## **Projektbericht**

# KLIWA Symposium: Risiko Klima – Herausforderungen managen

Niedrigwasser, Starkregenereignisse, Trockenperioden, sinkende Grundwasserstände, nachteilige gewässerökologische Entwicklungen. Wie ist mit den Herausforderungen des Klimawandels für die Wasserwirtschaft umzugehen? Beim 6. KLIWA Symposium am 22./23. Mai 2017 wurde über Strategien diskutiert, wie mit den Folgen des Klimawandels umzugehen ist.

Der Klimawandel und seine anthropogen Ursachen sind mittlerweile weltweit anerkannt. Die Klimaforschung geht aktuell davon aus, dass der "Treibhauseffekt" das Weltklima nachhaltig beeinflusst und sich die mittlere globale Lufttemperatur bis zum Jahre 2100 um bis zu 5,4 °C (5. AR IPCC 2013) erhöhen kann. Eine solche Klimaveränderung hätte auch erhebliche Auswirkungen auf den Wasserhaushalt und somit auf alle Bereiche der Wasserwirtschaft. Im Sinne des Vorsorgeprinzips hat die Wasserwirtschaft die Aufgabe, die Grundlagen zu schaffen, um

- Kenntnisse über den Wasserhaushalt und seine künftig zu erwartende Entwicklung zu erhalten,
- die vertretbaren Wassernutzungen und mögliche Gefahren und Beeinträchtigungen zu bewerten und
- nachhaltige wasserwirtschaftliche Handlungs- und Anpassungsstrategien zu entwickeln.

Die Aussagen der Klimaforschung über die bisherigen und künftigen Klimaveränderungen und ihre Folgen beziehen sich zumeist auf globale bzw. großräumige Bereiche. Zur Lösung wasserwirtschaftlicher Fragestellungen sind vor allem quantitativ konkrete Angaben, also Daten und Fakten über Veränderungen von relevanten Kenngrößen im regionalen Maßstab, unerlässlich.

Um insbesondere die Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft in Süddeutschland wissenschaftlich genauer zu erforschen, arbeiten Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz seit vielen Jahren gemeinsam mit dem Deutschen Wetterdienst innerhalb der Kooperation "KLIWA – Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft" zusammen. Im Rahmen von KLIWA erstellen Experten Szenarien zu möglichen Veränderungen des Wasserhaushalts in den Flussgebieten und Grundwasserlandschaften in Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz und leiten hieraus wasserwirtschaftliche Handlungsempfehlungen ab. Zusammenfassende fachliche Präsentationen zum Ergebnisstand der Kooperation finden in mehrjährigen Abständen im Rahmen von Fachsymposien statt.

Beim 6. KLIWA Symposium am 22. und 23. Mai 2017 in Baden-Baden, diskutierten mehr als 200 Experten aus Wissenschaft, Forschung, Verwaltung und Politik über die Herausforderungen, die sich für die Wasserwirtschaft aufgrund des Klimawandels ergeben. Dabei standen die Themen Niedrigwasser, Starkregen, Grundwasser und Gewässerökologie im Mittelpunkt. Neben Präsentationen über die Auswirkungen des Klimawandels nahmen die Themen Handlungsempfehlungen und Anpassung an den Klimawandel eine zentrale Rolle ein. Die Ergebnispräsentationen für Süddeutschland wurden mit einem Blick in andere deutsche und europäische Regionen ergänzt.

Die Bedeutung der Kooperation KLIWA wurde in den Statements der politischen Vertreter der KLIWA-Partner hervorgehoben. Um die Folgen der Klimaveränderung bewältigen zu können, ist ein enger Schulterschluss der Länder und des Bundes erforderlich. Das betonten die bayerische Umweltministerin Ulrike Scharf, der baden-württembergische Umweltminister Franz Untersteller, der rheinland-pfälzische Umweltstaatssekretär Dr. Thomas Griese sowie der Vizepräsident des Deutschen Wetterdienstes Dr. Paul Becker zum Auftakt des 6. KLIWA-Symposiums.

Hierbei wurden vor allem eine konsequente Umsetzung der Beschlüsse der Pariser Weltklimakonferenz 2015 gefordert. Bei weiterer Inaktivität erwarte man deutlich höhere finanzielle Konsequenzen. Aber auch die konsequente Anpassung an den Klimawandel spiele eine wichtige Rolle. Erfolgreiche Anpassung an den Klimawandel bedeute gleichzeitig Zukunftssicherung. Minister Untersteller gab zudem den offiziellen Startschuss für ein neues gewässerökologisches Klimafolgen Monitoring in allen KLIWA Bundesländern.

Herr Professor Lesch stellte in seinem Einführungsvortrag eindrücklich dar, dass der Klimawandel Wirklichkeit ist und darauf reagiert werden muss. Sehr plakativ stellte er fest, dass Klimawandel "leichter bis mittlerer Terrorismus für die Atmosphäre" darstellt. Dies scheine jedoch in der Bevölkerung immer noch nicht angekommen zu sein. Wie schon der Vizepräsident des Deutschen Wetterdienstes Herr Dr. Becker in seinem Grußwort erwähnte, glauben gemäß einer Umfrage etwa 16 % der Deutschen nicht an die Existenz des Klimawandels. Daher betonte er die wichtige Rolle von Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit.

Die weiteren Fachbeiträge der Veranstaltung widmeten sich einer zusammenfassenden fachlichen Bestandsaufnahme von KLIWA. Neben der Ermittlung von Grundlagenwissen ist das Hauptziel von KLIWA, Handlungsempfehlungen als Grundlage zur Erarbeitung von Anpassungs- sowie Managementstrategien zu erarbeiten. Im Gegensatz zum Programm des Symposiums ist im Folgenden eine thematische Aufteilung vorgenommen.

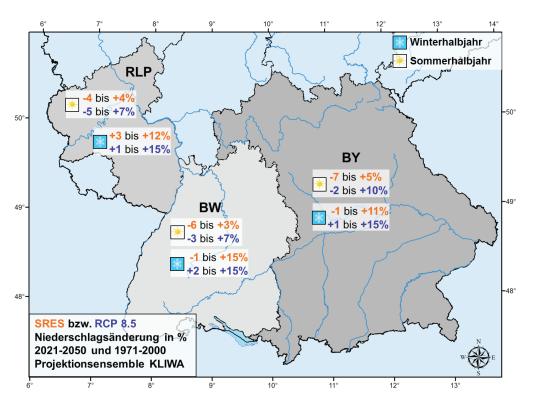
## **Fachvorträge**

## Klimawandel in Süddeutschland – Monitoring und Klimamodellierung

(Referenten: Dr. M. Rauthe, Dr. G. Schädler, H. Komischke)

Langjährige meteorologische und hydrologische Messdaten sind Voraussetzung für Untersuchungen zum Klimawandel und deren Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft. Nur so lassen sich bereits stattfindende Veränderungen von Kenngrößen wie Temperatur, Niederschlag und Abflussgrößen sicher feststellen.

Das Monitoring zum Klimawandel in Süddeutschland ist ein wichtiger Projektbereich der KLIWA-Kooperation. Im aktuellen Monitoringbericht 2016 sind die Veränderungen des regionalen Klimas und des Wasserhaushalts in den KLIWA-Bundesländern Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz bis zum Jahre 2015 dokumentiert und bewertet. Die Ausgabe HyWa 2/2017 enthält bereits einen ausführlichen Überblick über den Monitoringbericht 2016. Dabei hat sich gezeigt, dass sich die Auswirkun-



**Abbildung 1**Neue Klimaprojektionen mit RCPs – Niederschlagsänderungen in % für die nahe Zukunft.

gen des Klimawandels deutlich in der regionalen Hydrosphäre zeigen, aber durchaus in unterschiedlicher Ausprägung.

Neben den Untersuchungen des bereits messbaren Klimawandels wird in KLIWA auch die zukünftige Entwicklung des Klimas mithilfe regionaler Klimaprojektionen abgeschätzt. Ziel ist es, die Folgen für den Wasserhaushalt ableiten und bewerten zu können. Hierfür werden in KLIWA Wasserhaushaltsmodelle verwendet, angetrieben von regionalen Klimaprojektionen. Die Gesamtheit der daraus resultierenden Aussagen zum Wasserhaushalt und insbesondere zum Abfluss bezeichnet man als Wasserhaushaltsbzw. Abflussprojektion.

Mit den SRES-Szenarien (Special Report on Emissions Scenarios des International Panel on Climate Change, ab 2000) B2 und A1B wurden bereits die Veränderungen für Hochwasser, Niedrigwasser und mittlere Abflüsse ermittelt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden voraussichtlich im Sommer 2017 in einem KLIWA-Kurzbericht unter www.kliwa.de veröffentlicht. Im aktuellen 5. IPCC Bericht (2014) wurden die SRES-Szenarien abgelöst durch neue RCP (Representative Concentration Pathways)-Szenarien, die sogenannten "repräsentativen Konzentrationspfade". Im Gegensatz zu den SRES wird dabei direkt der Strahlungsantrieb statt wie bisher die Treibhausgasemissionen vorgegeben.

Neue Szenarien (RCPs) als Antrieb für Klimaprojektionen – braucht KLIWA nun auch neue Abflussprojektionen? Die neuen Szenarien liefern für die nahe Zukunft bisher ähnliche Ergebnisse wie SRES A1B (Abbildung 1), sie ergänzen und schärfen jedoch deren Aussagen. Die Auswertungen bis 2100 zeigen jedoch in der zweiten Jahrhunderthälfte deutliche Unterschiede zu SRES A1B. Hier besteht noch weiterer Untersuchungsbedarf.

Hochaufgelöste regionale Klimamodelle können die für den Antrieb hydrologischer Modelle benötigten Kenngrößen deutlich besser wiedergegeben als Simulationen mit gröberer Auflösung. Daher wurde für den gesamten "KLIWA-Untersuchungsraum" pilothaft eine erste regionale Klimaprojektionen mit 2.8 km Auflösung unter Verwendung der neuen RCP-Szenarien und dem Klimamodell CCLM5.0 erstellt. Ausgewertet werden unter anderem Mittelwerte von Temperatur, Niederschlag und Feuchte sowie - im Hinblick auf Extreme - Statistiken von temperatur- und niederschlagsbezogenen Schwellenwertüberschreitungen wie Trockenperioden und Starkniederschläge.

In KLIWA wird das Vorgehen konstant angepasst und weiterentwickelt, um die Aussagen zu festigen. Ziel ist es, ro-

buste Aussagen über Änderungen in der Zukunft als Grundlage für die Anpassung zu erhalten.

## Starkregenrisikomanagement

(Referenten: W. Hennegriff, Dr. T. Winterrath, Prof. Dr. M. Weiler, Dr. H. Schipper)

Nicht zuletzt aufgrund der Starkregenereignisse der letzten Jahre nimmt das Thema Starkregen auch in KLIWA eine wichtige Rolle ein. Frau Winterrath vom Deutschen Wetterdienst (DWD) bezeichnet Starkregen als ein Niederschlagsereignis, das in seiner Charakteristik extrem ist und selten auftritt. Der Begriff "Starkregen" umfasst dabei sowohl das kurzfristige, lokale Gewitter als auch den großräumigen Dauerregen.

Konvektive Starkniederschläge mit hohen Niederschlagsmengen und -intensitäten verursachen Schäden in der Größenordnung von 50 % der Gesamtschäden, die durch Hochwasser in Baden-Württemberg im Mittel jährlich verursacht werden. Die Vorwarnzeiten und Reaktionszeiten für die Bürgerinnen und Bürger sowie für kommunale Einrichtungen wie Feuerwehr sind extrem kurz und erschweren dadurch die Gefahrenabwehr. Häufig fehlt das Risikobewusstsein, da sich die durch Starkregen ausgelösten Überflutungen oftmals abseits von Gewässern ereignen. Auf der Grundlage von Starkregengefahrenkarten und der Risikoanalyse wird in Baden-Württemberg derzeit ein Handlungskonzept für das Starkregenrisikomanagement auf kommunaler Ebene entwickelt. Starkregengefahrenkarten werden hierbei für seltene, außergewöhnliche und extreme Oberflächenabflussereignisse erstellt. Diese Karten zeigen für die drei Abflussszenarien die maximalen Überflutungsausdehnungen, Überflutungstiefen und Fließgeschwindigkeiten. Untersuchungen in Pilotgebieten





**Abbildung 2**Beispiele für die Auswirkungen von Starkregenereignissen: Braunsbach und Simbach.

verdeutlichten, dass häufig Siedlungsbereiche auch abseits von Gewässern betroffen waren, die bei Hochwasser aufgrund zu hoher Wasserstände in Flüssen und Bachläufen nicht gefährdet gewesen wären. Daher ist eine separate Risikokarte aufgrund von Starkregen notwendig.

Da die Häufigkeit und Intensität von Starkniederschlägen das Bodenerosionsgeschehen entscheidend beeinflussen, wird infolge des Klimawandels in erosionsgefährdeten Gebieten eine Zunahme des Bodenerosionsrisikos und der damit verbundenen Gefährdung für Böden und andere Schutzgüter erwartet. Gerade in kleinen bis mittleren Einzugsgebieten wird die Höhe des Bodenabtrags vielfach von kurzen, lokal begrenzten, aber intensiven Niederschlägen (konvektive Niederschläge), die überwiegend im Sommer auftreten, bestimmt. Im Rahmen des Projekts "Bodenabtrag durch Wassererosion in Folge von Klimaveränderungen" wurde ein Klimamodell mit einem Erosionsmodell gekoppelt. Im Weiteren werden Fallstudien mit "worst-case" Abschätzungen durchgeführt.

Im Rahmen des Projekts "Radarklimatologie" wurden die Niederschlagsdaten des Boden- und Radarnetzwerkes des Deutschen Wetterdienstes zusammengeführt und für die klimatologische Nutzung aufbereitet und ausgewertet. Zum ersten Mal liegt damit eine flächendeckende, quantitative Niederschlagsanalyse in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung für Deutschland vor, die nahezu alle Starkniederschläge von 2001 bis 2016 beinhaltet und einen neuartigen Datenschatz für die Kartierung von Starkregen darstellt. Der Datensatz liefert erstmals statistische Häufigkeiten und räumliche Verteilungen kleinräumiger Extremereignisse sowie umfassende Informationen zum Niederschlagseintrag bei der Entstehung pluvialer Hochwasser. Es bietet sich hierdurch eine neue Datengrundlage für Aufgaben der Raum- und Stadtplanung, des Katastrophen- und des vorbeugenden Hochwasserschutzes. Noch sind aber klimatologische Aussagen aufgrund der Kürze des abgedeckten Zeitraums derzeit nur sehr eingeschränkt möglich.

## Grundwasser

(Referenten: T. Gudera, Dr. J. Neumann, Dr. B. Kopp)

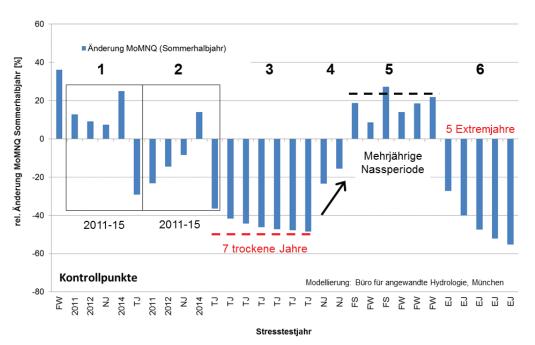
In Süddeutschland wird der überwiegende Teil des Trinkwassers aus Grundwasser gewonnen. Die Kenntnis über mögliche lang-

fristige Entwicklungen der regionalen Grundwasserverhältnisse ist somit von grundlegendem Interesse.

Die signifikante Erwärmung seit Ende der 1980er Jahre führte zu einem spürbaren Anstieg der potentiellen Verdunstungsraten. Insbesondere in der vergleichsweise trockenen jüngeren Vergangenheit seit dem Jahr 2003 macht sich das Ausbleiben nasser Jahre bei den Wasserhaushaltskomponenten Gesamtabfluss- bzw. Sickerwasserrate und insbesondere der Grundwasserneubildung in der Wasserbilanz deutlich bemerkbar. So wurde in Süddeutschland seit 2003 die mittlere Grundwasserneubildung der Periode 1951 bis 2010 stets und mehrfach deutlich unterschritten. Die einzige Ausnahme stellte das Jahr 2013 dar. Gleichzeitig erhöhte sich der Trockenheitsindex, der die Anzahl an Tagen mit Füllung des Bodenwasserspeichers < 30 % der nutzbaren Feldkapazität angibt, als Hinweis auf eine Zunahme von Trockenperioden. Nähere Informationen hierzu sind dem unlängst erschienenen KLIWA Heft 21 zu entnehmen, siehe hierzu www.KLIWA.de.

Im Rahmen von Fallstudien in Regionen ohne großräumig zusammenhängende und ergiebige Grundwasservorkommen wurde die Vulnerabilität bzw. die Anfälligkeit von Grundwassersystemen gegenüber nachteiligen Auswirkungen von Klimaänderungen näher untersucht. Insbesondere Wasserversorger, bei denen für die Zukunft Rückgänge der Quellschüttungen während Trockenperioden in den Sommer- und Herbstmonaten ermittelt wurden, sind aufgefordert, frühzeitig Anpassungsmaßnahmen zur Stärkung der Versorgungssicherheit (z. B. "zweites Standbein") zu ergreifen.

Neben regionalen Klimaprojektionen für die Zukunft kamen zusätzlich auch "Stresstestszenarien" auf Basis gemessener Daten aus der Vergangenheit zum Einsatz (Abbildung 3). Stresstests stellen Untersuchungen dar, mit der die Reaktion eines Systems auf eine erhöhte Beanspruchung untersucht wird. Welche Folgen hat zum Beispiel eine mehrjährige Abfolge bzw. "Wiederholung" vergleichbarer Zustände, wie sie z. B. durch das Trockenjahr 2003 oder 2015 gegeben waren, für die Entwicklung des nutzbaren Dargebots und die darauf angewiesene öffentliche Wasserversorgung? Stresstest-Ergebnisse sind für viele Nutzer weniger abstrakt als Aussagen auf Basis von Szenariosimulationen. Die



**Abbildung 3**Stresstestszenarios für das Grundwasser. TJ: Trockenjahr, EJ: Extremes Trockenjahr, FW: Feuchter Winter, FS: Feuchter Sommer, NJ: Normaljahr. (MoMNQ = Mittlerer monatlicher Niedrigwasserabfluss)

Ergebnisse zeigen, dass bereits trockene Einzeljahre zu erheblichen Defiziten führen können. Normaljahre bringen eine Verbesserung der Situation, aber ein Defizit kann in der Regel erst durch eine Abfolge von mehreren nassen Jahren wieder vollständig ausgeglichen werden.

## Niedrigwasserentwicklung und -management

(Referenten: C. Iber, M. Foltyn, Dr. M. Stölzle)

In den vergangenen Jahren sind in Süddeutschland gleich mehrere markante Niedrigwasserereignisse sowohl in kleineren Einzugsgebieten als auch an großen Flüssen aufgetreten. Durch die intensive mediale Aufmerksamkeit sind vor allem die Ereignisse von 2015 und 2016 noch gut in Erinnerung. Ein markantes Ereignis stellte auch das Jahr 2003 in dieser Reihe dar. Nicht zuletzt weil davon ausgegangen wird, dass Niedrigwasser- und Trockenheitsphase in der Zukunft häufiger auftreten und länger andauern, hat KLIWA das Thema zu einem Schwerpunkt gemacht. Ziel ist die Ableitung von Handlungsoptionen als Grundlage für ein noch konkret zu erarbeitendes Niedrigwassermanagement, in dem sowohl die längerfristige Vorsorge als auch der Umgang mit konkreten Niedrigwasserereignissen unter Berücksichtigung der bestehenden Wassernutzungen Berücksichtigung findet.

Die statistische Auswertung der Entwicklung trockener Großwetterlagen seit Ende des 19. Jahrhunderts hat gezeigt, dass die Wahrscheinlichkeit des Auftretens trockener, heißer Sommer zugenommen hat. Im Vergleich dazu haben aber die mittleren jährlichen Niedrigwasserabflussmengen zwischen 1951 bis 2015 mehrheitlich eher zugenommen. Allerdings sind die Niedrigwasserabflüsse häufig wasserwirtschaftlich überprägt, was bei der Interpretation der Aussagen beachtet werden muss. Bei einer Analyse ab Mitte der 1970er Jahre geht die Tendenz vermehrt zu Abnahmen.

Betrachtet man die zukünftigen modellierten Abflüsse, zeigten frühere Modellierungen oft deutliche Verschärfungen im Niedrigwasserbereich. Dagegen fallen diese Trends in neueren Projektionen in den KLIWA-Ländern uneinheitlich aus. Vor allem in Rheinland-Pfalz und Nordbayern sind die Änderungen von Niedrigwasserkennwerten grundsätzlich weniger eindeutig zu- oder abnehmend, haben sich also im Gegensatz zu früheren Aussagen abgeschwächt. Die aktuellen Ergebnisse deuten somit darauf hin, dass sich die ermittelten Änderungen der Vergangenheit in der Zukunft bis zum Jahr 2050 in Rheinland-Pfalz und Nordbayern nicht deutlich weiter verschärfen werden. In Baden-Württemberg wird

hingegen die Verschärfung der Niedrigwasserentwicklung im Spätsommer und Herbst auch in neuen Projektionen bestätigt. Die Veränderungen im Winterhalbjahr bleiben allerdings insgesamt stärker ausgeprägt als im Sommerhalbjahr. Weitere Projektionen werden aber erforderlich sein, um die bestehenden Modellunsicherheiten insbesondere zu Globalstrahlung und Verdunstung zu klären.

Die wasserwirtschaftlichen Nutzungen und ökologischen Funktionen, die durch Niedrigwasser beeinträchtigt werden können, hängen in einem vielschichtigen Wirkungsgefüge zusammen. Um die Auswirkungen extremer Niedrigwasserereignisse in Süddeutschland genauer beleuchten und konkrete Handlungsempfehlungen ableiten zu können, wurden im Rahmen von KLIWA Pilotstudien in ausgewählten Flussgebieten im KLIWA-Gebiet durchgeführt. Für bestimmte ausgewählte Nutzungsbereiche wurden Stresstestuntersuchungen durchgeführt und ausgewertet, wie z. B. für die Speicherbewirtschaftung.

Bei einer Niedrigwasserverschärfung ist grundsätzlich mit einer Zunahme der Nutzungskonflikte zu rechnen. Neben Änderungen der Wassermenge ist auch die Wasserqualität von Bedeutung. Es zeigte sich, dass Trockenheits- und Niedrigwasserereignisse insbesondere dort zu Problemen führen, wo die Ressource Wasser bereits jetzt intensiv genutzt wird. Die Ergebnisse der Pilotstudien zeigen deutlich, dass Wassernutzungskonflikte künftig häufiger und länger anhaltend auftreten können, denen mit einem umfänglichen Niedrigwassermanagement begegnet werden muss.

Ein weiteres Ergebnis aus der Synthese der Pilotstudien ist eine Systematik zur Konkretisierung von Handlungsempfehlungen mittels einer mehrstufigen Bewertung. Ein darauf aufbauendes Niedrigwassermanagement sollte zukünftig Maßnahmen sowohl zum operativen Umgang mit Niedrigwasserereignissen

enthalten, vergangene Ereignisse aber auch analysieren und bewerten, um Vorsorge- und Schutzmaßnahmen zu entwickeln, zu planen und umzusetzen.

Die Pilotstudien zeigen aber auch, dass die Zusammenführung unterschiedlicher Akteure (Experten und lokale Wassernutzer) starke Synergien hervorbringen kann, z. B. Lösungsstrategien für (potentielle) Wassernutzungskonflikte. Unterschiedliche Instrumente zur Analyse von Nutzungskonflikten, wie etwa Stakeholder-Workshops, können einen partizipativen Prozess für die Entwicklung eines Niedrigwassermanagements anstoßen. Nähere Informationen gibt ein für Herbst 2017 geplantes KLIWA-Heft, in dem die Ergebnisse aus den Pilotstudien für das Niedrigwasser aller drei Bundesländer zusammenfasst sind (Abbildung 4).

## Gewässerökologie und Wassertemperatur

(Referenten: Dr. J. Fischer, Dr. I. Haag-Wanka, M. Halle, Dr. J. Schaumburg, F. Schöll)

Nach den allgemeinen Grundsätzen des Wasserhaushaltsgesetzes sind Gewässer u. a. mit dem Ziel zu bewirtschaften, möglichen Folgen des Klimawandels vorzubeugen. Das Wissen über die regionalen Auswirkungen des Klimawandels auf die ökologische Qualität der Fließgewässer und Seen ist derzeit noch gering. Die komplexen ökologischen Wirkungsmechanismen auf der Ebene ganzer Lebensgemeinschaften sind erst ansatzweise untersucht und verstanden. Ein vorsorgendes wasserwirtschaftliches Handeln verlangt aber ein stringentes Prozessverständnis. Das Thema Gewässerökologie spielt daher eine zunehmend wichtige Rolle in KLIWA. In einem ersten Schritt wurden im Auftrag der KLIWA AG-Gewässerökologie in den vergangenen Jahren Literaturstudien zu Auswirkungen des Klimawandels auf Flüsse und Seen erarbeitet, um weitergehende Erkenntnisse und Wirkmechanismen zu erhalten. Mit dem Start des Gewässerökologischen Klimafolgen-Monitorings für Fließgewässer wird ein

wichtiger Meilenstein gesetzt, für Seen wird ein solches Monitoring derzeit abgestimmt.

Änderungen im Temperaturhaushalt und im Abflussgeschehen beeinflussen grundlegende Stoffkreisläufe und Lebensvorgänge im Gewässer und verändern die Zusammensetzung der Biozönosen bis hin zur erleichterten Ausbreitung von gebietsfremden Arten (Neobiota). Die verringerte Verlässlichkeit bestimmter saisonaler Wassertemperatur- und Abflussbedingungen einerseits (z. B. fehlende Kältestimuli im Winter) und die Zunahme der Extreme andererseits (Dauer und Frequenz von Austrocknung oder bettgestaltenden Hochwässern) werden in Fließgewässern als direkt vom Klimawandel beeinflusste Treiber im Wirkungsgeflecht identifiziert. Gleiches gilt für die temperaturabhängigen Veränderungen von Schichtungs- und Durchmischungsphasen in Seen und als deren Folgen negative Veränderungen im Nährstoff- und Sauerstoffhaushalt. Auf Basis dieser Studien und der darin ausgewerteten Literatur lassen sich nun weitere Planungsschritte unternehmen, um z. B. weitere gewässerökologische Klimaindikatoren zu entwickeln und Handlungsempfehlungen zu erarbeiten.

Um die ökologischen Folgen veränderter Wassertemperaturen und Abflussverhältnisse von Fließgewässern unmittelbar für deren aquatische Wirbellosenfauna (Makrozoobenthos) nachweisen zu können, wurde der sog. KLIWA-Index<sub>MZB</sub> entwickelt. Grundlage hierfür ist die statistische Ableitung artspezifischer Temperaturpräferenzspektren. Der Index ist eine aus der Artenzusammensetzung errechnete Kenngröße. Eine Erhöhung des Indexwertes über die Zeit zeigt eine Zunahme wärmetoleranter bzw. weniger sauerstoffbedürftiger Arten in der Biozönose an. An anthropogen wenig beeinträchtigten Gewässern kann diese spezifische Veränderung der Artenzusammensetzung als eine Folge des Klimawandels interpretiert werden. Nähere Informationen sind dem KLIWA-Heft 20 zu entnehmen.

Handlungsempfehlung (HE)	Art der Wassernutzung und/oder Wasserbewirtschaftung									Herkunft und/oder Anwendung aus Pilotstudie				abgel aus			Konkretisierung und Bewertung der HE					Aufwand fü Durchführur		
	Abwassermanagement	Speicher- und Teichbewirtschaftung	Wasserkraft und Industrie	Trinkwasser	Agrar und Fischerei	Gewässerökologie und Wasserqualität	Naherholung/Freizeit/Sport	Administrative Ebene	BW1	BW2	ву	RLP	Datenanalyse, hydrologische Modellierung	Expertenbefragung (obere Ebene)	Workshops (Akteurebene)	Vorbeugend oder im Akutfall	Pro (+)	Kontra (-)	Allgemeingültigkeit	finanziell	administrativ	politisch	No-Regret	
Umsetzung WRRL	х	Х	Х	х	Х	Х	х	Х	X	х	х	х		Х	X	٧	Forcierung der Umsetzung der Maßnahmenprogramme	Durchführung/Priorisierung je nach Verfügbarkeit der finanziellen Mittel: aufwendiger Diskurs mit Akteuren	+	Ψ	•	Ψ.	ja	
Offentlichkeitsarbeit / Bewusstsein für vW-Problematik und deren Umfang / Vissensvermittlung	×	x	х	X		X		×	×		х			×	X	V/A	Grundlegende Maßnahme für weitere Maßnahmen bzw. Handlungsempfehlungen	Niedrigwasser-Problematik ist wassernutzungsspezifisch	+	٥	*	Ψ	ja	
Ermittlung regionaler Wasserbilanzen	X	х	х	X	х			х	х		х	х				٧	Schaffung von Informationsgrundlage zur nachhaltigen Bewirtschaftung, z.B. zur Bestimmung des Bewässerungsbedarfs	Relevante Entrahmen müssen bekannt sein	+	1	1	*	ja	
Niedrigwasseraufhöhung / Frischwassereinleitung	×	х			x	х	x	x	х	x	x	x	x	×	x	A	Gezielte Speicherabgabe zur Abflussaufhöhung im Gewässer, Verbesserung der Wasserquanität und -qualität	Realisierbarkeit stark standortabhängig; wenn Speicher vorhanden muss Vereinbarkeit mit bisherigem Steuerungsziel geprüft werden; Speicherneubauten können auch negative Folgen haben; nötiger Wasserspeicher oder Wassertransfer	+	^	*	•	nei	
Restwassermengen bzw. Mindestabfluss gewährleisten	×	x	х	х		х		х	X	x	x	x	х	×	х	A	v.a. gawässerökologische Verbesserung; Sicherung Gewässerstrukturgüte	Fehlende vorbindliche, einheitliche Regelungen/Definitionen - mangeinder Informationsaustausch in Flussgebieten - Aufwendige Aufarbeitung, z.B. durch variabler Wasserstand entlang des Gewässers z.B. durch Sunk und Schwallbetrieb	+	0	•	•	nei	
Derprüfung und Einhaltung von Mindestwasserabflüssen	X		х		X	X	X	x	×	х	X	х				Α	Festlegung bzw. Überprüfung und Einhaltung von Restwassermengen bei Ausleitungsstrecken und von Niedrigwasseraufhöhungszielen	Häufig Altrechte vorhanden; Maßnahme kann zu finanziellem Verlust Dritter führen	+	0	•	*	ja	
teduktion der stofflichen Belastung und iffuser Einträge	x	x			x	×	x	×	x	x	x	x	x	×	×	V/A	Vorbeugende Maßnahmen beim Ablischen von Teichen; Maßnahmen der Landwirtschaft wie z.B. Anpassung der Bodenbearbeitung oder Nutzung, Anlage von Uferrandstreifen	Absetzbecken sind möglich; Tierwehl darf nicht beeinträchtigt werden; finanzieller Aufwand für Teichwirte; Kooperation mit Landwirten notwendig; entsprechende Anneize bzw. gesetzliche Regelungen müssen geschaffen werden	+	•	0	Ψ.	ja	
/erbessertes Abwassermanagement im Einzugsgebiet	X				х	X	x	х	X	X	х	х	х	X	×	V	Versickerung von Dachflächen u. Hofentwässerungen, Trennkanalisation u. Regenwasserbewirtschaftung,	Realisierbarkeit stark standortabhängig; wenn Speicher vorhanden muss Vereinbarkeit mit bisherigem	+	0	0	*	ja	

### **Abbildung 4**

Ein Beispiel für den Katalog an Handlungsoptionen aus dem Synthesebericht.

Die Wassertemperatur ist einer der wichtigsten Gewässergüteparameter, der maßgeblichen Einfluss auf die Zusammensetzung der aquatischen Biozönose hat. Um das Ausmaß dieser klimatisch bedingten Veränderung abschätzen zu können, wurden im Rahmen des KLIWA-Projekts für Baden-Württemberg und Bayern verschiedene Methoden bzw. Modelle zur Simulation, Regionalisierung und Projektion von Wassertemperaturen erstellt und angewandt. Auf dieser Basis ist im räumlichen Mittel über Bayern für die nahe Zukunft (2021 bis 2050) im Vergleich zum Ist-Zustand mit einer klimatisch bedingten Zunahme der Wassertemperatur um ca. 0,5 °C bis 1,3 °C zu rechnen. Dabei wird die mittlere Projektion mit einem Änderungssignal von ca. + 0,6 °C als wahrscheinlichstes Szenario eingestuft. Für Baden-Württemberg erhält man auf der Basis von zwei Wassertemperaturprojektionen ähnliche Ergebnisse. Die Auswertung weiterführender gewässerökologischer Kennwerte für Baden-Württemberg, die Abfluss und Wassertemperatur berücksichtigen, legt eine Häufung ökologisch kritischer Situationen und eine längszonale Verschiebung der aquatischen Lebensgemeinschaften zugunsten wärmeliebender Arten nahe.

Als Beispiel kann die Körbchenmuschel (Corbicula fluminea), ursprünglich in australasiatischen Faunenregionen beheimatet, genannt werden. Die Art hat in den letzten Jahrzehnten insbesondere mit dem Schiffsverkehr ihr Areal in Amerika und Europa beträchtlich erweitert. Die Annahme, dass für die Verbreitung von Corbicula die Minimaltemperatur des jeweiligen Gewässers eine entscheidende Rolle spielt, wird untermauert.

## Klimawandel in anderen Regionen

(Referenten: H. Buiteveld, Dr. P. Schmocker-Fackel, Dr. G. Brahmer, Prof. Dr. R. Ludwig)

Im Block "Klimawandel in anderen Regionen" wurde über die Erarbeitung von Klimaanpassungsstrategien in den Niederlanden und der Schweiz berichtet. Zudem wurde eine bayerisch-kanadische Zusammenarbeit zu Klimawandel und Extremen vorgestellt. Der hessische Vertreter berichtete über die Auswirkungen des Klimawandels auf die hydrologischen Verhältnisse.

Die Niederlande sind aufgrund der Tatsache, dass weite Teile des Landes unter dem Meeresspiegel liegen, anfällig für Überflutungen durch Meeres- und Flusswasser. Fast 60 % der Niederlande könnten überflutet werden. Die Politik der Regierung zielt darauf ab, die Niederlande jetzt und in Zukunft vor Hochwasser zu schützen und eine ausreichende Wasserversorgung zu gewährleisten.

Die Schweiz ist von der globalen Erwärmung stark betroffen. Im Jahr 2012 verabschiedete die Schweizer Regierung die Strategie zur Anpassung an den Klimawandel. Ziel ist es, die Chancen des Klimawandels zu nutzen, die Risiken des Klimawandels zu minimieren und die Anpassungsfähigkeit der Systeme zu steigern. Im Sektor Wasserwirtschaft wurden vier Bereiche mit Handlungsbedarf identifiziert: (1) die Grundlagen zu Wasserkreislauf und Wassernutzung verbessern, (2) die Wasserverfügbarkeit sicherstellen und die Wasserspeicher optimal bewirtschaften, (3) die Wasserqualität und Gewässerökologie gewährleisten und (4) Nutzung und Bewirtschaftung grenznaher Gewässer sicherstellen.

Zukünftige Klimaentwicklungen für Hessen können auf Basis einer Vielzahl vorliegender Klimaprojektionen abgeschätzt werden (Multi-Modell Auswertung). Grundsätzlich ergibt sich dadurch eine mögliche Veränderungsspanne, deren Variabilität u. a. auch durch die geographische Lage Hessens (und Deutschlands) in einem Übergangsbereich zwischen einem zukünftig deutlich feuchteren Klima in Nordeuropa und einem trockeneren Klima in Südeuropa begründet ist. Trotz vieler Unsicherheiten können Anpassungsmaßnahmen zur Begegnung der Auswirkungen des Klimawandels entwickelt und umgesetzt werden. In Hessen wurde im März 2017 der "Integrierte Klimaschutzplan Hessen 2025" mit einem Bündel an Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen zu den unterschiedlichen Handlungsfeldern beschlossen.

Das Projekt Climate Change and hydrological extreme events - Risks and perspectives for water management in Bavaria and Québec (ClimEx) untersucht Auftreten und Auswirkungen von extremen meteorologischen Ereignissen auf die Hydrologie in Bayern und Québec unter dem Einfluss des Klimawandels. Es soll eine deutlich erweiterte Grundlage zur dynamischen Anpassung an Risiken für die Wasserwirtschaft und zur Ableitung von Empfehlungen für eine vorausschauende Bewirtschaftung der Wasserressourcen liefern.

### **Fazit und Ausblick**

(Zusammenfassung von Jürgen Reich)

In den Anfangszeiten von KLIWA stand vor allem das Thema Hochwasser im Fokus, jetzt nehmen Themen wie Starkregen, Niedrigwasser, Grundwasser und vor allem Gewässerökologie zentrale Rollen ein. Die Auswirkungen des Klimawandels und dessen Unsicherheiten sind in KLIWA gut dokumentiert und dargestellt. Es ist wichtig, daraus bereits zum jetzigen Zeitpunkt die richtigen Handlungsstrategien abzuleiten und konkret umzusetzen.

Was muss konkret getan werden, um mit den Folgen des Klimawandels umzugehen? Diskutiert wurden während des 6. KLIWA-Symposiums unter anderem folgende Maßnahmen: Verminderung der Erosion, Reduzierung der Nährstoffbelastung der Gewässer, Erhöhung der Strömungsvielfalt in Gewässern, Aufbau eines zweiten Standbeins für die Wasserversorgung, Entwicklung kommunaler Maßnahmen zur Gefahrenabwehr infolge von Starkregen und viele weitere Maßnahmen. Die Erarbeitung von Handlungsmaßnahmen und Anpassungsstrategien wird bei der Kooperation KLIWA auch in Zukunft im Fokus stehen. Daneben soll auch die Öffentlichkeitsarbeit innerhalb von KLIWA verstärkt und verbessert werden. Die Auswirkungen des Klimawandels sollen plakativer herausgearbeitet, die Kommunikation verstärkt und insbesondere die Zielgruppen erweitert werden.

KLIWA geht weiter, es gibt noch viel zu tun!

Die Kurzfassung der Vorträge und weitere Informationen zu KLIWA sind im Internet unter www.kliwa.de verfügbar. Voraussichtlich ab Herbst 2017 wird dort auch der Tagungsband zum 6. KLIWA Symposium bereitgestellt.

## Anschrift der Verfasser:

Alana Steinbauer Holger Komischke Maria Foltyn Bayerisches Landesamt für Umwelt Hans-Högn-Str. 12, 95030 Hof Alana.Steinbauer@lfu.bayern.de, Holger.Komischke@lfu.bayern.de, Maria.Foltyn@lfu.bayern.de

Wolfgang Hennegriff Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Griesbachstraße 1- 3, 76185 Karlsruhe Wolfgang. Hennegriff@lubw.bwl.de Dr. Andreas Meuser Christian Iber Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz Kaiser-Friedrich-Straße 7 55116 Mainz Andreas.Meuser@lfu.rlp.de, Christian.Iber@lfu.rlp.de

Dr. Monika Rauthe Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach Monika.Rauthe@dwd.de