölkerungszuwachs in den 1960er Jahre hatte zur Folge, dass zur Sicherstellung der öffentlichen Trinkwasserversorgung, neben den zur lokalen Versorgung bestehenden Wasserwerken drei zusätzliche Wasserwerke zur Versorgung des Ballungsraumes und weitere Brunnen für die Industrie in Betrieb genommen wurden. Dies führte in deren Einflussgebieten zu einem Absinken der Grundwasserstände. Der in Verbindung mit dem Bevölkerungszuwachs bestehende Flächenbedarf für Neubaugebiete hatte zur Folge, dass tieferliegende, durch Trockenheit und



Grundwasserentnahme trockengefallene Flächen, unbeachtet eines möglichen späteren Grundwasseranstiegs als Baugebiete ausgewiesen wurden. Witterungsbedingte Phasen mit tiefen Grundwasserständen in den 1970er und 1990er Jahre und hohe Grundwasserstände in den 2000er Jahren verschärfte die Situation zusätzlich. Natürlich bedingte hohe Grundwasserstände führten dazu, dass Ackerflächen – die vormals als Grünflächen genutzt wurden – und Keller unter Wasser standen. Aus siedlungswasser- und landwirtschaftlicher Sicht wird ein Grundwasserflurabstand von mind. ca. 2 m als Mindestmaß zur Reduzierung nachteiliger Effekte als erforderlich angesehen. In manchen Ortslagen ist die Einhaltung des Mindestflurabstands zum Gebäudeschutz nicht möglich, sodass Brunnengalerien zur Wasserhaltung umgesetzt wurden.

3. Wasserverband Hessisches Ried

Als Reaktion auf die Probleme infolge des Absinkens der Grundwasserstände in den 1970er Jahren wurde ein Konzept der Grundwasserbewirtschaftung durch Infiltration von aufbereitetem Oberflächenwasser für die Gewinnungsanlagen der öffentlichen Wasserwerke konzipiert. Für diese Aufgabe wurde 1979 der Wasserverband Hessisches Ried (WHR) gegründet mit den zentralen Aufgaben der Grundwasserbewirtschaftung und der landwirtschaftlichen Beregnung. Der Wasserverband ist im Sinne des Wasserverbandsgesetzes ein Wasser- und Bodenverband und eine eigenständige Körperschaft des öffentlichen Rechts.

Die Gründung des Verbandes zielte darauf, dass einerseits die in Trockenperioden zu erwartenden Schäden vermieden und andererseits die Voraussetzung einer umweltverträglichen Grundwasserentnahme durch die Grundwasseranreicherung für den prognostizierten Trinkwasserbedarf der öffentlichen Wasserversorgung gedeckt werden kann.

Mitglieder des Verbandes sind:

Wasserversorger	Kommunen/ Gebietskörperschaften	Landwirtschaft
Hessenwasser GmbH & Co. KG WBV Riedgruppe-Ost EWR Netz GmbH	Landkreis Groß-Gerau Landkreis Bergstraße Landkreis Darmstadt-Dieburg Stadt Darmstadt Stadt Frankfurt am Main Landeshauptstadt Wiesbaden Gemeinde Biebesheim am Rhein	Beregnungswasserverband Hessisches Ried (WHR-Beregnung)

Der Verband ist als Körperschaft des öffentlichen Rechts Teil der Landesverwaltung. Die Aufgaben sind gemäß Satzung (u.a.):

- eine Grundwasseranreicherung
 - zum Zweck der Sicherstellung der öffentlichen Trinkwasserversorgung,
 - unter gleichzeitiger Stabilisierung der Grundwasserstände (GWBPl) und
 - positiver Wirkung für den Naturraum (Ökologie).

- Die Wasserabgabe aus dem Brauchwasserwerk Biebesheim dient zur:
 - Grundwasseranreicherung (Infiltration),
 - Bereitstellung von Beregnungswasser für den WHR-Beregnung,
 - Sonstige Dritte (geringe Mengen).

Das Verbandsgebiet umfasst den räumlichen Wirkungsbereich der mit der Grundwasseranreicherung in Verbindung stehenden Landkreise und Städte:

Städte	Landkreise
Stadt Darmstadt	Landkreis Groß-Gerau
Stadt Frankfurt am Main	Landkreis Bergstraße
Stadt Wiesbaden	Landkreis Darmstadt-Dieburg
	Landkreis Hochtaunus
	Landkreis Rheingau-Taunus
	Landkreis Main-Taunus
	Landkreis Main-Kinzig

4. Anlagen des Wasserverbandes Hessisches Ried

Zur Sicherstellung der öffentlichen Trinkwasserversorgung betreibt der Verband seit 1989 ein Oberflächenwasseraufbereitungswerk in Biebesheim am Rhein mit Infiltrationsanlagen zur Grundwasseranreicherung.

Rheinwasseraufbereitungswerk

Im Jahre 1989 wurde mit finanzieller Unterstützung des Landes das Rheinwasseraufbereitungswerk und die Infiltrationsanlage Eschollbrücken-Pfungstadt in Betrieb genommen. Das Wasserwerk verfügt über eine technische Aufbereitungskapazität von bis zu 43 Mio. m³/a. Die Tagesaufbereitungsleistung beträgt 5.400 m³, dies entspricht einer Rheinwasserentnahme von 1,5 m³/sec. Das aufbereitete Brauchwasser wird in Abhängigkeit von den Verbandsaufgaben in unterschiedlichem Maße für die Grundwasseranreicherung und die landwirtschaftliche Beregnung zur Verfügung gestellt. Die Entnahme des Oberflächenwassers ist auch bei Niedrigwasserabfluss des Rhein durch den gewählten Standort der Fassungsorgane an einem Prallhang sichergestellt. Mit Annäherung des Rheinwasserstandes an den niedrigsten bekannten Niedrigwasserstand seit Betrieb der Rheinwasseraufbereitungsanlage von 2 cm (25.10.2018) am Pegel Worms – dies entspricht einer Abflussspende von ca. 435 m³/sec –, ist eine ausreichende Überdeckung der Fassungsorgane nicht mehr gegeben, sodass die Entnahme aus dem Rohwasserpumpwerk entsprechend dem Grad der Über- bzw. Unterdeckung der Fassungsorgane angepasst werden muss (Bundesanstalt für Gewässerkunde, 2018). Allerdings erfolgt die Infiltration über das gesamte Jahr, mögliche Fehlmengen aus Niedrigwassersituationen können entsprechend nachgeholt werden.

Der Wasserabfluss des Rheins hängt neben den Bedingungen in seinem Einzugsgebiet und der Nebenflüsse wesentlich von den meteorologischen Randbedingungen Temperatur und Niederschlag ab. Maßgeblichen Einfluss auf die Qualität des Rohwassers hat bei Niedrigwasserabfluss der punktuelle Eintrag von Klarwasser und dessen Anteil am Trockenwetterabfluss des Rheins. Zwischen Neckar und Main ist bei

mittlerem Durchfluss mit einem Klarwasseranteil von 5 bis 10 % zu rechnen. Der Klarwasseranteil erhöht sich bei mittlerem Niedrigwasserabfluss auf 10 bis 20 % des Gesamtabflusses in diesem Gewässerabschnitt (Umweltbundesamt, 2018).

Zur Gewährleistung einer gleichbleibenden hohen Güte des aufbereiteten Brauchwassers wird das Rheinwasser über mehrstufige Verfahren aufbereitet. Die Aufbereitung integriert physikalische, chemische und mikrobiologische Aufbereitungsverfahren und umfasst eine mechanische Vorreinigung, Vorozonung, Primärflockung, Sedimentation, Hauptozonung, Sekundärflockung, Mehrschichtfiltration und Aktivkohlefiltration. Das aufbereitete Wasser hat in chemischer Hinsicht Trinkwasserqualität und ist in der Regel auch frei von Indikatorbakterien. Diese Wasserqualität wird auch bei Niedrigwasserabfluss, dem dabei zu erwartenden erhöhten Klarwasseranteil, und bei hohen Trübungswerten uneingeschränkt gewährleistet.

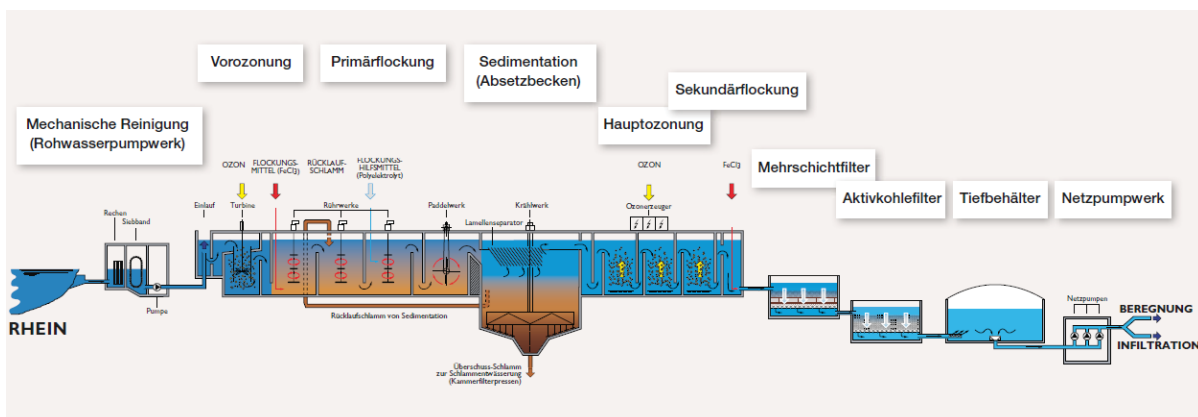


Abbildung 1: Mehrstufiges Aufbereitungsverfahren.

Ausgehend von dem Tiefbehälter wird das aufbereitete Oberflächenwasser in ein separates Brauchwassernetz eingespeist und steht zur Grundwasseranreicherung und zur landwirtschaftlichen Beregnung zur Verfügung.

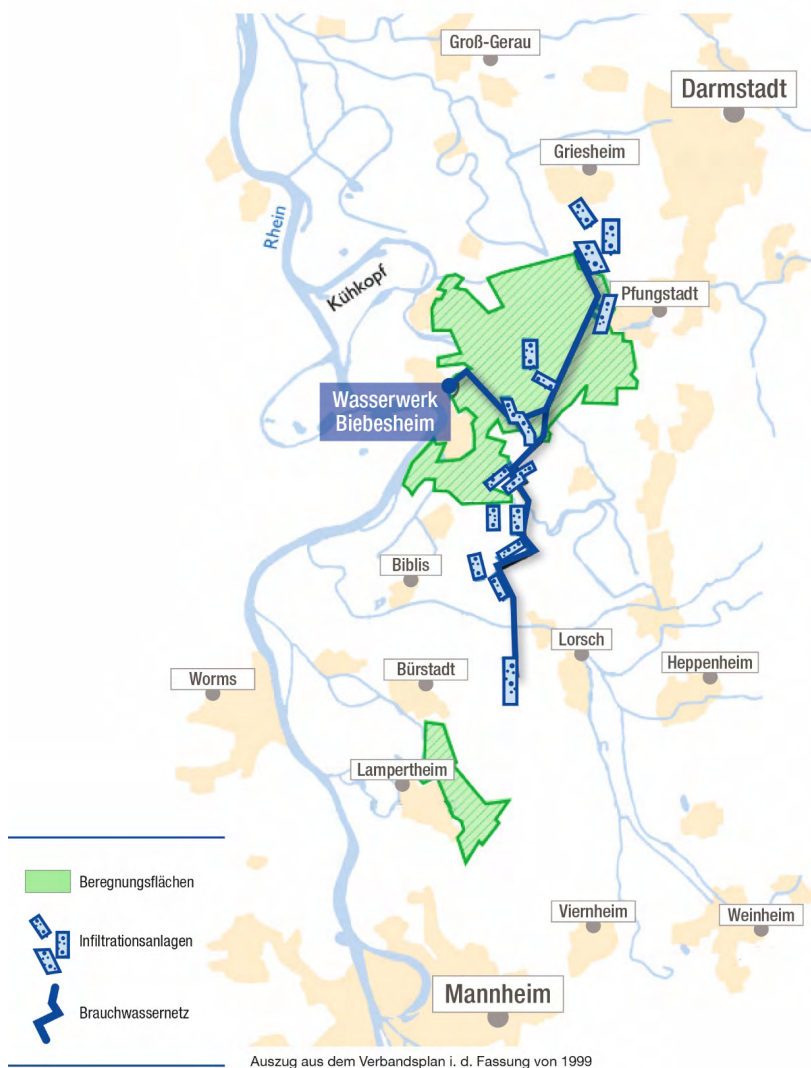


Abbildung 2: Transportnetz und Verbandsanlagen.

Anlagen zur Grundwasseranreicherung

Angepasst an die Standort- und Untergrundverhältnisse, die naturräumlichen Anforderungen und die Lage der Brunnengalerien der öffentlichen Wasserwerke (4 Anlagenstandorte) erfolgt die Grundwasseranreicherung mittels 55 Infiltrationsorganen und 230 Infiltrationsbauwerken bestehend aus Sickerschlitzgräben, Kiesbohrlöchern, Schluckbrunnen und natürlichen Entwässerungsgrabensystemen. Zur Versorgung der 4 Anlagenstandorte betreibt der WHR ein separates Brauchwassernetz in einer Länge von ca. 30 km.

Die Anlagen des Verbandes – bezeichnet nach der Örtlichkeit von Nord nach Süd – sind:

- Infiltrationsanlage Pfungstadt-Eschollbrücken,
- Infiltrationsanlage Gernsheimer Wald,
- Infiltrationsanlage Jägersburger Wald,
- Infiltrationsanlage Lorschener Wald.



Der räumliche Einflussbereich der Infiltrationsanlage ist von den vorherrschenden Grundwasserständen, dem prognostizierten Witterungsverlauf und dem Bedarf der öffentlichen Trinkwasserversorgung unmittelbar abhängig. Dem natürlichen Grundwassergefälle vom Odenwaldrand zum Rhein folgend, wurden die Infiltrationsanlagen im direkten Zustrom der Wasserwerke der Verbandsmitglieder errichtet. Die Verortung der Infiltrationsorgane zu den Brunnengalerien wird in der Abbildung 3 dargestellt.

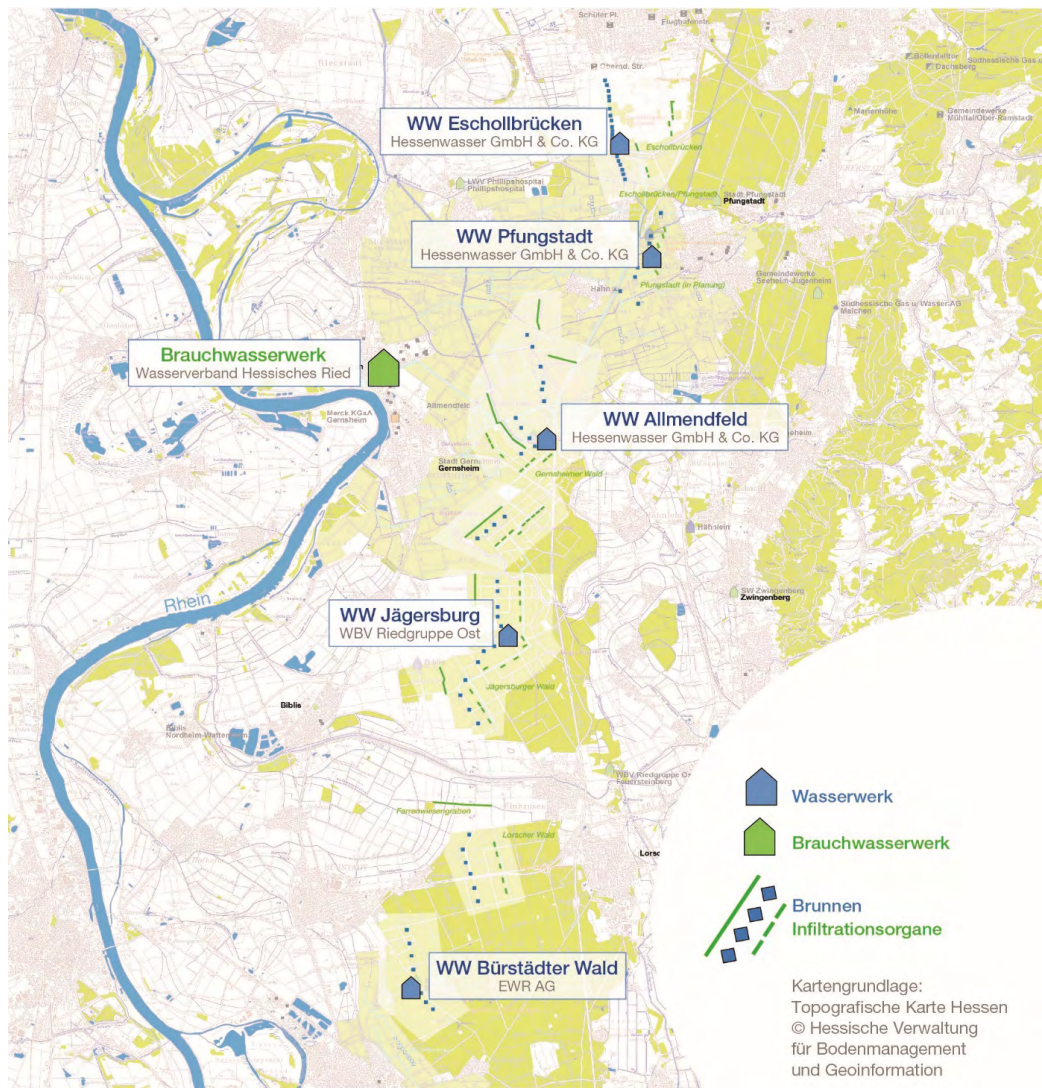


Abbildung 3: Infiltrationsanlagen und deren räumliche Verortung.

Zur Stabilisierung des Grundwasserpegels wurden in den Jahren von 2017 bis 2021 im Mittel ca. 26,7 Mio. m³/a infiltriert. Das bisherige Maximum von 33,9 Mio. ³/a wurde in 2019 infiltriert.

5. Integriertes Wasserressourcenmanagement

Der WHR betreibt begünstigt durch die Speicherfähigkeit des Porenaquifers unter Berücksichtigung wasserrechtlicher Vorgaben und den Zielen des Grundwasserbewirtschaftungsplans Hessisches Ried (Regierungspräsidium Darmstadt, 1999) ein integriertes Wasserressourcenmanagement. Die Ressourcenbereitstellung wird in den Hauptgewinnungsgebieten über die Infiltration von aufbereitetem Rheinwasser

aktiv, bedarfsgerecht und zeitlich hochvariabel gesteuert. Der Aquifer dient dabei als Zwischenspeicher, so dass die Grundwasserentnahme unabhängig von der Witterung einzelner Jahre erfolgen kann. Die Speichernutzung wird durch wasserrechtliche Vorgaben, zur Verhinderung von infiltrationsbedingten Vernässungsgefahren oder einem zu starken Absinken der Grundwasserstände unter ein bestimmtes Maß, reglementiert.

Die aktive Steuerung der Infiltration erfolgt im Sinne einer nachhaltigen und ökologischen Wassergewinnung unter Berücksichtigung der vorherrschenden Grundwasserstände, der Witterung, der Grundwasserneubildungsrate und des prognostizierten Trinkwasserbedarfs der an den Leitungsverbund der Arbeitsgemeinschaft Wasserversorgung Rhein-Main angeschlossenen Kommunen und Verbände, im Einklang mit den Vorgaben der Wasserrechtsbescheide sowie den Regelungen des Grundwasserbewirtschaftungsplans Hessisches Ried.

In Abbildung 4 wird exemplarisch in einem Querschnitt die Funktionsweise der Grundwasseranreicherung im Zustrom einer Brunnengalerie inkl. der beschiedenen wasserrechtlichen Grundwasserstandsvorgaben dargestellt.

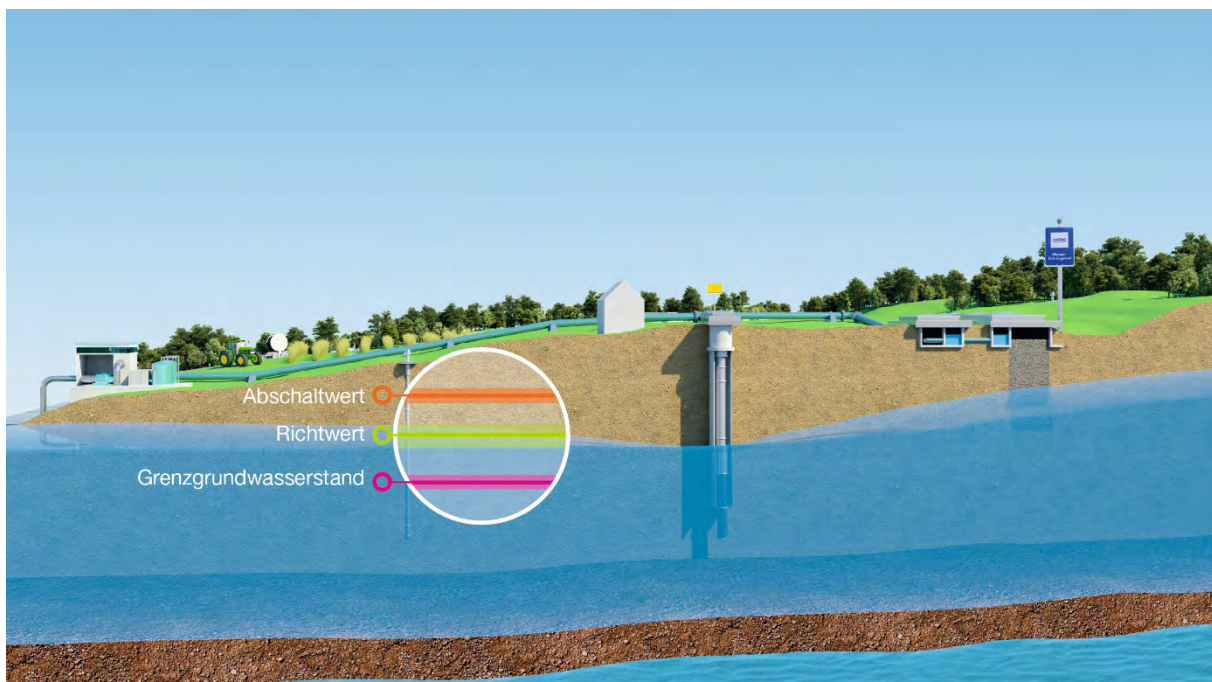


Abbildung 4: Wirkungsweise der Infiltrationsanlagen.

Als Bewirtschaftungsband dient der Bereich zwischen dem unteren Grenzgrundwasserstand und dem Abschaltwert. Das Bewirtschaftungsband bildet die Schwankungsbreite des Grundwasserstandes gemäß dem Grundwasserbewirtschaftungsplan Hessisches Ried (Regierungspräsidium Darmstadt, 1999) ab. Zu beachten ist, dass in Nassperioden der natürliche Grundwasserstand über den Abschaltwert der Infiltration ansteigen kann.

Die situationsangepasste und grundwasserstandsgesteuerte Variation der Infiltrationsmengen erfolgt aufgrund langjähriger Betriebserfahrungen und Prognosen zur Grundwasserstandentwicklung und dem Trinkwasserbedarf. Ein möglicher Trinkwassermehrbedarf wird bilanzneutral durch eine Erhöhung der Infiltrationsmengen ausgeglichen.



Weiterführende Informationen zur Infiltrationssteuerung stehen auf der Homepage des Wasserverbandes Hessisches Ried (www.whr-infiltration.de) und der Internetplattform grundwasser-online (www.grundwasser-online.de) der Arbeitsgemeinschaft der öffentlichen Wasserwerke im Hessischen Ried zur Verfügung.

6. Fazit und Ausblick

Die Grundwasseranreicherung durch den WHR ist ein robustes, nachhaltiges auf die Zukunft ausgerichtetes Element der Siedlungswasserwirtschaft zur Stärkung der Resilienz der öffentlichen Wasserversorgung und zur Sicherung des naturräumlichen Potentials gegenüber Klimafolgewirkungen. Die bestehende Anlagentechnik ermöglicht auch in Zeiten geringster Abflussmengen des Rheins und gleichzeitig hohen Klarwasseranteilen eine verlässliche Bereitstellung von qualitativ einwandfreien Brauchwasser zur Grundwasseranreicherung und landwirtschaftlichen Beregnung.

Das integrierte Wasserressourcenmanagement ermöglicht auf Basis der Infiltration von aufbereitetem Rheinwasser eine nachhaltige und umweltschonende Grundwassergewinnung für die Trinkwasserversorgung der Metropolregion Frankfurt / Rhein-Main.

Unter der Voraussetzung, dass entsprechende Niedrigwasserabflüsse an einem Gewässer auch unter Berücksichtigung der zu erwartenden Klimafolgewirkungen gewährleistet sind und die hydrogeologischen Standortbedingungen eine Zwischenspeicherung des aufbereiteten Oberflächenwassers ermöglichen, kann diese Art der Aquiferbewirtschaftung auch auf andere Standorte übertragen werden.

Zu berücksichtigen ist in diesem Lösungsansatz der für diese Art des integrierten Wasserressourcenmanagements erforderliche Investitions- und Betriebsaufwand durch die doppelte technische Anlagenvorhaltung inkl. Steuerung sowie der quantitativen und qualitativen Überwachung.

Zur Übertragung des Systems auf andere Regionen sind Analysen des Langzeitverhaltens der Niedrigwasserabflüsse, der Entwicklung der Grundwasserstände, des Trink- und Brauchwassersbedarfs inklusive deren zukünftigen Änderungstendenzen und den unterschiedlichen anthropogenen und naturräumlichen Anforderungen zwingend erforderlich.

Literatur

BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE (Hrsg., 2018): Informationsplattform Undine, BMU-Projekt „Verbesserung der Datengrundlage zur Bewertung hydrologischer Extreme“, Koblenz.

REGIERUNGSPRÄSIDIUM DARMSTADT (Hrsg., 1999): Grundwasserbewirtschaftungsplan Hessisches Ried, Darmstadt.

UMWELTBUNDESAMT (Hrsg., 2018): Dynamik der Klarwasseranteile in Oberflächengewässern und mögliche Herausforderungen für die Trinkwassergewinnung in Deutschland, TEXTE 59/2018, Berlin.

Ansätze für eine nachhaltige, umweltverträgliche Bewässerung

Dr. Herbert Walter

Regierung von Unterfranken, Koordinierungsstelle Zukunftsstrategie Wasserwirtschaft Nordbayern

1. Einleitung

Das Frühjahr und der Sommer des Jahres 2022 waren geprägt durch langanhaltende Trockenheit und überdurchschnittliche Lufttemperaturen. Die z. B. in Nordbayern beobachteten außergewöhnlich geringen Niederschläge führten zu niedrigen bis sehr niedrigen Abflüssen in den Fließgewässern, Oberläufe von Bächen vielen vermehrt trocken. Des Weiteren hatte die Witterung verbreitet auch Einbußen bei der landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Produktion zur Folge, die Wälder waren Trockenstress ausgesetzt.

Die seit 2014/2015 in Bayern beobachtete klimawandelbedingte Häufung der Hitze- und Trockenjahre verstärkte die Nachfrage nach Bewässerung insbesondere in der Landwirtschaft. Mit fortschreitendem Klimawandel – der weiteren Erhöhung der Lufttemperaturen, der Ausweitung der Vegetationsperiode und der projizierten Abnahme der sommerlichen Niederschläge – gewinnt die Bewässerung zunehmende Bedeutung für die Produktion unserer Lebensmittel. Die vermehrte Nachfrage nach regional erzeugten Produkten verstärkt diese Entwicklung.

2. Problemstellung und Lösungsansätze

Der Bewässerung kommt bei Sonderkulturen wie Gemüse, Hopfen oder Wein eine besondere Rolle zu. Ohne diese ergänzende Zufuhr von Wasser ist verbreitet die Erzeugung vermarktungsfähiger Produkte nicht möglich. Neben der Qualitäts- und Ertragssicherung trägt die Bewässerung im Steillagenweinbau auch zum Erhalt dieser Kulturlandschaft bei, was eine nicht unerhebliche, u. a. touristische Bedeutung hat. Des Weiteren können mit der Bewässerung positive Effekte für den Gewässerschutz erzielt werden. Durch eine ausreichende Wasserversorgung der Pflanzen wird die Aufnahme der ausgebrachten Düngemittel ermöglicht, so dass insbesondere die Nitratauswaschung in das Grundwasser reduziert wird. Zudem erlaubt im Weinbau die Tropfbewässerung der Weinstöcke eine Begrünung zwischen den Rebzeilen, wodurch die Erosion und damit der Eintrag partikulär gebundenen Phosphors in die oberirdischen Gewässer gemindert werden kann.

Bei allen Überlegungen zur Bewässerung ist als Grundvoraussetzung zwingend zu beachten, dass die Wasserentnahmen nachhaltig und umweltverträglich erfolgen. In der Regel stellt das begrenzte Dargebot den limitierenden Faktor dar. Mit dem Klimawandel werden hier weitere Veränderungen erwartet. Auch wenn die Projektionen mit Unsicherheiten behaftet sind, kann davon ausgegangen werden, dass die Extremereignisse zunehmen. Stärker ausgeprägte Trockenperioden werden nicht ohne Auswirkungen sowohl auf die jährlichen Grundwasserneubildungsraten wie auf die jahreszeitlichen Abflüsse in den Fließgewässern bleiben. Hinzu kommt, dass u. a. die erwarteten höheren Lufttemperaturen zu steigenden Wassertemperaturen führen, die wiederum die Gewässerökologie beeinflussen.

Aufgrund des Klimawandels sind in der Landwirtschaft und im Gartenbau verstärkt trockenheitsangepasste Bewirtschaftungsansätze umzusetzen. Neben der Auswahl geeigneter, trockenresistenter Kulturen kommt dem Humusaufbau und der im Hinblick auf den Bodenwasserhaushalt optimierten Bodenbearbeitung eine zentrale Rolle zu. Aber auch die Bewässerung an sich kann noch ressourcenschonender ausgestaltet werden.



Infolge der naturräumlichen Gegebenheiten und der landwirtschaftlichen Strukturen haben sich über die letzten Jahrzehnte Bewässerungsschwerpunktgebiete in Nordbayern (insbesondere Knoblauchsland, Region um Würzburg – Kitzingen – Schweinfurt) und im Donau-Raum (z. B. Hallertau, Osterhofener Platte) herausgebildet. Die Herausforderungen des Klimawandels in Verbindung mit dem verstärkten Nutzungsdruck auf die Ressource Wasser erfordern aufeinander abgestimmte Aktivitäten von Landwirtschaft und Wasserwirtschaft. Vorrang kommt weiterhin dem Regenfeldbau zu, die Bewässerung stellt eine Ergänzung in zwingenden Sektoren dar. Im Aktionsplan Bewässerung skizzierte die Bayerische Staatsregierung bereits Mitte 2018 die zielführende strategische Vorgehensweise. In seiner Regierungserklärung „Wasserzukunft Bayern 2050: Wasser neu denken!“ vom 28.10.2020 bekräftigte Herr Staatsminister Glauber u. a. die Notwendigkeit einer umweltverträglichen Bewässerung mit intelligenten Konzepten. Des Weiteren befürwortete 2021 die von der Bayerischen Staatskanzlei einberufene Expertenkommission in ihrem Bericht zur „Wasserversorgung in Bayern“ weitestgehend die Ansätze für eine nachhaltige Ausgestaltung.

Konsequenterweise adressiert die im Juni 2022 von der Bayerischen Staatsregierung beschlossene integrale Gesamtstrategie „Wasserzukunft Bayern 2050“ mit den Programmen „Wassersicherheit 2050“, und „PRO Gewässer 2030“ auch die Bewässerungsthematik. Ein wichtiges Element des Programms „Wassersicherheit 2050“, das im Wesentlichen die Anpassungsstrategien bzgl. Trockenheit und Dürre umfasst, stellt der o. g. Aktionsplan Bewässerung dar, der gemeinsam vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) sowie vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) entwickelt, fortgeschrieben und umgesetzt wird.

Wesentliche Bausteine dieses Aktionsplanes zur Unterstützung des anstehenden Transformationsprozesses sind die Verbesserung der Fachgrundlagen, der Ausbau des Beratungsangebots und die Verstärkung der staatlichen Förderung.

Zur Verbesserung der Fachgrundlagen wurde von den beiden Staatsministerien StMELF und StMUV das Bewässerungsforum Bayern bei der Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V. (ALB e.V.) initiiert. Das Bewässerungsforum versteht sich als neutrales Informationsnetzwerk mit Vertretern aus Praxis, Verwaltung, Forschung und Verbänden, das unter Beachtung der Umwelt- und Gesellschaftsverträglichkeit möglichst praktikable und umweltgerechte Lösungen ausarbeitet.

In Arbeitsgruppen des Bewässerungsforums werden Beratungsblätter zu Themen wie Bewässerungssteuerung, Wasserbedarf einzelner Kulturen, Wasserbedarfsdeckung, Bewässerungstechniken oder auch Bewässerungswürdigkeit erstellt.

In dem 2021 vom StMELF am Staatsgut Schwarzenau, Landkreis Kitzingen, eingerichteten Forschungszentrum für Landwirtschaft in Trockenlagen werden Lösungen für die Herausforderungen des Klimawandels in einer besonders betroffenen Region entwickelt. Dazu sind Untersuchungen u. a. zu Wasserrückhalt und -speicherung, Bodenbearbeitung, Arten- und Sortenwahl, Fruchtfolgen und ökologischen Auswirkungen vorgesehen.

Des Weiteren werden mit vertieften Untersuchungen zur Wasserverfügbarkeit (insbesondere Erstellung hydrogeologischer Modelle für die Bewässerungsschwerpunktgebiete, weitergehende Analyse des Dargebots oberirdischer Gewässer) die Fachgrundlagen erweitert.

Dem Ausbau des Beratungsangebots dienen u. a. die o. g. Beratungsblätter des Bewässerungsforums mit dem Internet-Auftritt der ALB Bayern e.V. Darüber hinaus beraten im Rahmen ihrer Zuständigkeiten die Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, die Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau sowie die Wasserwirtschaftsämter Landwirte, Winzer und Gartenbaubetriebe.

Nach den aktuellen Richtlinien für Zuwendungen zu wasserwirtschaftlichen Vorhaben (RZWas 2021) fördert das StMUV die Erstellung von Bewässerungskonzepten mit 75 % der zuwendungsfähigen Kosten. Mit diesen Untersuchungen können die Zuwendungsempfänger – Kommunen oder Wasser- und Bodenverbände – für ein zusammenhängendes Gebiet die Eckpunkte für eine zukunftsfähige, nachhaltige Bewässerung klären. So sind unter Berücksichtigung der Auswirkungen des Klimawandels insbesondere der aktuelle und künftige Bewässerungsbedarf zu ermitteln, die Möglichkeiten für die umweltverträgliche Deckung des Wasserbedarfs zu erheben und die Wirtschaftlichkeit der Umsetzung entsprechender Infrastrukturmaßnahmen abzuschätzen.

Wie zu erwarten zeigen die bisher erstellten Bewässerungskonzepte, dass der Ausbau einer geeigneten Bewässerungsinfrastruktur aufwändig und kostenintensiv sein wird. Daher wurde ein Pilotförderprogramm aufgelegt, um am Beispiel von vier Vorhaben mit unterschiedlichen Kulturformen und Ansätzen z. B. zur Wasserbedarfsdeckung Erfahrungen zu sammeln. Die Träger der Vorhaben Spalter Hügelland (Hopfen, Kirschen) sowie Iphofen, Nordheim a. Main und Oberschwarzach (jeweils Weinbau) werden mit 50 % der zuwendungsfähigen Kosten, max. 10 Mio. €, gefördert, wenn bis zum 31.12.2023 auf Basis des vorliegenden Bewässerungskonzepts insbesondere die Planung der Maßnahme vorangetrieben, die Beteiligung der Landwirte bzw. Winzer verbindlich geklärt und die wasserrechtliche Genehmigung beantragt wird. Die Ergebnisse der Evaluierung der Vorhaben (u. a. Ressourcenbedarf, Komplexität der Umsetzung) fließen in die Entscheidung ein, ob die Förderung von Infrastrukturmaßnahmen in eine Regelförderung überführt wird.

Mit der Förderung wird auch das wasserwirtschaftliche Ziel verfolgt, den Ausstieg aus der Nutzung von Grundwasservorkommen zur Bewässerung zu unterstützen. Entsprechend der Priorisierung der Verwendung von Wasservorkommen sind neben gesammeltem Niederschlagswasser – dessen Menge häufig den Bedarf nicht vollständig decken kann – Entnahmen aus ausreichend leistungsfähigen Fließgewässern vorzusehen. Dem nachrangig kommt die Entnahme von Uferfiltrat in Frage. Nur wenn eine Nutzung der vorgenannten Ressourcen nicht möglich oder nicht ausreichend ist, kann – nach eingehender Prüfung – ggf. auf schnell regenerierende Grundwasservorkommen zurückgegriffen werden. Dagegen sind Entnahmen aus langsam regenerierenden Grundwasserleitern („Tiefengrundwasser“) für Bewässerungszwecke grundsätzlich ausgeschlossen.

Der Abfluss von Fließgewässern unterliegt i. d. R. einem typischen Jahresgang. Im Fall des Mains, des abflussstärksten Flusses in Unterfranken, sind niedrige Abflüsse in den Sommermonaten zu verzeichnen, in denen sich je nach Witterungsverlauf kritische Gewässergüteverhältnisse einstellen können (hohe Wassertemperaturen und/oder niedrige Sauerstoffgehalte). In der Folge sind ggf. Nutzungen einzuschränken (vgl. Alarmplan Main – Gewässerökologie).

Für eine zukunftsfähige, nachhaltige Bewässerung sind daher Entnahmen zu vergleichsweise abflussstarken Zeiten im hydrologischen Winterhalbjahr und Vorhaltung des Wassers in (Jahres-)Speichern vorzusehen. Um die Verwendung von Wasser aus Fließgewässern insbesondere für Tropfbewässerungsanlagen zu ermöglichen, ist eine Aufbereitung erforderlich. Des Weiteren empfiehlt es sich, bei den Speichern Vorkehrungen gegen starken Algenaufwuchs und hohe Verdunstungsverluste zu treffen.

Im Zuge der Begutachtung der Entnahmeanträge im wasserrechtlichen Verfahren wird die Vereinbarkeit des Vorhabens mit den allgemeinen Grundsätzen der Gewässerbewirtschaftung nach § 6 WHG geprüft. Auch für Entnahmen in den Wintermonaten ist die Notwendigkeit von situationsbezogenen Beschränkungen zu klären. Des Weiteren sind mögliche Nutzungskonflikte zu würdigen. Ergänzend sind Regelungen zur sachgerechten Eigenüberwachung (vom Betreiber durchzuführende Messungen und Untersuchungen, Vorgaben zu Dokumentation und Berichtspflicht) zu treffen, welche die im Rahmen der sogenannten technischen Gewässeraufsicht nach pflichtgemäßem Ermessen stichprobenartig und objektbezogen von den Wasserwirtschaftsämtern durchzuführende amtliche Überwachung ergänzt und unterstützt.



Nicht zuletzt sind im Sinne eines vorausschauenden Risikomanagements einerseits die Behörden gefordert, für mögliche kritische Situationen geeignete Vorgehensweisen (insbesondere Überlegungen zu angezeigten Nutzungseinschränkungen und zur Information/Kommunikation dazu) vorzubereiten. Aber auch die Betreiber von Bewässerungsanlagen sind gut beraten, für derartige Fälle vorsorglich ihre betrieblichen Handlungsoptionen (z. B. Reduzierung der Bewässerungsgaben, Aufgabe von Kulturen) zu klären.

3. Fazit und Ausblick

Mit den vorgestellten Ansätzen wird im Rahmen der Gesamtstrategie „Wasserzukunft Bayern 2050“ das Ziel verfolgt, eine zukunftsfähige, nachhaltige und umweltverträgliche Bewässerung zu etablieren, die den Auswirkungen des Klimawandels Rechnung trägt. Die begrenzten Wasserressourcen erfordern eine Anpassung der landwirtschaftlichen bzw. gartenbaulichen Anbaupraxis mit dem Regenfeldbau als Basis. Die Entnahme von Wasser aus leistungsfähigen Fließgewässern zu abflussstarken Zeiten und Anlage von (Jahres-)Speichern ermöglicht grundsätzlich – unter Berücksichtigung des Dargebots und der Anforderungen der Gewässerökologie – die Bewässerung von Sonderkulturen.

Literatur

Regierungserklärung „Wasserzukunft Bayern 2050: Wasser neu denken!“ vom 28.10.2020;
www.stmuv.bayern.de

Bericht der Expertenkommission „Wasserversorgung in Bayern“, 2021; Wasserversorgung in Bayern – Wasserforschung (tum.de)

Richtlinien für Zuwendungen zu wasserwirtschaftlichen Vorhaben (RZWas 2021);
www.gesetze-bayern.de

Alarmplan Main – Gewässerökologie; www.regierung.unterfranken.bayern.de

Trinkwasserverbundsystem in der Region Trier / Westeifel Regionales Verbundsystem Westeifel (RVWE); Sichere Trinkwasserversorgung durch Verbundnetzlösung und Spartenübergreifende Weiterentwicklung durch Mitverlegung weiterer Medien

Helfried Welsch
Vorstand Landwerke Eifel AöR

Der regionale Energieabgleich ist machbar: Spartenübergreifendes Infrastrukturprojekt in der Eifel für Klimaschutz und Strukturentwicklung

Eine sichere und moderne Trinkwasser-, Energie- und Telekommunikationsversorgung zu guten Konditionen, die gleichzeitig einen Beitrag zur Energiewende leistet – kein geringeres Ziel setzt sich das Projekt „Regionales Verbundsystem Westeifel“, das die Kommunale Netze Eifel AöR (KNE) unter dem Dach der gemeinsam mit sieben kommunalen Partner gegründeten Landwerke Eifel AöR (LWE) entwickelt haben und derzeit realisieren. Baubeginn war im April 2018, läuft alles weiter nach Plan wird das Gesamtprojekt 2023 fertig gestellt.

Mit dem „Regionalen Verbundsystem Westeifel“ macht die LWE die Region Westeifel fit für die Zukunft: Kernstück des Projekts ist der Neubau einer integrierten, rund 80 Kilometer langen Nord-Süd-Trasse, ergänzt durch eine rund 45 Kilometer lange Ost-West-Trasse. Neben der Transportleitung für Trinkwasser in der Dimension DN 300 werden je nach Abschnitt verschiedene Sparten, wie Erdgas, Biogas oder Glasfasernetze mitverlegt.

Die Nutzung der topografischen Gegebenheiten reduziert dabei den Energieeinsatz für die Trinkwasserversorgung um rund 1 Mio. Kilowattstunden. Durch den Einsatz von Turbinen werden die LWE sogar rund 0,5 Mio. Kilowattstunden Strom pro Jahr über das Trinkwassersystem erzeugen. Durch die Einbindung regionaler regenerativer Erzeugungsanlagen und die intelligente Steuerung relevanter Verbraucher schafft das Projekt zudem wichtige Voraussetzungen für einen Energieabgleich in der Region und leistet einen Beitrag für den regionalen Klimaschutz.

Fertigstellung bis 2023

Nach einer intensiven Planungs- und Genehmigungsphase startete der Leitungsbau im April 2018. Die Umsetzung der zahlreichen Einzelabschnitte ist bis 2023 geplant. In Zusammenarbeit mit der zuständigen Genehmigungsbehörde SGD Nord sind die Genehmigungsverfahren inzwischen weitestgehend abgeschlossen. Darüber hinaus wurde das Projekt um eine Ost-West-Trasse erweitert, wodurch die Infrastruktur von zwei weiteren Verbandsgemeinden bei der Neukonzeptionierung der Wasserversorgung berücksichtigt und gleichzeitig mehrere Biogasanlagen im südlichen Projektgebiet miteinander vernetzt wurden. Das Umweltministerium des Landes Rheinland-Pfalz fördert das „Regionale Verbundsystem Westeifel“ konkret den Aufbau des Wasserverbundsystems – mit insgesamt rund 32 Millionen Euro. 2015 wurde das Projekt im Rahmen des bundesweiten Innovationswettbewerbs „Ausgezeichnete Orte im Land der Ideen“ ausgezeichnet.

Vor dem Hintergrund des demografischen Wandels müssen sich insbesondere strukturschwache ländliche Räume zukunftsfähig aufstellen und damit Perspektiven für junge Menschen schaffen. Und genau hier bietet das Projekt viele Vorteile für die Region:



Von der Westeifel bis Trier profitieren durch das Großprojekt rund 250.000 Bürgerinnen und Bürger von einer bezahlbaren Energie- und Wasserversorgung. Bis zu 27.000 Haushalte und viele Gewerbegebiete erhalten durch das im Rahmen des Projekts verlegte Glasfasernetz die Voraussetzungen für einen schnellen Internetanschluss.

Welche konkreten Vorteile das Verbundprojekt noch mit sich bringt

■ Beispiel: Trinkwasserversorgung

Das geplante Trinkwasserverbundsystem verbindet leistungsstarke Gewinnungs- und Aufbereitungsanlagen zwischen der Oleftalsperre in der Nordeifel und der Riveristalsperre im vorderen Hunsrück. Die neue Transportleitung sorgt so für ein Höchstmaß an Versorgungssicherheit für alle Projektpartner und erlaubt darüber hinaus die Nutzung des Dargebots über die Verbandsgemeindengrenzen hinaus. Das heißt konkret: Die kommunalen Versorgungsunternehmen können auf kostenintensive und schwer schützbarere kleinere Gewinnungsanlagen verzichten und auf größere Gewinnungsanlagen mit gut ausgewiesenen Trinkwasserschutzgebieten zurückgreifen. Denn neben der Quantität spielt auch die Qualität des Trinkwassers bei dem Projekt eine entscheidende Rolle: So können durch gezielte Auslastung der modernen Aufbereitungsanlagen im Projektgebiet die Projektpartner die hohen Anforderungen der Trinkwasserverordnung auch langfristig sichergestellt werden.

Auch wenn die Bauarbeiten für das regionale Verbundsystem in der Westeifel noch nicht abgeschlossen sind, hat das Projekt seinen Wert bereits unter Beweis gestellt: Neben den neuen Leitungen verbindet das Verbundsystem künftig unterschiedliche Gewinnungsanlagen und eröffnet den beteiligten Versorgungsunternehmen neue Handlungsmöglichkeiten. So war es nach der Flut im vergangenen Jahr innerhalb kurzer Zeit möglich, die vom Trinkwassernetz abgeschnittenen Gemeinden Nattenheim und Fließem über ein anderes Wasserwerk zu versorgen. Ohne das Verbundnetz wäre die schnelle Wiederherstellung der Trinkwasserversorgung nicht möglich gewesen.

Hydrogeologisches Grundwassermodell

Zur langfristigen Sicherung der Grundwasserressourcen haben die kommunalen Wasserversorger unter Federführung der LWE ein hydrogeologisches Grundwassermodell für die Bitburg Trierer Mulde erarbeitet und mit der SGD Nord und den beteiligten Landesämtern für Umwelt, sowie Bergbau und Geologie abgestimmt. Die Untersuchungen bestätigen, dass es an einem zentralen Standort ein sehr gutes Grundwasserdargebot mit qualitativ hochwertigem Rohwasser gibt. Um die Aufbereitungskapazität an diesem Standort zu erhöhen, steht jetzt eine deutliche Erweiterung des Wasserwerks an: Bis 2024 investieren die LWE 14 Millionen Euro in den Ausbau des Standorts. Neben neuen Aufbereitungsfiltern ist auch eine spezielle Enthärtungsanlage geplant, um das vergleichsweise harte Tiefengrundwasser aus dem artesischen Brunnen mit dem Wasser der anderen Gewinnungsgebiete abzugleichen.

Effizienz durch Umkehrung der Fließrichtung

Aktuell wird das Trinkwasser innerhalb der Versorgungsgebiete der jeweiligen Projektpartner durch Pumpen in Hochbehälter gefördert, um einen ausreichenden Netzdruck zur Verfügung zu stellen. Durch das geplante Verbundnetz reicht die zusätzliche Menge von nur 1 Mio. Kubikmeter Wasser pro Jahr aus der Oleftalsperre in Nordrhein-Westfalen – bei einer Gesamtabgabe von 21 Mio. Kubikmetern pro Jahr für den gesamten Projektraum – aus, um rund 1 Mio. Kilowattstunde Pumpenergie pro Jahr einzusparen. Hintergrund: Betrachtet man das Höhenprofil im Projektgebiet zwischen Trier und dem höchsten Punkt im Norden des Projektraumes könnte man vereinfacht sagen, dass die Fließrichtung des Wassers umgedreht wird. Statt Trinkwasser von Süd nach Nord zu pumpen, nutzt das Projekt den natürlichen Geländeverlauf, rund 450 Metern Gefälle, um das Trinkwasser von Nord nach Süd fließen zu lassen.

Stromerzeugung im Wassernetz

Das Höhenprofil der Trasse mit einem Unterschied von rund 450 Metern zwischen der nordrhein-westfälischen Grenze und dem südlichen Versorgungsgebiet an der Mosel erlaubt darüber hinaus sogar den Einsatz von Turbinen beziehungsweise rückwärtslaufenden Pumpen im Trinkwassernetz, um Strom zu erzeugen. Nach dem derzeitigen Planungsstand sollen vier Turbinen beziehungsweise rückwärtslaufende Pumpen an drei Standorten installiert werden. So kann die LWE jährlich über 500.000 Kilowattstunden Strom pro Jahr im Trinkwassernetz erzeugen.

Intelligente Steuerung

Das Projekt betrachtet zudem auch die Nutzung der Lageenergie der vorhandenen Infrastruktur als Energiespeicher. Was heißt das konkret? Vorhandene Hochbehälter sollen genutzt werden, um die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in der Region anteilig auszuregeln. Viele der über hundert in der Region befindlichen Trinkwasserbehälter (Speichervolumen insgesamt etwa 110.000 Kubikmeter) werden derzeit rein nach Wasserbedarf geführt, das heißt, gefüllt und entleert. Ziel des Projekts ist es, die Pumpenergie zur Befüllung der Behälter dann einzusetzen, wenn Überschussstrom aus regionalen erneuerbaren Energien vorhanden ist. Neben den Aspekten der Versorgungssicherheit berücksichtigt das Projekt somit auch die aktuelle Situation am Stromerzeugungsmarkt.

■ Beispiel: Perspektive für regionales Biomethan

Im gesamten Projektgebiet liegen derzeit 48 Biogas-Anlagen. Zum Vergleich: Diese Biogasanlagen erzeugen zusammen doppelt so viel Energie, wie die Stadt Bitburg benötigt – inklusive Brauerei. Die Verstromung des Biogases erfolgte aufgrund der Gesetzgebung (EEG) nicht bedarfsgerecht, sondern dezentral rund um die Uhr. Auch die dabei entstehende Wärme wird nicht optimal genutzt. Im Rahmen des Projekts wurden bereits sieben Anlagen unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten durch ein eigenes Biogasnetz verbunden. Das Biogas wird zentral am Flughafen in Bitburg aufbereitet und in das Erdgasnetz eingespeist. Die Aufbereitungsanlage der neu gegründeten Biogaspartner Bitburg GmbH ist im Sommer 2020 in Betrieb gegangen.

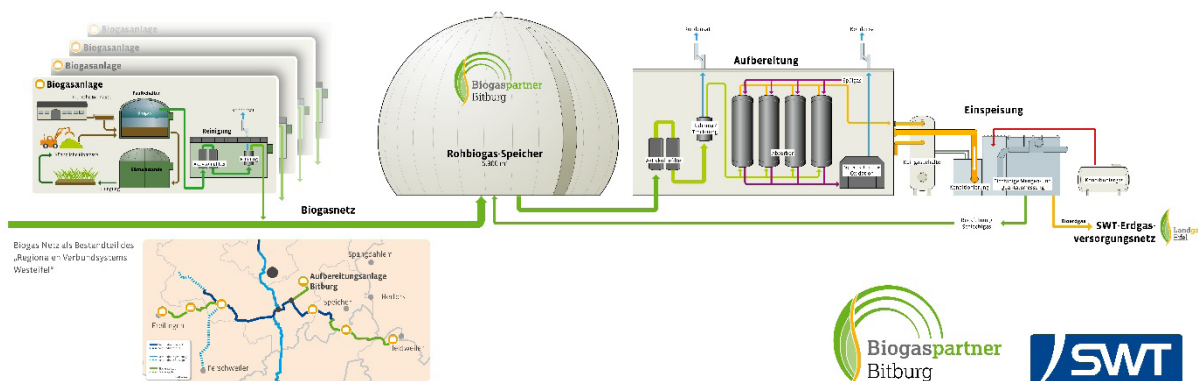


Abbildung 1: Biogasaufbereitungsanlage am Standort Bitburg.

Aktuell gibt es zwei Erdgaskonzessionäre im Projektgebiet. Eine Verbindung zwischen deren Netzen besteht nicht. Im Zuge der Entwicklung des Verbundsystems Westeifel sollen diese Erdgasnetze miteinander verbunden werden. Durch die Verbindung der vorgelagerten Erdgashochdrucknetze schafft das Projekt eine redundante Einspeisesituation, was sich ebenso positiv auf die Versorgungssicherheit auswirkt. Das Gashochdrucknetz bietet zudem eine Speichermöglichkeit im Sommer, um aufbereitetes Biomethan für die Heizperiode nutzbar zu machen. Darüber hinaus soll das aufbereitete Biomethan in gasbetriebenen

Blockheizkraftwerken, unter Nutzung energieeffizienter Kraft-Wärme-Kopplung zum Einsatz kommen. Der erzeugte Strom dient der Kompensation fehlender PV Erzeugung. Somit leistet das Projekt einen Beitrag zum übergeordneten Ziel „Klimaschutz“ unter Nutzung der regional vorhandenen Biogasressourcen.

Das Regionales Verbundprojekt Westeifel

Die Bauarbeiten für das innovative Infrastrukturprojekt laufen voll im Zeit- und Kostenplan – Geplante Fertigstellung 2023.

Das Verbundnetz ist ein bundesweit einmaliges Projekt (geplante Gesamtkosten circa 90 Millionen Euro) unter Federführung der LWE, einem Zusammenschluss von sieben kommunalen Projektpartnern. Das sind: Kommunale Netze Eifel AöR, der Eifelkreis Bitburg-Prüm – Wasserversorgung Eifelkreis Bitburg-Prüm, der Zweckverband Wasserwerk Trier-Land, der Zweckverband Wasserwerk Kylltal, die Stadt Bitburg – Eigenbetrieb Stadtwerke Bitburg, die Südeifelwerke Irrel AöR und die Verbandsgemeinde Speicher.

„Unser Ziel ist die innovative Weiterentwicklung der Infrastruktur in unserem ländlichen Raum durch eine integrierte Energie- und Wasserversorgung“, erläutert LWE-Vorstand Helfried Welsch. Zum Stand September 2022 sind etwa 90,0 km Verbundnetztrasse verlegt worden. Die Trassenlängen für die einzelnen Versorgungssparten sind: 115,3 km Trinkwasser, 133,7 km LWL, 48,0 km Biogas und 30,3 km Gas. Die Bauarbeiten laufen bislang im Zeit- und Kostenplan.



Abbildung 2: Trassenverlauf Stand 04/2022.

Wassertemperatur und Beschattung: Das Potential zusätzlicher Ufervegetation als Anpassungsmaßnahme an den klimawandelbedingten Anstieg der Fließgewässertemperaturen

Ingo Haag, Katharina Teltscher, Dirk Aigner
HYDRON Ingenieurgesellschaft für Umwelt und Wasserwirtschaft mbH, Karlsruhe

Einleitung

Die Temperatur der Fließgewässer und insbesondere die maximale sommerliche Wassertemperatur sind von zentraler gewässerökologischer Bedeutung (z. B. CAISSIE 2006; KLIWA 2016; BLFU 2018). Die sommerlichen Fließgewässertemperaturen sind im Zuge des Klimawandels bereits spürbar angestiegen und werden weiter ansteigen (z. B. HAAG 2018; BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ 2021). Während Zeiten maximaler Wassertemperaturen wird die Energiebilanz der Gewässer von der kurzwelligen Strahlung dominiert. Hohe sommerliche Wassertemperaturen sind natürlicherweise also in erster Linie durch die auf das Gewässer treffende Sonnenstrahlung bedingt. Diese kurzwellige Einstrahlung lässt sich durch die Beschattung der Fließgewässer effektiv verringern, sodass die Wassertemperaturen reduziert werden können. Dementsprechend ist die Verbesserung der Beschattung durch zusätzliche Ufervegetation eine mögliche Anpassungsmaßnahme, um der klimawandelbedingten Zunahme der maximalen Fließgewässertemperaturen entgegenzuwirken.

Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen des KLIWA-Projekts „2-Grad-Ziel für unsere Bäche“ der Frage nachgegangen, wie gut sich zusätzliche Ufervegetation und die damit einhergehende Beschattung eignet, um dem klimawandelbedingten Anstieg sommerlicher Wassertemperaturen entgegenzuwirken. Die hier vorgestellten Arbeiten wurden im Auftrag und in Zusammenarbeit mit der KLIWA AG Gewässerökologie durchgeführt (HAAG ET AL. 2022).

Grundlagen und Methoden

Bei Fließgewässern, die nicht durch Wärmeeinleitungen betroffen sind, wird die Wassertemperatur außerhalb des unmittelbaren Quellbereichs in erster Linie durch die Energiebilanz des Wasserkörpers bestimmt. Dabei spielt der Wärmeaustausch mit dem Gewässerbett in der Regel eine untergeordnete Rolle und wirkt vor allem puffernd auf Temperaturamplituden. Unter Vernachlässigung lokaler Besonderheiten kann der Energieaustausch mit der Atmosphäre somit als maßgeblich für die Entwicklung der Fließgewässertemperaturen angesehen werden (HAAG ET AL. 2022):



$$\frac{dWT}{dt} = \frac{R_k + R_l + H_l + H_f}{c_p * \rho_W * h_0}$$

mit:

R_k	[W/m ²]	kurzwellige Strahlungsbilanz
R_l	[W/m ²]	langwellige Strahlungsbilanz
H_l	[W/m ²]	turbulenter Austausch latenter Wärme
H_f	[W/m ²]	turbulenter Austausch fühlbarer Wärme
c_p	[J/kg/°C]	spezifische Wärmekapazität des Wassers
ρ_W	[kg/m ³]	Dichte des Wassers
h_0	[m]	mittlere Wassertiefe des Gewässerabschnitts

Ufervegetation beeinflusst die Energiebilanz und damit die Wassertemperatur über die kurzwellige und die langwellige Strahlungsbilanz. Abbildung 1 zeigt schematisch, wie dies in den nachfolgenden Auswertungen berücksichtigt wird. Grundsätzlich wird die Vegetation dabei in Anlehnung an LI ET AL. (2012) als Dreieck approximiert, mit dem die maßgeblichen Vegetationseigenschaften Abstand vom Ufer, Vegetationshöhe sowie Höhe und Breite des maximalen Kronenüberhangs abgebildet werden kann. Zudem werden bei Laubvegetation jahreszeitliche Unterschiede in der Belaubung und der damit einhergehenden Transmissivität berücksichtigt.

Um den Einfluss auf die kurzwellige Strahlungsbilanz korrekt zu quantifizieren, müssen der direkte und der diffuse Anteil der eingehenden Sonnenstrahlung getrennt betrachtet werden. Die Aufteilung der gesamten kurzwelligen Strahlung in ihren direkten und diffusen Anteil hängt vor allem vom Bewölkungsgrad ab und kann mithilfe empirischer Formeln zuverlässig abgeschätzt werden (MOUSAVI MALEKI ET AL. 2017). Der Schattenwurf der direkten Sonnenstrahlung hängt zum einen vom zeitlich dynamischen Sonnenstand ab (Azimut und Sonnenwinkel). Berücksichtigt man darüber hinaus die oben genannten Eigenschaften der Vegetation differenziert für beide Ufer, die Breite des Wasserspiegels und die Fließrichtung des Gewässers, so lässt sich für jeden Zeitpunkt quantifizieren, welcher Anteil der Wasseroberfläche von der direkten Strahlung abgeschattet ist (vgl. LI ET AL. 2012; HAAG ET AL. 2022). Der diffuse Anteil der Sonnenstrahlung wird hingegen näherungsweise gleichverteilt aus der gesamten Hemisphäre eingestrahlt. Für die diffuse Strahlung lässt sich die Schattenwirkung der Vegetation mittels der oben genannten Vegetationseigenschaften für einen beliebigen Punkt des Wasserspiegels berechnen. Durch Integration über die Wasserspiegelbreite erhält man die mittlere Schattenwirkung auf die diffuse Strahlung für einen Fließabschnitt (MOORE ET AL. 2013; HAAG ET AL. 2022). Hinsichtlich der langwelligen Strahlungsbilanz wird einerseits berücksichtigt, dass die atmosphärische Wärmestrahlung durch Ufervegetation in gleicher Weise abgeblockt wird wie die diffuse Sonnenstrahlung. Andererseits wird berücksichtigt, dass die Vegetation gemäß ihrer eigenen Temperatur Wärmestrahlung in Richtung Wasseroberfläche abgibt (HAAG ET AL. 2022).

Als wichtige Maßzahl für den Beschattungsgrad wird der Beschattungsindex (BI) verwendet. Dieser gibt an, welcher Anteil der (direkten und diffusen) Sonnenstrahlung auf der Wasseroberfläche ankommt. Bei komplett besonnten Gewässern beträgt der BI 1,0. Bei maximaler Beschattung durch komplett überhängende Ufervegetation kann realistischer Weise ein minimaler BI von ca. 0,15 erreicht werden (HAAG ET AL. 2022).

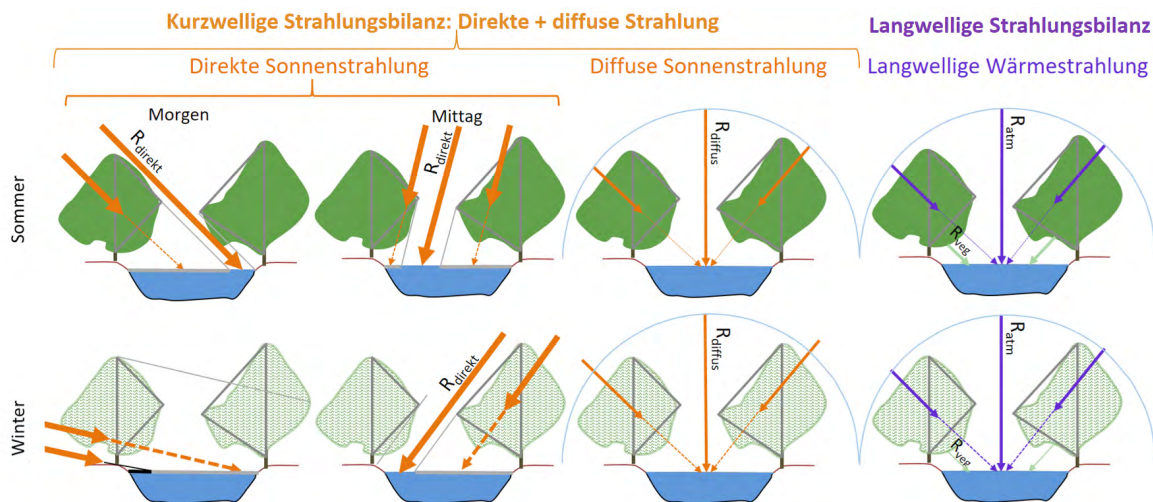


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Wirkung von Ufervegetation auf die kurzwellige und die langwellige Strahlungsbilanz.

Theoretische Analyse zur Wirkung der Ufervegetation auf Wassertemperaturen

Wirkung der Ufervegetation auf die Gleichgewichtstemperatur

Unter dem Einfluss der Energiebilanz strebt die Temperatur des Gewässers einen Gleichgewichtszustand an, bei dem die Summe aller Energiebilanzkomponenten gleich null ist. Dieser Zustand ist mit der sogenannten Gleichgewichtstemperatur (GGT) erreicht (EDINGER ET AL. 1968):

$$R_k + R_l(GGT) + H_l(GGT) + H_f(GGT) = 0$$

Die GGT repräsentiert somit jene Wassertemperatur, die theoretisch nach einer ausreichend langen Zeit unter konstanten Bedingungen erreicht wird. Sie ermöglicht eine vereinfachte Betrachtung der Wirkung der Beschattung, bei der zeitliche Aspekte zunächst außen vor bleiben. Die GGT lässt sich in Abhängigkeit der meteorologischen Bedingungen und des Beschattungsgrads implizit berechnen. Somit kann die Wirkung von Ufervegetation auf die GGT für unterschiedliche charakteristische meteorologische Bedingungen quantifiziert werden (HAAG ET AL. 2022).

Einfluss der Meteorologie und Saisonalität

Abbildung 2 zeigt schematisch, welchen Einfluss die Beschattung eines Gewässers auf die Energiebilanz und in der Folge auf die Gleichgewichtstemperatur haben kann. Die Berechnungen repräsentieren dabei Tagesmittelwerte und basieren auf charakteristischen meteorologischen Bedingungen eines 1. Augusts mit geringer Bewölkung (Zeile 1 in Tabelle 1). Zudem wird angenommen, dass die Ufervegetation eine als realistisch einzustufende Transmissivität von 15% hat und die Baumkronen über die gesamte Gewässerbreite des schmalen Bachs überhängen. Entsprechend ergibt sich ein Beschattungsindex von 0,15. Der im besonnten Zustand wichtigste positive Energiestrom, die kurzwellige Strahlung, wird durch die Ufervegetation folglich auf 15% reduziert. Infolge dessen ergeben sich auch andere Gleichgewichtszustände für die drei anderen Energiebilanzkomponenten, so wird insbesondere die Verdunstung (latente Wärme) reduziert. Als Konsequenz hieraus ergibt sich im Tagesmittel eine gegenüber dem besonnten Zustand um 6,7 °C geringere GGT. Dieser Temperaturunterschied zwischen besonntem und beschattetem Gewässer wird hier als Kühlwirkung (?T) bezeichnet.

Energiebilanz:
Steuergröße der
Wassertemperatur

Energiebilanz-Komponenten:
Tagesmittel der Komponenten
im Gleichgewichtszustand
für einen charakteristischen
1. August

Wassertemperatur:
Tagesmittel im Gleichgewicht
mit den meteorologischen
Bedingungen

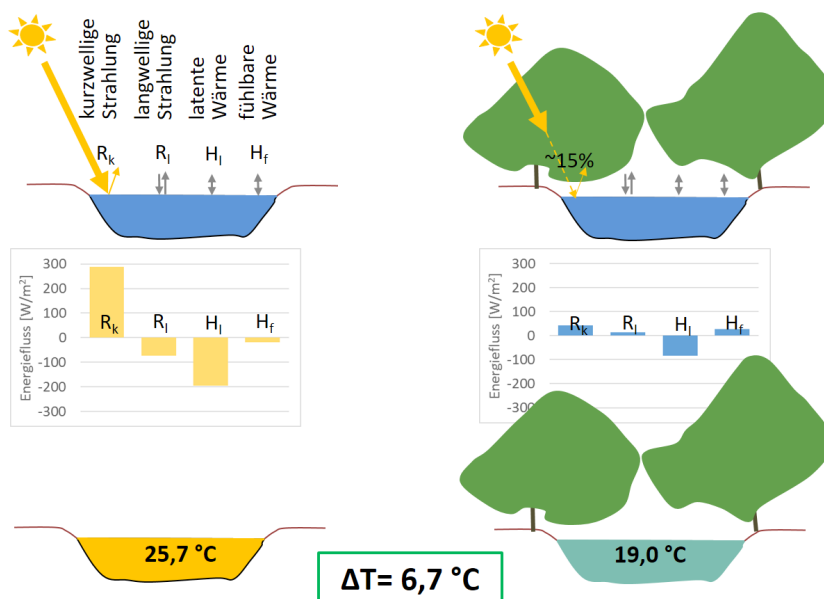


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Wirkung dichter Ufervegetation auf die Tagesmittel von Energiebilanz und Wassertemperatur eines schmalen Bachs ($BI=0,15$) unter charakteristischen meteorologischen Bedingungen eines 1. Augusts (siehe 1. Zeile in Tabelle 1).

Tabelle 1 gibt einen Überblick über Tagesmittelwerte der GGT, die sich für unterschiedliche meteorologische Bedingungen im besonnten Zustand ($BI=1,0$) und im optimal beschatteten Zustand ($BI=0,15$) ergeben. Der 1. August repräsentiert dabei einen gewässerökologisch häufig besonders kritischen Zeitraum, in dem oft Niedrigwasser und hohe Wassertemperaturen zeitgleich auftreten. Die fett gedruckte erste Zeile ist charakteristisch für die meteorologischen Bedingungen, die während Zeiträumen mit hoher Wassertemperatur Ende Juli bis Anfang August häufig auftreten. Die Variation der einzelnen meteorologischen Parameter für den 1. August zeigt wie sensitiv die GGT und die Kühlwirkung der Beschattung ($?T$) auf Unterschiede in den Parametern reagieren und in welchem Bereich GGT und $?T$ für spätsommerliche Bedingungen mit relativ hohen Wassertemperaturen variieren können. Erwartungsgemäß reagieren GGT und $?T$ besonders sensitiv auf Unterschiede in der Windgeschwindigkeit, welche wiederum die Verdunstung steuert, die der wichtigste Energieverlust während Zeiten mit hoher Wassertemperatur ist (vgl. Abbildung 2). Bei Windstille und vollständiger Besonnung können demnach an einem 1. August GGT von bis zu 30 °C erreicht werden. Die Kühlwirkung durch maximale Beschattung läge unter diesen extremen Bedingungen bei über 9 °C . Wie Tabelle 1 im Einklang mit der Analyse realer meteorologischer Jahressgänge zeigt, liegt die Kühlwirkung optimaler Beschattung für spätsommerliche Zeiten mit hohen Wassertemperaturen in der Regel aber zwischen ca. $5,5\text{ °C}$ und 7 °C (HAAG ET AL. 2022).

Zum Sonnenhöchststand am 21. Juni kann die Kühlwirkung der Beschattung aufgrund des höheren Strahlungsangebots sogar etwas höher sein als am 1. August. Im Juni sind die Wassertemperaturen in der Regel insgesamt aber noch nicht so hoch wie im Spätsommer.

Im Winter hat die Beschattung erwartungsgemäß nur geringe Auswirkungen auf die GGT. Infolge der Wärmestrahlung der Ufervegetation und deren Einfluss auf die langwellige Strahlungsbilanz kann es im Winter durch zusätzliche Ufervegetation kurzzeitig sogar zu einer geringfügigen Erhöhung der GGT kommen (siehe Beispiel für den 21.12. in Tabelle 1). In der Regel liegt das $?T$ infolge optimaler Beschattung im Winter jedoch nahe 0 °C (HAAG ET AL. 2022).

Tabelle 1: Tagesmittelwerte der Gleichgewichtstemperatur (GGT) für charakteristische meteorologische Bedingungen (49. Breitengrad) im besonnten Zustand (BI=1,0) und im beschatteten Zustand (BI=0,15) sowie resultierende Kühlwirkung (ΔT). Die Bedingungen des charakteristischen 1. Augusts, die für die Abbildungen 2 bis 5 verwendet wurden, sind fett dargestellt. Änderungen gegenüber diesem Grundzustand sind blau hervorgehoben.

Datum	Meteorologische Bedingungen				GGT [°C]		ΔT [°C]
	Bewölkung [%]	Lufttemp. [°C]	Wind [m/s]	Feuchte [%]	besonnt (BI=1,0)	beschattet (BI=0,15)	
01.08.	20	23	1,5	50	25,7	19,0	-6,7
01.08.	0	23	1,5	50	27,0	19,3	-7,7
01.08.	50	23	1,5	50	24,0	18,7	-5,3
01.08.	20	18	1,5	50	22,1	15,0	-7,1
01.08.	20	28	1,5	50	29,3	23,1	-6,2
01.08.	20	23	0,0	50	29,7	20,4	-9,3
01.08.	20	23	3,0	50	23,6	18,4	-5,2
01.08.	20	23	1,5	30	23,0	16,6	-6,4
01.08.	20	23	1,5	70	27,9	21,3	-6,6
21.06.	20	20	1,5	50	24,6	16,8	-7,8
21.12.	20	3	1,5	85	1,7	2,2	+0,5

Einfluss von Gewässerbite und Fließrichtung

In den bisherigen Analysen wurde von einer optimalen Beschattung durch Ufervegetation (BI=0,15) ausgegangen, die realistischer Weise nur für schmale Bäche erreicht werden kann, bei denen sich die Kronen der beidseitigen Ufervegetation über die gesamte Wasserspiegelbreite erstrecken. In Abbildung 3 ist dargestellt, wie die maximal erzielbare Beschattung und die daraus resultierende Kühlwirkung für den charakteristischen 1. August von der Gewässerbite und der Fließrichtung abhängen. Bei der Analyse wird von Schwarzerlen und Eschen ausgegangen, die direkt am Ufer stehen und für diese Standorte charakteristische Höhen von 15 m und Kronenüberhangbreiten von 1,5 m haben. Entsprechend wird bei beidseitiger Vegetation für Gewässerbreiten von bis zu 3 m der minimale BI von 0,15 und das maximale ΔT von -6,7 °C erreicht. Mit zunehmender Gewässerbite steigt BI naturgemäß an und die Kühlwirkung wird geringer. Dabei kann aber selbst bei einer Wasserspiegelbreite von 10 m durch typische, natürliche Ufervegetation noch eine Kühlwirkung von ca. 5 °C erzielt werden.

Bei beidseitiger Ufervegetation spielt die Fließrichtung des Gewässers nur eine untergeordnete Rolle. Bei einseitiger Vegetation am jeweiligen Südufer ergeben sich erwartungsgemäß deutliche Abhängigkeiten von der Fließrichtung. Bei einem Ost-West bzw. West-Ost fließenden Gewässer kann durch einseitige Vegetation am Südufer 80 % bis 90 % der Kühlwirkung von beidseitiger Vegetation erreicht werden.

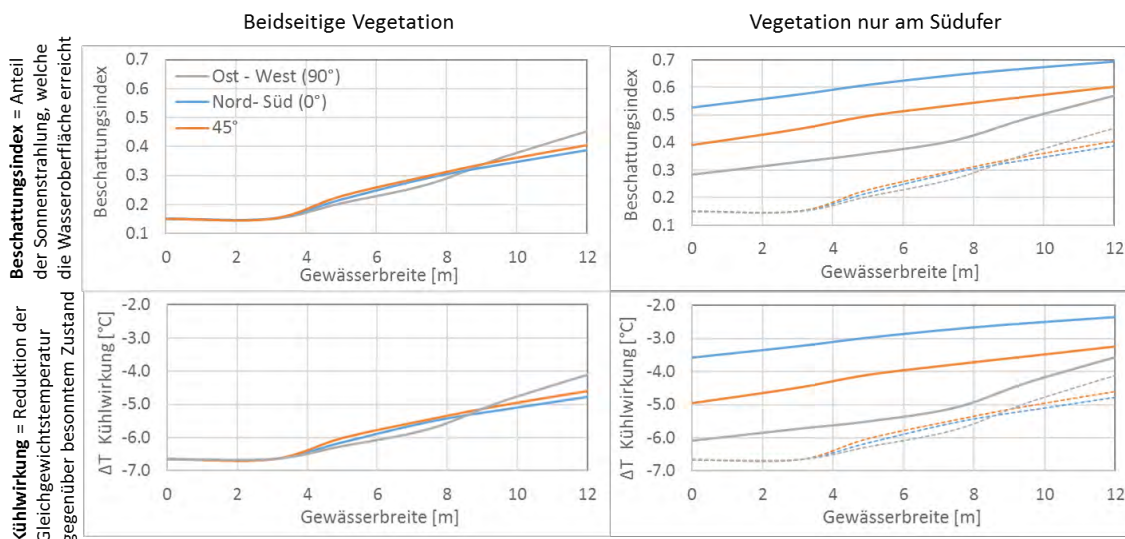


Abbildung 3: Tagesmittel des minimal erzielbaren Beschattungsindex (BI) und der maximal erzielbaren Kühlwirkung (ΔT) für unterschiedliche Fließrichtungen in Abhängigkeit von der Gewässerbreite. Links: bei beidseitiger Ufervegetation. Rechts: Bei Ufervegetation nur am südlichen Ufer. Berechnungsgrundlagen: 15 m hohe Bäume mit 1,5 m Kronenüberhang, meteorologische Bedingungen eines charakteristischen 1. Augusts (siehe 1. Zeile in Tabelle 1).

Berücksichtigung der zeitlichen Entwicklung

Im vorangegangenen Abschnitt wurde die theoretische Wirkung von Ufervegetation auf die Gleichgewichtstemperatur (GGT) betrachtet, wobei zeitliche Aspekte der Temperaturentwicklung zunächst außen vor blieben. In der Realität ist die erzielbare Kühlwirkung jedoch häufig durch die Länge der Fließstrecke begrenzt, auf der zusätzliche Ufervegetation gepflanzt werden kann. Abbildung 4 veranschaulicht daher die Längsentwicklung der Wassertemperatur infolge von Beschattung an einem charakteristischen 1. August für Fließgewässer mit unterschiedlichen Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten. Es wird davon ausgegangen, dass das Wasser mit der GGT für komplette Besonnung ($25,7\text{ }^{\circ}\text{C}$) in die optimal beschattete Strecke ($BI=0,15$; $GGT=19,0\text{ }^{\circ}\text{C}$) eintritt.

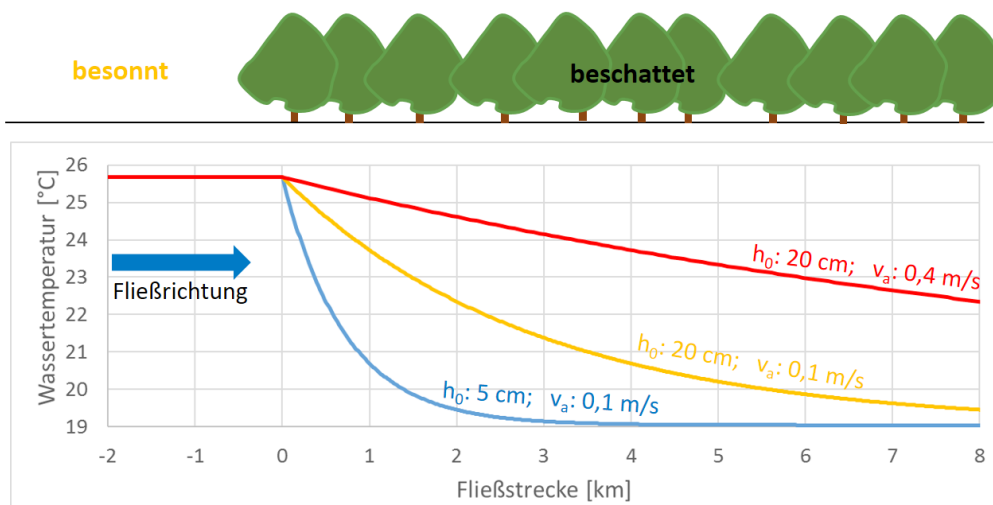


Abbildung 4: Längsverlauf der Wassertemperatur (Tagesmittel) nach dem Übergang von einem besonnten zu einem maximal beschatteten ($BI=0,15$) Gewässerabschnitt für unterschiedliche Wassertiefen (h_0) und Fließgeschwindigkeiten (v_a).

Abbildung 4 verdeutlicht den exponentiellen Verlauf der Abkühlung. Folglich können bei stark erhöhten Wassertemperaturen (z. B. infolge von voll besonnten Strecken oder von Wärmeeinleitungen) auf relativ kurzen beschatteten Strecken bereits deutliche Kühlwirkungen erzielt werden. Dabei ist die Fließstrecke, die für eine bestimmte Kühlwirkung benötigt wird, umso kürzer, je flacher das Gewässer ist. Umgekehrt steigt die für eine bestimmte Kühlwirkung notwendige Fließstrecke mit der Fließgeschwindigkeit infolge der verkürzten Aufenthaltszeit an. Bei einer gegebenen Fließstrecke kann die stärkste Kühlwirkung durch Beschattung somit in flachen und zugleich langsam fließenden Abschnitten erzielt werden.

Abschätzung des lokalen Kühlpotentials zusätzlicher Ufervegetation

Durch eine Weiterentwicklung der grundlegenden Arbeiten von EDINGER ET AL. (1968) können die unterschiedlichen Einflussfaktoren inklusive des zeitlichen Aspekts in eine Gleichung integriert werden. Diese ermöglicht es, die durch zusätzliche Beschattung lokal zu erwartende Kühlwirkung ($\Delta T(t)$) unter den charakteristischen Bedingungen des 1. Augusts rechnerisch abzuschätzen. Als Eingangsgrößen werden die mittlere Wassertiefe bei sommerlichem Niedrigwasser (h_0), die Veränderung der Beschattung (ΔBI) sowie die verfügbare Fließstrecke und die mittlere Fließgeschwindigkeit bei sommerlichem Niedrigwasser benötigt. Aus ΔBI ergibt sich der Unterschied in der Gleichgewichtstemperatur (ΔGGT). Aus Fließstrecke und -geschwindigkeit wird die Aufenthaltszeit (t) abgeleitet (Details siehe HAAG ET AL. 2022):

$$\Delta T(t) = \Delta GGT \cdot \left[1 - \exp\left(c \cdot \frac{t}{h_0}\right) \right]$$

mit:

c [m/s] Thermische Änderungsrate für die Bedingungen des charakteristischen 1. Augusts

$c = -6,95 \cdot 10^{-6}$ m/s

Die Ergebnisse der Gleichung lassen sich in Form des in Abbildung 5 dargestellten Nomogramms zusammenfassen. Um die Anwendung zu veranschaulichen, gehen wir von einem 3 m breiten Bach mit der Fließrichtung Ost-West aus, der zurzeit vollständig besonnt ist. Nur das Südufer des Bachs soll mit standorttypischen Bäumen bepflanzt werden (15 m hohe dicht stehende Erlen). Hieraus ergibt sich ein ΔBI von -0,67 und folglich ein ΔGGT von -5,7 °C (siehe Abbildung 3). Für die Maßnahme steht eine Fließstrecke von 1 km zur Verfügung. Bei Niedrigwasser beträgt die mittlere Wassertiefe 10 cm (0,1 m) und die mittlere Fließgeschwindigkeit 10 cm/s (0,1 m/s). Hieraus ergibt sich eine Aufenthaltszeit von 10.000 s (ca. 2,8 h) und der Quotient von Aufenthaltszeit und Wassertiefe zu ca. 0,28 Stunden/cm. Durch die Anwendung der Gleichung ergibt sich eine für die Strecke zu erwartende lokale Kühlwirkung von -2,9 °C, die sich auch aus dem Nomogramm ablesen lässt. Hätte man für die Beschattungsmaßnahme am Südufer nur eine Strecke von 500 m zur Verfügung, läge die zu erwartende Kühlwirkung noch bei -1,7 °C. Wäre die Beschattungstrecke am Südufer 3 km lang, könnte man von -5 °C Kühlwirkung ausgehen.

Die Gleichung oder das Nomogramm können als Grundlage für die Planung von Beschattungsmaßnahmen dienen. Die Validität der rechnerischen Abschätzungen konnte durch den Vergleich mit experimentellen Ergebnissen aus der Literatur bestätigt werden (HAAG ET AL. 2022). Dennoch ist bei der Anwendung selbstverständlich zu beachten, dass es sich lediglich um pauschalisierte rechnerische Abschätzungen für die zu erwartende Wirkung bei charakteristischen spätsommerlichen Hochtemperaturphasen handelt (vgl. z. B. Tabelle 1).

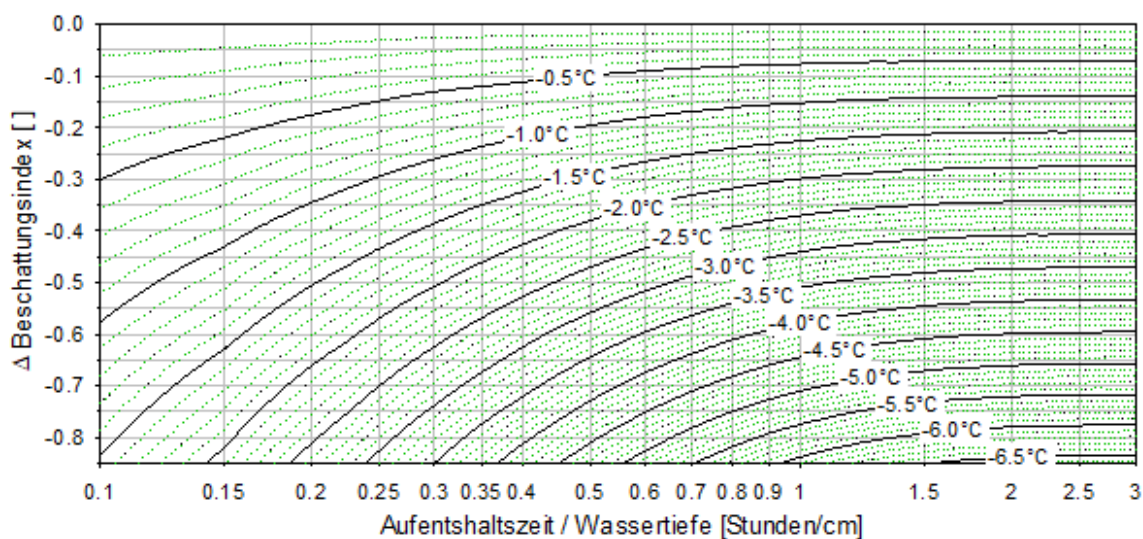


Abbildung 5: Tagesmittel der zu erwartenden Kühlwirkung (ΔT [°C]) als Funktion der Veränderung des Beschattungsindex und dem Quotienten aus Fließzeit und Wassertiefe für meteorologische Bedingungen eines charakteristischen 1. Augusts (siehe 1. Zeile in Tabelle 1).

Großräumige Potentialanalysen für Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg mit LARSIM

Modellgrundlagen

Das hydrologische Modell LARSIM wird als ereignisbasiertes Niederschlags-Abfluss-Modell (NA) und vor allem als kontinuierliches Wasserhaushaltsmodell (WHM) für zahlreiche wasserwirtschaftliche Fragestellungen genutzt (z. B. BREMICKER ET AL. 2013; LEG 2022). Zudem wurde LARSIM bereits 2004 zu einem integrierten Wasserhaushalts- und Wassertemperaturmodell erweitert (LARSIM-WT) (HAAG ET AL. 2005). Mit LARSIM-WT wird in einem Rechenlauf sowohl der Wasserhaushalt und der resultierende Abfluss wie auch die Wassertemperatur der Fließgewässer kontinuierlich simuliert. Das physikalisch basierte Wassertemperaturmodell von LARSIM-WT ist in HAAG & LUCE (2008) detailliert beschrieben. Zur Quantifizierung der Energiebilanz wird der in Abschnitt 2 erläuterte Energieaustausch mit der Atmosphäre sowie zusätzlich der Wärmeaustausch mit dem Gewässerbett betrachtet. Darüber hinaus können lokale Wärmequellen (Einleitungen) berücksichtigt werden. Der Transport des Wärmeinhalts wird mit einem 1D Advektions-Dispersions-Ansatz simuliert, sodass für jeden im Modell abgebildeten Gewässerabschnitt eine kontinuierliche Wassertemperaturanglinie simuliert wird (HAAG & LUCE 2008).

Das LARSIM-Wassertemperaturmodell wurde zunächst zur Vorhersage der Wassertemperaturen (vor allem in von Einleitungen beeinflussten Flüssen) entwickelt und wird seit über 15 Jahren erfolgreich zur kombinierten operationellen Vorhersage von Abfluss und Wassertemperatur eingesetzt (z. B. HAAG ET AL. 2005; KREMER & BRAHMER 2013). Darüber hinaus wird LARSIM-WT auch für Bemessungs- und Genehmigungsaufgaben im Zusammenhang mit Wärmeeinleitern, zur Klimafolgenforschung und in anderen Bereichen der angewandten Forschung eingesetzt (z. B. BADDE ET AL. 2014; HAAG 2018; ISHIKAWA ET AL. 2021).

Bislang wurde die Wirkung der Beschattung mit einem relativ einfachen, pauschalen Ansatz im LARSIM-Wassertemperaturmodell berücksichtigt (SINOKROT & STEFAN 1993; HAAG & LUCE 2008). Um die komplexe, räumlich und zeitlich dynamische Wirkung der Beschattung durch Ufervegetation wirklichkeitsnah abzubilden, wurde das Modul im Rahmen des KLIWA-Projekts „2-Grad-Ziel für unsere Bäche“

umfassend erweitert. Hierdurch ist es nun möglich, die Einflüsse von Ufervegetation (und Uferböschung) auf die kurzweilige und langweilige Strahlungsbilanz mit den in Abschnitt 2 kurz beschriebenen Ansätzen zeitlich und räumlich detailliert abzubilden. Die physikalischen und mathematischen Grundlagen, die im Wesentlichen eine Kombination und Erweiterung der Ansätze von LI ET AL. (2012) und MOORE ET AL. (2013) darstellen, sind in HAAG ET AL. (2022) ausführlich beschrieben.

Ist-Zustand von Beschattung und Wassertemperaturen

Für die Bundesländer Baden-Württemberg, Hessen und Rheinland-Pfalz liegen flächendeckende LARSIM-WT-Modelle vor. Für Bayern liegt ein entsprechendes LARSIM-WT-Modell bislang nur für den Main vor. Für die Landesflächen von Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz erfolgte eine Fortschreibung der tageswertbasierten LARSIM-WT-Modelle mit dem weiterentwickelten Beschattungsmodul. Für Hessen wurde ein alternativer Weg verfolgt, der in HAAG ET AL. (2022) beschrieben ist, auf den hier aber nicht weiter eingegangen wird.

Um die Ufervegetation entlang der rheinland-pfälzischen und baden-württembergischen Fließgewässer abzubilden, wurde auf die flächendeckend vorliegenden Gewässerstrukturkartierungen zurückgegriffen. Die Auswertung von Fernerkundungsdaten und insbesondere von Laserscan-Befliegungen böte eine alternative und vermutlich genauere Methodik zur Ableitung der Vegetationsparameter. So wurden solche Ansätze mit LARSIM-WT erfolgreich für die Rems in Baden-Württemberg getestet (MOSER 2022). Allerdings liegen derzeit noch keine belastbaren flächendeckenden aus Laserscan-Daten abgeleiteten Datensätze zur Ufervegetation vor. Deshalb wurden im vorliegenden Projekt die etablierten und flächendeckend verfügbaren Daten aus der Gewässerstrukturkartierung genutzt.

In einem iterativen Prozess wurden Schlüssel entwickelt, mit denen die Angaben zu Uferbewuchs und Gewässerrandstreifen aus der Gewässerstrukturkartierung in quantitative Angaben zur Art der Vegetation (Laubbäume, Nadelbäume, Röhricht, ...), deren Abstand vom Ufer und deren Dichte übersetzt wurden. Für die einzelnen Vegetationsgruppen wurden auf der Basis von Literaturangaben realistische Annahmen zu charakteristischen Eigenschaften und jahreszeitlichen Entwicklungen getroffen. So wurde für Laubbäume beispielsweise von 15 m Höhe und 1,5 m Kronenradius ausgegangen und ein charakteristischer phänologischer Jahresgang für Blattaustrieb, volle Belaubung und Blattfall angesetzt. Das Vorgehen wurde durch stichprobenhafte Vergleiche mit Luftbildern und testweise Simulationen überprüft und iterativ verbessert. Letztlich wurde ein nach linkem und rechtem Ufer differenzierter Datensatz erzeugt, der die für die Beschattung wesentlichen Merkmale der Ufervegetation enthält. Dieser Datensatz wurde in der vorhanden räumlichen Auflösung (in der Regel 100 m Abschnitte) in die LARSIM-Modelldaten integriert (HAAG ET AL. 2022).

Hierbei ist selbstverständlich zu beachten, dass das Vorgehen Unsicherheiten enthält, die vor allem bei kleinräumigen Detailvergleichen deutlich werden. Auf der Skala einer landesweiten Betrachtung erscheint die Genauigkeit und Aussagekraft der aus der Gewässerstrukturkartierung abgeleiteten Daten aber ausreichend. Nichtsdestotrotz ist es wünschenswert, die Abbildung der Ufervegetation (und der Böschungen) zukünftig z. B. durch die Auswertung von Fernerkundungsdaten weiter zu verbessern (MOSER 2022).

Mit den für LARSIM aufbereiteten Vegetationsdaten wurde für alle Gewässerabschnitte unter zusätzlicher Berücksichtigung von Gewässerbreite, Fließrichtung und geographischer Breite der Beschattungsindex (BI) für einen 1. August mit 20 % Bewölkung ermittelt. Abbildung 6 (Karte oben links) zeigt den so ermittelten Ist-Zustand der Gewässerbeschattung am Beispiel von Rheinland-Pfalz. In den waldreichen Mittelgebirgen gibt es demnach zahlreiche Bäche, die aufgrund dichter Ufervegetation und geringer Breite sehr gut beschattet sind (kleine BI-Werte). Am anderen Ende der Beschattungsskala fallen z. B. Mosel und Saar durch hohe BI-Werte (geringe Beschattung) auf, was auf die große Breite dieser Flüsse zurückzuführen ist. Daneben gibt es aber z. B. in der Oberrheinebene zahlreiche kleine, schmale und somit theoretisch gut beschattbare Fließgewässer mit aktuell geringer Beschattung. In diesen Fällen ist die schlechte Beschattung auf fehlende Ufervegetation zurückzuführen.

In Baden-Württemberg ergibt sich ein ähnliches Bild (nicht dargestellt). Kleinere und mittlere Gewässer im Hoch- und Nordschwarzwald sind häufig gut beschattet. Der stauregulierte Neckar ist aufgrund seiner Breite naturgemäß nicht beschattet. Vor allem in landwirtschaftlich intensiv genutzten Regionen wie der Oberrheinebene finden sich jedoch auch zahlreiche kleinere Gewässer die mangels Ufervegetation kaum beschattet sind.

Mit den in LARSIM implementierten Vegetationsdaten wird innerhalb der Modelle ebenfalls unter Berücksichtigung von Gewässerbreite, Fließrichtung und geographischer Breite für den jeweils aktuellen Sonnenstand und die tatsächliche Meteorologie die Beschattung zeitlich dynamisch berechnet. Diese dynamisch berechnete Beschattung wird in der kurzwelligen und langwelligen Strahlungsbilanz und somit in der Simulation der Wassertemperatur berücksichtigt. Die entsprechend fortgeschriebenen LARSIM-WT-Modelle wurden anhand von insgesamt 236 Wassertemperaturmessstellen in Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz angepasst und validiert. Die Anpassung des physikalisch basierten Wassertemperaturmoduls erfolgt dabei mit nur einem Parameter, der modelltechnisch bedingte Unsicherheiten in der Wassertiefe und der Fließgeschwindigkeit ausgleicht. Die aus der Gewässerstrukturkartierung abgeleitete Parametrisierung der Ufervegetation wird durch diese Modellanpassung nicht beeinflusst.

Es ist zu beachten, dass Kläranlageneinleitungen mit ihrer Wirkung auf Abfluss und Wassertemperatur in den Modellen in vereinfachter Weise berücksichtigt sind. Andere punktuelle Wärmeleiter wie Papierfabriken oder Kraftwerke werden in den hier vorliegenden Simulationen aber nicht berücksichtigt. Die dargestellten Simulationen repräsentieren somit einen quasi-natürlichen Zustand ohne den Einfluss direkter Wärmeleiter.

Die mittlere Abweichung zwischen Messwerten und Simulationen liegt bei ca. 1 °C, der mittlere Bias bei ca. -0,1 °C. Auch bei Betrachtung der einzelnen Messstellen wurden in den allermeisten Fällen gute Ergebnisse erzielt. Größere systematische Abweichungen (Unterschätzungen) konnten in der Regel auf (nicht berücksichtigte) Wärmeleiter zurückgeführt werden. Diese sind auch für den leichten Bias von -0,1 °C im Mittel über alle Messstellen verantwortlich (Haag et al. 2022).

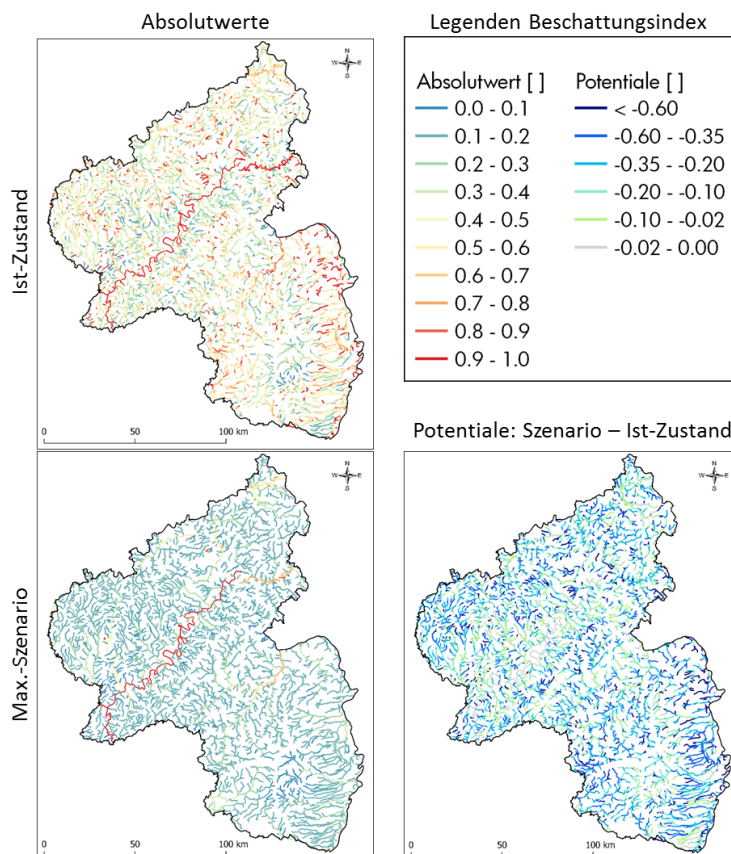


Abbildung 6: Beschattungsindex (BI) für die Fließgewässer in Rheinland-Pfalz, im Ist-Zustand (links oben) und im Max.-Szenario (links unten) sowie Potential für zusätzliche Beschattung (rechts unten).

Mit den fortgeschriebenen tageswertbasierten Modellen wurde die Wassertemperaturentwicklung für den Zeitraum 2002 bis 2010 berechnet. Auf Basis der Berechnungsergebnisse wurden unterschiedliche Wassertemperatur-Kennwerte und kombinierte Abfluss-Wassertemperatur-Kennwerte für ca. 16.500 Gewässerabschnitte in den beiden Bundesländern ermittelt, die den ökologischen Ist-Zustand der Gewässer charakterisieren (Haag et al. 2022). Im vorliegenden Beitrag wird ausschließlich auf das maximale Tagesmittel der Wassertemperatur im Jahr 2003 als ein leicht verständliches Beispiel für diese Kennwerte eingegangen.

Abbildung 7 (Karte oben links) zeigt exemplarisch das simulierte maximale Tagesmittel der Wassertemperatur in Baden-Württemberg für das Jahr 2003 und den Ist-Zustand der Beschattung. Dabei zeigen sich auf der einen Seite recht kühle Gewässerabschnitte für kleine (und gut beschattete) Gewässer vor allem im Schwarzwald. Auf der anderen Seite fällt der staugeregelte Neckar durch hohe Maximaltemperaturen (ohne Wärmeeinleitungen) auf. Dies ist auf die infolge der großen Breite nicht vorhandene Beschattung und die langen Aufenthaltszeiten in den Flusstauhaltungen zurückzuführen. Daneben weisen aber auch zahlreiche kleinere und theoretisch gut beschattbare Gewässer (z. B. in der Oberrheinebene) hohe Wassertemperaturmaxima auf. Genauere Analysen in HAAG ET AL. (2022) verdeutlichen, dass dies vor allem auf mangelnde Ufervegetation und folglich schlechte Beschattung zurückzuführen ist.

Für Reinland-Pfalz ergibt sich ein ähnliches Bild (nicht dargestellt). Auch hier ergeben sich für gut beschattete Bäche und kleine Flüsse vor allem in den Mittelgebirgen geringe bis moderate Maximaltemperaturen. In den großen (nicht beschattbaren) Flüssen und in kleineren Gewässern mit wenig Ufervegetation (z. B. in der Oberrheinebene) ergeben sich hingegen erwartungsgemäß die höchsten Wassertemperaturen.

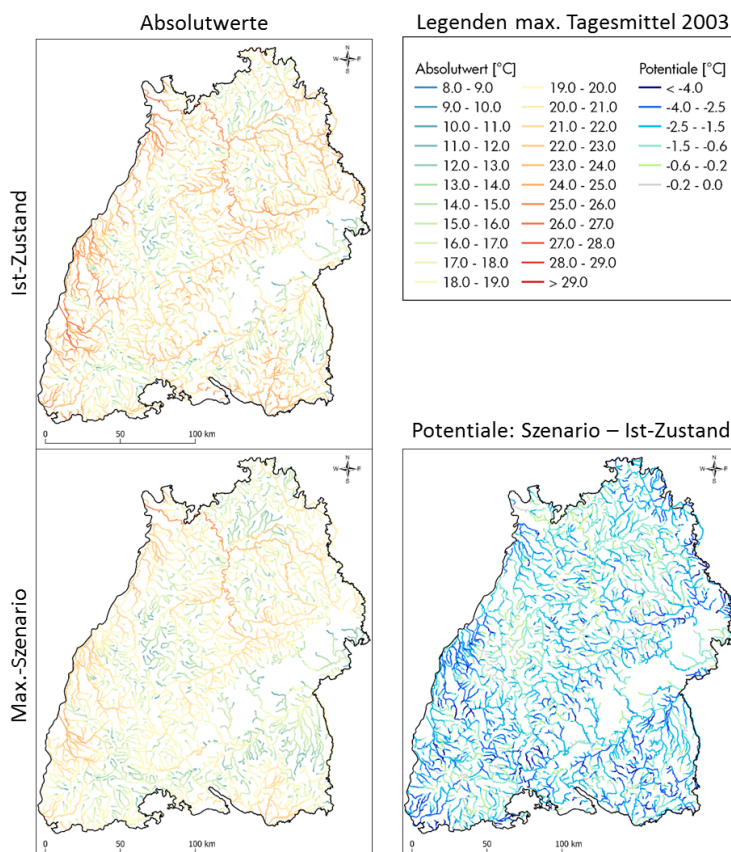


Abbildung 7: Simulierte Maxima der Wassertemperaturen (Tagesmittelwerte) im Jahr 2003 für Baden-Württemberg, für den Ist-Zustand der Beschattung (links oben) und das Max.-Szenario der Beschattung (links unten) sowie Potential zur Reduktion der Wassertemperaturen (rechts unten).

Szenarien und Potentiale

Um das großräumige Potential zusätzlicher Ufervegetation zur Reduktion sommerlicher Wassertemperaturen bewerten zu können, wurden in HAAG ET AL. (2022) zwei Beschattungsszenarien definiert. Nachfolgend wird nur auf das sogenannte Max.-Szenario eingegangen. Bei diesem Szenario wird davon ausgegangen, dass alle Fließgewässer an beiden Ufern durchgängig mit dichter Laubbaumvegetation bestanden sind. Insofern zeigt das Szenario auf, welche Beschattungs- und Wassertemperatureffekte durch zusätzliche Ufervegetation maximal erreicht werden könnten. Dabei ist es wichtig anzumerken, dass eine komplette durchgängige Beschattung aller Fließgewässer („Grünverrohrung“) aus gewässerökologischer Sicht in der Regel nicht wünschenswert ist. Das Max.-Szenario stellt also keinen gewässerökologischen Zielzustand dar.

Abbildung 6 (Karte unten links) zeigt den durch das Max.-Szenario theoretisch erreichbaren Beschattungsindex für Rheinland-Pfalz. Die Karte rechts unten, zeigt die Differenz des BI zwischen Max.-Szenario und Ist-Zustand. Diese Differenz stellt das Potential für zusätzliche Beschattung durch Ufervegetation unter Berücksichtigung der bereits vorhandenen Ufervegetation und der sonstigen Randbedingungen (Gewässerbreite, Fließrichtung, geographische Breite) dar.

Die BI-Karte für das Max.-Szenario (links unten) gibt einen Eindruck davon, wie gut die Gewässer aufgrund ihrer Breite überhaupt durch Ufervegetation beschattet werden können. So können Mosel und Saar aufgrund ihrer großen Breite kaum durch Ufervegetation beschattet werden. Auch für die Lahn, den Unterlauf der Nahe sowie die Sieg ist die maximale Beschattung durch Ufervegetation durch die Gewässerbreite begrenzt ($BI > 0,5$). Im Gegensatz hierzu werden im Max.-Szenario für fast alle kleineren Gewässer (Bäche) BI-Werte $< 0,2$ erreicht. Für größere Bäche und kleinere Flüsse sind durch die maximale Beschattung in der Regel BI-Werte zwischen 0,2 und 0,4 möglich. Für die allermeisten Gewässer in Rheinland-Pfalz könnten also eine hohe bis sehr hohe Beschattung mit BI-Werten unter 0,4 erreicht werden.

Die Potential-Karte (rechts unten) zeigt, dass sich für die sehr breiten Gewässer sowie für die bereits im Ist-Zustand gut beschatteten Gewässer naturgemäß ein geringes zusätzliches Beschattungspotential ergibt. Für den allergrößten Teil der Gewässerabschnitte ist das theoretische zusätzliche Beschattungspotential aber größer als -0,1. Sehr hohes zusätzliches Beschattungspotential (mit einer Reduktion von BI um mehr als 0,6) ergibt sich vor allem für Gewässer in der Oberrheinebene, aber auch in zahlreichen anderen Gewässerabschnitten im ganzen Land.

Für Baden-Württemberg ergibt sich hinsichtlich der maximalen Beschattung und des theoretischen Beschattungspotentials ein ähnliches Bild (nicht dargestellt). Zahlreiche Bäche und kleine Flüsse in landwirtschaftlich intensiv genutzten Regionen (z. B. Oberrheinebene) weisen ein hohes Potential zur Verbesserung der Beschattung durch zusätzliche Ufervegetation auf.

Abbildung 7 (Karte unten links) zeigt exemplarisch, welche maximale Wassertemperaturen in Baden-Württemberg 2003 unter den Bedingungen des Max.-Szenarios aufgetreten wären. Die Karte rechts unten zeigt die Differenz zwischen dem Max.-Szenario und dem Ist-Zustand. Diese Differenz steht für das Potential zur Reduktion der maximalen Wassertemperatur durch zusätzliche Ufervegetation, wobei bereits vorhandene Ufervegetation und sonstige Randbedingungen (Gewässerbreite, Fließrichtung, geographische Breite) mitberücksichtigt sind.

Für einige kleinere Gewässer, die im Ist-Zustand bereits gut beschattet sind (z. B. im Nordschwarzwald), ergibt sich durch das maximale Beschattungsszenario naturgemäß kein oder nur ein sehr geringes Potential die maximalen Wassertemperaturen durch zusätzliche Ufervegetation weiter zu senken. Diese Gewässer weisen aber auch im Ist-Zustand in der Regel keine kritisch hohen Wassertemperaturen auf, sodass hier auch kaum Bedarf zur Temperaturreduktion besteht.

Für den staugeregelten Neckar ergeben sich überwiegend Reduktionspotentiale von $-0,2\text{ °C}$ bis $-0,6\text{ °C}$, wenngleich der Fluss selbst durch Ufervegetation kaum beschattbar ist. Das kleine Reduktionspotential für den staugeregelten Neckar ist vielmehr auf die kühleren Zuflüsse zurückzuführen. Die Wirkung der kühleren Zuflüsse wird im Neckar selbst aber aufgrund der langen Aufenthaltszeiten in den Stauhaltungen rasch auf kleine Effekte reduziert.

In den meisten Gewässerabschnitten des Landes, einschließlich kleiner und mittlerer Flüsse, gibt es jedoch ein spürbares Kühlpotential durch zusätzliche Ufervegetation. Insbesondere in der Oberrheinebene aber auch in zahlreichen anderen Regionen ergeben sich häufig Kühlpotentiale von mehr als $-2,5\text{ °C}$ in einigen Gewässerabschnitten sogar von mehr als -4 °C . Eine genauere Analyse in HAAG ET AL. (2022) verdeutlicht, dass ein hohes Potential zur Reduktion sommerlicher Wassertemperaturen durch zusätzliche Ufervegetation in der Regel dort vorliegt, wo im Ist-Zustand ökologisch kritische Wassertemperaturen besonders häufig überschritten werden. Dort wo die Reduktion sommerlicher Wassertemperaturen am notwendigsten ist, ist das entsprechende Potential in der Regel auch vorhanden.

Für Rheinland-Pfalz ergibt sich ein ähnliches Bild wie für Baden-Württemberg (nicht dargestellt). Vor allem in den Bächen und kleinen Flüssen, in denen im Ist-Zustand kritisch hohe Wassertemperaturen auftreten, ließen sich diese durch zusätzliche Ufervegetation in der Regel spürbar reduzieren.

Insgesamt zeigt das maximale Beschattungsszenario auf, dass zusätzliche Ufervegetation gut geeignet wäre, um hohe sommerliche Wassertemperaturen in vielen Bächen und kleinen Flüssen spürbar zu reduzieren. Dabei ist zu beachten, dass „Grünverrohrung“ nicht dem gewässerökologischen Zielzustand entspricht und das hier dargestellte Max.-Szenario daher nur die theoretisch maximale Wirkung zusätzlicher Ufervegetation auf die Wassertemperaturen darstellt. Gerade für viele Gewässer mit derzeit kritisch hohen sommerlichen Wassertemperaturen könnte aber auch durch eine geringere Dichte der Ufervegetation bereits ein deutlich spürbarer Effekt erzielt werden (siehe HAAG ET AL. 2022).

Fazit und Empfehlungen

Die theoretische Untersuchung des Wärmehaushalts von Fließgewässern verdeutlicht, dass die Beschattung durch Ufervegetation zu einer starken Reduktion der sommerlichen Wassertemperaturen beitragen kann. Großräumige Analysen für Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz zeigen, dass gerade in intensiv genutzten Gebieten ein erhebliches Potential zur verbesserten Beschattung von Bächen und kleinen Flüssen durch Ufervegetation besteht. Durch diese zusätzliche Ufervegetation könnte vielerorts eine spürbare Reduktion der sommerlichen Wassertemperaturen erreicht werden. Die stärksten Effekte sind dabei für jene Bäche und kleinen Flüsse zu erwarten, in denen im aktuellen Zustand kritisch hohe Wassertemperaturen auftreten.

Die verbesserte Beschattung durch zusätzliche Ufervegetation ist also eine effektive Anpassungsmaßnahme, um dem klimawandelbedingten Anstieg der sommerlichen Wassertemperaturen und den damit einhergehenden negativen ökologischen Folgen in unseren Bächen und kleinen Flüssen entgegenzuwirken. Im Sinne der Klima- und Niedrigwasserresilienz dieser Fließgewässer erscheint es also grundsätzlich wünschenswert, die Beschattung durch Ufervegetation zu verbessern.

Die auf Basis der physikalischen Grundlagen entwickelten Methoden zur theoretischen Analyse können auch zur Abschätzung der lokalen Wirkung von Beschattungsmaßnahmen verwendet werden und bilden somit die Grundlage für konkrete Praxisleitfäden zur Umsetzung von Beschattungsmaßnahmen. Neben spezifischen Maßnahmen zur besseren Beschattung von Gewässern sollte die ausreichende Beschattung grundsätzlich bei allen Maßnahmen an kleineren und mittleren Gewässern inklusive der Gewässerpflege immer mitberücksichtigt werden. Sofern die Möglichkeit besteht, sollten dabei insbesondere flache und zugleich langsam fließende Gewässerabschnitte beschattet werden, da hier die kürzesten Strecken zum Erzielen spürbarer Effekte notwendig sind.



Die mit LARSIM-WT durchgeführten großräumigen Analysen zeigen grundsätzlich auf, wo der Bedarf für die Reduktion sommerlicher Wassertemperaturen am größten ist und wo das entsprechende Potential vorhanden ist. Die Ergebnisse der großräumigen Potentialanalysen können die Grundlage für weitere Planungen und eine Priorisierung von Beschattungsmaßnahmen sein. Dabei ist selbstverständlich zu beachten, dass die landesweiten Analysen mit lokalen Unsicherheiten behaftet sind. Für konkrete lokale oder regionale Planungen empfiehlt es sich daher, nochmals detailliertere Analysen bzw. Modellierungen durchzuführen.

Literatur

- BADDE, U., BERGFELD-WIEDEMANN, T., BODERIE, P., BRAHMER, G., DEMUTH, N., HAAG, I. & KRAHE, P. (2014): Estimation of the effects of climate change scenarios on future Rhine water temperature development. International Commission for the Protection of the Rhine (ICPR), Koblenz.
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2021): Klima-Report Bayern 2021.
- BLFU – BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2018): Klimawandel – Auswirkungen auf die Gewässerökologie. Abrufbar unter: www.lfu.bayern.de/wasser/klima_wandel/auswirkungen/gewaesseroekologie/index.htm.
- BREMICKER, M., BRAHMER, G., DEMUTH, N., HOLLE, F.-K. & HAAG, I. (2013): Räumlich hoch aufgelöste LARSIM Wasserhaushaltsmodelle für die Hochwasservorhersage und weitere Anwendungen. KW Korrespondenz Wasserwirtschaft, 2013/6(9)/2013, S. 509–514.
- CAISSIE, D. (2006): The thermal regime of rivers: a review. *Freshwater Biology* 51, 8/2006, S. 1389–1406.
- EDINGER, J. E., DUTTWEILER, D. W. & GEYER, J. C. (1968): The Response of Water Temperatures to Meteorological Conditions. *Water Resources Research* 4, 5/1968, S. 1137–1143.
- HAAG, I., LUCE, A. & BADDE, U. (2005): Ein operationelles Vorhersagemodell für die Wassertemperatur im Neckar. *Wasserwirtschaft* 7/8, 2005, S. 45–50.
- HAAG, I. & LUCE, A. (2008): The integrated water balance and water temperature model LARSIM-WT. *Hydrological Processes* 22, 7/2008, S. 1046–1056.
- HAAG, I. (2018): Regionalisierung und Simulation der Wassertemperatur – Ergebnisse und Bewertungen. In: *Fachvorträge Risiko Klima – Herausforderungen managen*. 6. KLIWA-Symposium am 22. und 23. Mai 2017 in Baden-Baden, S. 120–132.
- HAAG, I., TELTSCHER, K., REGENAUER, J. & AIGNER, D. (2022): Zwei-Grad-Ziel für unsere Bäche – Wassertemperatur und Beschattung. Abschlussbericht der HYDRON GmbH im Auftrag der KLIWA AG Gewässerökologie.
- ISHIKAWA, M., HAAG, I., KRUMM, J., TELTSCHER, K. & LORKE, A. (2021): The effect of stream shading on the inflow characteristics in a downstream reservoir. *River Research and Applications* 37, 7/2021, S. 943–954.
- KLIWA – ARBEITSKREIS KLIWA (2016): Ableitung von Temperaturpräferenzen des Makrozoobenthos für die Entwicklung eines Verfahrens zur Indikation biozönotischer Wirkungen des Klimawandels in Fließgewässern. *KLIWA-Berichte*, 20/2016.
- KREMER, M. & BRAHMER, G. (2013): Simulation und Vorhersage von Wassertemperaturen an hessischen Fließgewässern. *Jahresbericht 2012 des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie, Wiesbaden*, S. 31 – 38.

- LEG – LARSIM-ENTWICKLERGEMEINSCHAFT (2022): Das Wasserhaushaltsmodell LARSIM. Modellgrundlagen und Anwendungsbeispiele. Abrufbar unter <https://larsim.info/>.
- LI, G., JACKSON, C. R. & KRASESKI, K. A. (2012): Modeled riparian stream shading: Agreement with field measurements and sensitivity to riparian conditions. *Journal of Hydrology* 428-429, 4/2012, S. 142–151.
- MOORE, R. D., LEACH, J. A. & KNUDSON, J. M. (2013): Geometric calculation of view factors for stream surface radiation modelling in the presence of riparian forest. *Hydrological Processes* 26, 3/2013.
- MOSER, M. (2022): Untersuchungen zur Gewässertemperatur am Beispiel der Rems: Temperaturmessungen, Modellvergleich mit LARSIM und Beschattungsindex – ein Zwischenfazit. Vortrag bei der Fachtagung Vitale Gewässer – heute umsetzen, morgen profitieren. 5./6. Oktober 2022 in Ettlingen.
- MOUSAVI MALEKI, S. A., HIZAM, H. & GOMES, C. (2017): Estimation of hourly, daily and monthly global radiation on inclined surfaces: Models revisited. *Energies* 10, 2017, S. 134.
- SINOKROT, B. A. & STEFAN, H. G. (1993): Stream temperatures: dynamics and modeling. *Water Resources Research* 29, 1993, S. 2299–2312



Zusammenfassung der Diskussion

Der finale Themenblock der Veranstaltung trug den Titel „Umgang mit Wasserstress – Was tun gegen die Durststrecke?“. Im ersten Vortrag stellte Dr. Hermann Mikat den Wasserverband Hessisches Ried und die Grundwasseranreicherung im Hessischen Ried vor. Anschließend skizzierte Dr. Herbert Walter von der Regierung von Unterfranken Ansätze für eine nachhaltige und umweltverträgliche Bewässerung. Im Vortrag von Helfried Welsch wurde die interkommunale Zusammenarbeit in der Region Westeifel/Trier in den Bereichen Trinkwasser- und Energieversorgung vorgestellt. Dr.-Ing. Ingo Haag rundete den Block mit seinem Vortrag ab. Er sprach über den Einfluss, den Beschattung durch Ufervegetation auf die Temperatur von Fließgewässern haben kann.

Herr Mikat stellte zu Beginn der Diskussion auf Nachfrage klar, dass im Hessischen Ried auch während Niedrigwasserphasen Wasser aus dem Rhein zur Grundwasseranreicherung entnommen werden könne, die Menge anlagentechnisch bedingt (Überstauhöhe Entnahmebauwerk) ständig überprüft würde und die Entnahmemenge der Überdeckung entsprechend angepasst würde. Das aufbereitete Rheinwasser wird neben der Grundwasseranreicherung auch zur landwirtschaftlichen Beregnung einer Fläche von 5.400 ha eingesetzt. Herr Welsch berichtete, dass in der Eifel besonders in heißen Sommern die landwirtschaftlich genutzten Brunnen teils nicht mehr ausreichen würden. Derzeit würden intensive Gespräche mit den Beteiligten geführt um diese Problematik anzugehen. Herr Walter betonte ebenfalls Bedeutung der Kommunikation und das Aufzeigen von Lösungen um ein Problembewusstsein bei allen Akteur:innen zu wecken. Um erfolgreich zu sein müsse die Kommunikation immer auf Augenhöhe geführt und Konzepte und Lösungen gemeinschaftlich erarbeitet werden.

Herr Welsch betonte, dass eine Maßnahme bei der Bekämpfung von Trockenheit und Wassermangel je nach Region auch die Errichtung neuer Trinkwassertalsperren sein könnte. Diese seien besonders geeignet um Tagesspitzenverbrauche zu bedienen. Für ein effektives Ressourcenmanagement müsse darüber hinaus die Digitalisierung vorangetrieben werden. In der Eifel wird derzeit ein System entwickelt, bei der zur Steuerung auch Künstliche Intelligenz zum Einsatz kommen soll. Außerdem wird untersucht, ob eine Flexibilisierung von Wasserrechten eine Möglichkeit darstellt um besser auf unterschiedliche hydrologische Bedingungen reagieren zu können.

Auch die Möglichkeit des Einsatzes von Nutzwasser (weitergehend aufbereitetes Abwasser) wurde diskutiert. Bei Wasserknappheit könnte dieses beispielsweise zur landwirtschaftlichen Bewässerung eingesetzt werden. Hierzu tritt im Juni 2023 eine EU-Verordnung in Kraft. Derzeit werde in Deutschland noch abschließend geprüft ob die formulierten Mindeststandards bzgl. der Qualität des Nutzwassers ausreichen würden. Es wurde angemerkt, dass die Akzeptanz von Lebensmitteln, die unter Einsatz von Nutzwasser erzeugt wurden oft noch nicht vorhanden ist.

Herr Welsch regte zudem an, zu untersuchen inwieweit die Wärme in Gewässern über Wärmetauscher nutzbar gemacht werden könne. Hierzu gebe es derzeit in Trier ein Pilotprojekt.

Herr Haag betonte, dass Gewässerbewuchs nicht nur wegen der Beschattung und der resultierenden Reduktion der Wassertemperatur wichtig sei, sondern zum Beispiel auch der Verbesserung der Strukturgüte und dem Rückhalt von Nährstoffeinträgen diene. Er stellte klar, dass eine vollständige Grünverrohrung nicht dem gewässerökologischen Idealzustand entspricht, an zahlreichen Gewässerabschnitten aber bereits durch moderate zusätzliche Beschattung die Klimaresilienz deutlich verbessert werden könnte.

Schlussworte

Andreas Christ

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität Rheinland-Pfalz

Ich fand es waren zwei spannende Tage mit einem sehr großen Spannungsbogen – zum einen vom Motto „Zu viel – zu wenig“, zum anderen vom Aufbau. Gestern der Tag, das war für mich der Tag wo die, die in KLIWA und die in Zusammenarbeit mit KLIWA arbeiten nochmal wirklich gezeigt haben, an welchen Themen sie arbeiten, ihre Ergebnisse präsentiert haben. Die waren zum Teil, ich sage es mal offen, weniger neu, aber sie waren erschreckend, weil sie das bestätigt haben was wir in den vergangenen Jahren ja schon gewusst haben oder erfahren haben. Und das bestätigt zu sehen und die Prognosen zu erleben war nicht wirklich beruhigend. Wir haben auch erfahren, dass die Prognosen vielleicht in der Zukunft noch besser werden. Den zweiten Tag fand ich vom zweiten Spannungsbogen her spannend, weil wir uns da über Folgen und Maßnahmen unterhalten haben und ich finde es gut, dass KLIWA sich auch mit diesem Thema beschäftigt und dem hier eine Bühne bietet das zu diskutieren. Ein Manko an dieser Stelle: Wir haben sehr viel über Zusammenarbeit in dem Zusammenhang gesprochen. Ich finde es schade, dass hier heute v.a. sehr viele Expert:innen aus den Verwaltungen und der Wissenschaft sitzen. Aber wo waren denn heute, mal abgesehen von zwei Teilnehmern in der Podiumsdiskussion die Politik und die Presse, die wir ja brauchen um das zu vermitteln. Auf der einen Seite kann KLIWA ja vielleicht dann beim nächsten Mal daran arbeiten, aber es ist ein bisschen schade, dass uns das noch nicht so gelungen ist.

Ich habe am zweiten Tag sehr oft das Wort „Extreme“ gehört. Also dieses Denken von den Extremen her: „Was machen wir unter Extremen? Nicht immer gleich die Leute auf die Bäume jagen, aber andererseits das von vornherein mitdenken. Frau Weigand hat uns das ja eindrucksvoll gezeigt. Mir wurde ein bisschen klarer, dass wir da beim Hochwasser schon relativ viele Ideen und Vorstellungen haben, auch wenn manche Dinge – Stichwort Evakuierung – bisher noch keine praktischen Themen waren. Das Thema Trockenheit ist jetzt glaub ich wirklich im Fokus drin. Mir wurde immer wieder gesagt: „Trockenheit wird uns intensiver beschäftigen“ und da fehlen uns glaube ich noch eine ganze Reihe an Ansätzen, an Maßnahmen, die wir noch entwickeln müssen. Ich habe dazu zwei Begriffe mitgenommen: „Strukturwechsel“ und „Strukturwandel“. Wir werden also unsere Infrastruktur noch sehr viel deutlicher anpassen müssen.

Ein zweiter Schwerpunkt aus dem zweiten Tag war immer die Diskussion wie wir in die Umsetzung kommen. Sie haben es gerade gesagt Frau Grobe, das zu vermitteln, weiter raus zu bringen, sind Punkte an denen wir arbeiten müssen. Bei der Umfrage zeigte ja, dass die Motivation oft ein Hemmnis ist und ich hoffe und es wäre schön, wenn Sie aus diesen zwei Tagen ein bisschen Motivation mitnehmen, an diesem Thema weiter zu arbeiten.

An der Stelle möchte ich noch unserem Staatssekretär, entschuldigen Sie bitte wenn ich das als Rheinland-Pfälzer so sage, sehr danken. Er hat ja auch nochmal darauf hingewiesen, dass uns natürlich noch die Ressourcen fehlen, also Personal das wir nicht haben, das wir nicht gewinnen, das ist ein großes Problem an dem wir hoffentlich noch arbeiten werden.



Dann bleibt mir am Ende der Dank für alle die diese Veranstaltung vorbereitet und durchgeführt haben. Natürlich an erster Stelle das Orga-Team, jetzt muss ich schauen, dass ich keinen vergesse: An der Spitze des Teams stand Herr Iber. Er wurde unterstützt von Herrn Müller und Frau Hannappel aus dem Landesamt, die Kollegen aus Baden-Württemberg, Herr Ohm, Herr Lichtenwöhler aus Bayern. Aus unserer Abteilung Kristin Gerster und Anne Schultz und maßgebliche Unterstützung kam auch aus den diversen KLIWA-Arbeitsgruppen. Frau Grobe, Ihnen und Ihrem Team für die Moderation. Sie haben nicht nur moderiert im Sinne von „Gespräch weitergeben“, Sie haben auch inhaltlich ein paar ganz elegante Akzente gesetzt, die super aufgenommen wurden. Dafür noch einmal Danke und last but not least auch dem Technik-Team die das hier so souverän gestaltet haben, zum Glück ohne Starkregen in der Halle, wir sind trocken durch die zwei Tag gekommen.

In diesem Sinne auch von meiner Seite nochmal herzlichen Dank an alle Beteiligten. Herzlichen Dank, dass Sie hier waren, gute Heimreise und wie gesagt: nehmen Sie viele gute Impulse und Motivation mit. Ich glaube die Aufgaben, die wir hier in den letzten zwei Tagen diskutiert haben machen es nicht langweilig für die Zukunft.

BISHER ERSCHIENENE KLIWA-HEFTE:

Herausgeber: Arbeitskreis KLIWA (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg;

Bayerisches Landesamt für Umwelt; Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz und Deutscher Wetterdienst)

Heft 1: Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft, Fachvorträge beim KLIWA-Symposium am 29. und 30.11.2000 in Karlsruhe, 278 S., ISBN 3-88251-279-2, Karlsruhe 2001.

Heft 2: Langzeitverhalten der Hochwasserabflüsse in Baden-Württemberg und Bayern, 98 S., ISBN 3-88251-284-9, Karlsruhe 2002.

Heft 3: Langzeitverhalten der mittleren Abflüsse in Baden-Württemberg und Bayern, 93 S., ISBN 3-88251-286-5, Karlsruhe 2003.

Heft 4: Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft, Fachvorträge beim 2. KLIWA-Symposium am 03. und 04.05.2004 in Würzburg, 249 S., ISBN 3-937911-16-2, München 2004.

Heft 5: Langzeitverhalten der Lufttemperatur in Baden-Württemberg und Bayern, 76 S., ISBN 3-937911-17-0, München 2005.

Heft 6: Langzeitverhalten der Schneedecke in Baden-Württemberg und Bayern, 88 S., ISBN 3-937911-18-9, München 2005.

Heft 7: Langzeitverhalten des Gebietsniederschlags in Baden-Württemberg und Bayern, 160 S., ISBN 3-937911-19-7, München 2005.

Heft 8: Langzeitverhalten der Starkniederschläge in Baden-Württemberg und Bayern, 93 S., ISBN 3-88148-412-4, Offenbach 2006.

Heft 9: Regionale Klimaszenarien für Süddeutschland – Abschätzung der Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, 100 S., ISBN 3-88251-305-5, Karlsruhe 2006.

Heft 10: Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft, Fachvorträge beim 3. KLIWA-Symposium am 25. und 26.10.2006 in Stuttgart, 256 S., ISBN 978-3-88251-325-7, Karlsruhe 2007.

Heft 11: Zum Einfluss des Klimas auf den Bodensee, 99 S., ISBN 978-3-88251-326-4, Karlsruhe 2007.

Heft 12: Langzeitverhalten von Sonnenscheindauer und Globalstrahlung sowie von Verdunstung und klimatischer Wasserbilanz in Baden-Württemberg und Bayern, 147 S., ISBN 978-3-88148-429-9, Offenbach 2008.

Heft 13: Modellunterstützte Untersuchungen zum Einfluss des Klimas auf den Bodensee, 128 S., ISBN 978-3-88251-345-5, Karlsruhe 2009.

Heft 14: Auswirkungen des Klimawandels auf Niedrigwasserverhältnisse in Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz, 114 S., ISBN 978-3-88251-346-2, Karlsruhe 2009.

Heft 15: Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft, Fachvorträge beim 4. KLIWA-Symposium am 3. und 4.12.2009 in Mainz, 313 S., ISBN 978-3-933123-20-6, Mainz 2010.

Heft 16: Auswirkungen des Klimawandels auf Niedrigwasserverhältnisse in Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz, 114 S., ISBN 978-3-88251-346-2, Karlsruhe 2011.

Heft 17: Auswirkungen des Klimawandels auf Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz, 112 S., ISBN 978-3-88251-363-9, Karlsruhe 2012.

Heft 18: Die Entwicklung von Großwetterlagen mit Auswirkungen auf den süddeutschen Raum, 154 S., ISBN 978-3-88251-346-2, Karlsruhe 2012.

Heft 19: 5. KLIWA-Symposium am 6. und 7. Dezember 2012 in Würzburg Fachvorträge. Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft, 257 S., Würzburg 2013.

Heft 20: Ableitung von Temperaturpräferenzen des Makrozoobenthos für die Entwicklung eines Verfahrens zur Indikation biozönotischer Wirkungen des Klimawandels in Fließgewässern, 142 S., ISBN 978-3-88251-389-9, Karlsruhe 2016.

Heft 21: Entwicklung von Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg, Bayern, Rheinland-Pfalz und Hessen (1951-2015), 101 S., ISBN 978-3-88251-395-0, Karlsruhe 2017.

Heft 22: 6. KLIWA-Symposium am 22. und 23. Mai 2017 in Baden-Baden – Fachvorträge Risiko Klima-Herausforderungen managen, 278 S., Baden-Baden 2017.

Heft 23: Niedrigwasser in Süddeutschland. Analysen, Szenarien und Handlungsempfehlungen, 95 S., ISBN 978-3-88251-399-8, Karlsruhe 2018

Weitere aktuelle Informationen zu Projektergebnissen finden Sie unter unserer Internetseite:

<http://www.kliwa.de>

