

# Sonderthema

## Klimaänderungsfaktoren bei Planungen für den Hochwasserschutz

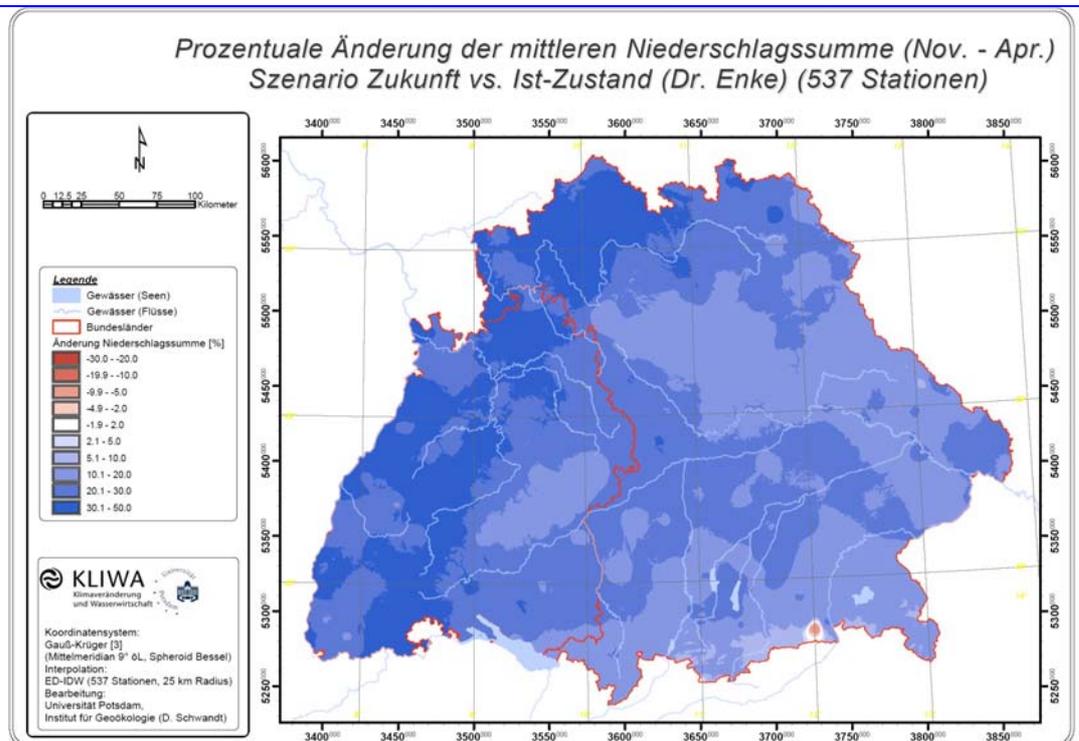
Unter den Klimaforschern ist es weltweit mittlerweile unstrittig, dass die beobachtete globale Temperaturerhöhung nicht nur den natürlichen Klimaeinflüssen und Klimaschwankungen zu zuschreiben, sondern mit als Folge des anthropogenen ‚Treibhauseffekts‘ einzustufen ist. Um die Entwicklung des weltweiten und des regionalen Klimas einzuschätzen, rechnen die Klimaforscher Klimaszenarien mit immer leistungsfähigeren Klimamodellen. Alle diese Klimamodelle sagen eine globale Erwärmung voraus und können mit entsprechenden Emissionsszenarien den Temperaturverlauf der letzten 100 Jahre recht gut nachbilden. Die prognostizierte globale Temperaturzunahme der kommenden 50 bis 100 Jahre schwankt je nach Klimamodell und

Emissionsszenario zwischen 2°C und 6°C [1]. Es ist zu erwarten, dass in Folge der zur Verfügung stehenden höheren Wärmeenergie auch der globale Wasserkreislauf intensiviert wird.

Die Auswirkungen auf den regionalen Wasserhaushalt sind jedoch je nach Klimaregion unterschiedlich und durch die Auflösung der globalen Klimamodelle nur unscharf beschrieben. Die Wasserwirtschaftsverwaltungen von Baden-Württemberg und Bayern haben deshalb zusammen mit dem Deutschen Wetterdienst in den letzten Jahren umfangreiche Untersuchungen im Rahmen des Kooperationsvorhabens KLIWA [2] mit dem Ziel durchgeführt, die regionalen Klimaänderungen und die Konsequenzen für die Wasserwirtschaft in Süddeutschland abschätzen zu können.

Hierzu wurden drei verschiedene regionale Klimamodelle verwendet, um ein Szenario des globalen Klimamodells ECHAM4 auf den regionalen Maßstab herunterzukalieren, nachdem durch eine Voruntersuchung klar war, dass es kein optimales Verfahren zum regionalen Downscaling gibt.

Abb. 1:  
Änderung der Niederschlagssumme [%] im Winterhalbjahr im MR-Szenario gegenüber heute.



Aus den verwendeten regionalen Klimamodellen wurde ein statistisches Verfahren ausgewählt, welches für das Downscaling statistische Beziehungen zwischen großräumigen Druckfeldern ("Wetterlagen") und lokalen Wetterstationsdaten nutzt. Für die hydrologischen Fragestellungen erscheint dieser

Modellierungsansatz derzeit am geeignetsten [3]. In diesem Szenario erhöhen sich die künftigen Niederschläge deutlich gegenüber dem derzeitigen Klima, wobei die Zunahme weitgehend im Winterhalbjahr stattfindet (Abb. 1). Letzteres deckt sich auch mit den KLIWA-Trendanalysen zum

historischen Niederschlagsverhalten, die im Winter die stärksten Veränderungen zeigen [4, 5].

Die Daten der regionalen Klimaszenarien wurden dann als Eingangsgrößen für die Wasserhaushaltsmodelle (WHM) verwendet, um Aussagen über die Auswirkungen der Klimaänderung auf den Wasserhaushalt (z.B. Abflüsse in den Gewässern) treffen zu können [6, 7]. In Bayern ist bisher für die Flussgebiete nördlich der Donau das WHM ASGi-WaSim angepasst worden. Die Wasserhaushaltsmodellierungen konzentrierten sich zunächst auf die mögliche Veränderung des Abflussgeschehens in der Zukunft, wobei zuerst die Auswirkungen bei den Hochwasserabflüssen im Blickfeld waren. Die ermittelten Abflüsse aus der Wasserhaushaltsmodellierung wurden dafür mit Methoden der Extremwertstatistik analysiert.

In Bayern liegen derzeit Simulationsergebnisse für 50 Pegel im Maingebiet vor. Exemplarisch werden hier die Ergebnisse für die Pegel Wolfsmünster (Fränkische Saale) sowie Kemmern im Oberen Main-Gebiet vorgestellt (Abb. 2) [8]. Die Ergebnisse lassen eine deutliche Zunahme der mittleren Hochwasser (MHQ), teilweise aber auch der extremen Abflüsse, erwarten. Auch wenn die Ergebnisse aus der Modellkette (Globalmodell – regionales Klimamodell – Wasserhaushaltsmodelle) und den Modellannahmen noch mit Unsicherheiten behaftet sind, zeigen sie alle in dieselbe Richtung, so dass von einer Hochwasserverschärfung durch die Klimaveränderung für den betrachteten Zeitraum bis zum Zieljahr 2050 in Bayern auszugehen ist.

### **Anpassung der Hochwasserschutzplanungen**

Vor diesem Hintergrund galt es aus Vorsorgegründen, für den Bereich des Hochwasserschutzes eine Anpassungsstrategie zu entwickeln, die zwar die mögliche Entwicklung der nächsten Jahrzehnte berücksichtigt, aber auch den bestehenden Unsicherheiten Rechnung trägt. Festlegungen sollten daher als Kernpunkt enthalten, dass sie einerseits langfristig unschädlich und gleichzeitig bei Bedarf (z.B. bei neuen Erkenntnissen der Klimaforschung) anpassbar sind („flexible and no regret“-Strategie) [9].

Die Auswertungen gaben Anlass, den bisherigen Weg bei der Festlegung von Bemessungsabflüssen zu modifizieren und auf Grund des Klimawandels einen „Lastfall Klimaänderung“ zu berücksichtigen. Anhand von Fallbeispielen aus der Praxis wurde dazu nachgewiesen, dass eine Berücksichtigung der

erwarteten Auswirkungen der Klimaänderung bei technischen Hochwasserschutzmaßnahmen in den meisten Fällen zu relativ moderaten Kostensteigerungen geführt hätte, wenn dieser Lastfall bereits bei der Planung berücksichtigt und beim Bau zumindest entsprechende Vorkehrungen für eine spätere Anpassung getroffen worden wären. Nachträgliche Anpassungen sind hingegen meist mit sehr hohen Kosten verbunden [10].

### **Erhöhung der bisherigen Bemessungsabflüsse**

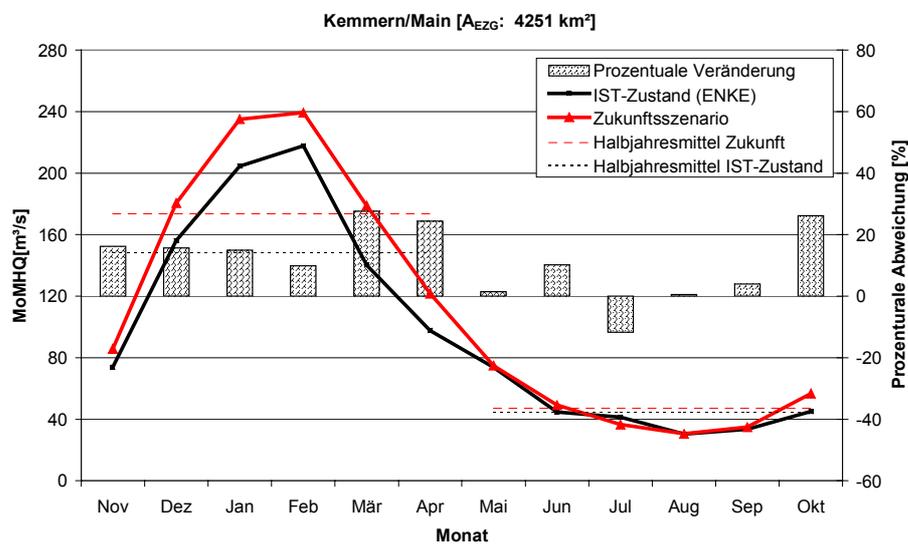
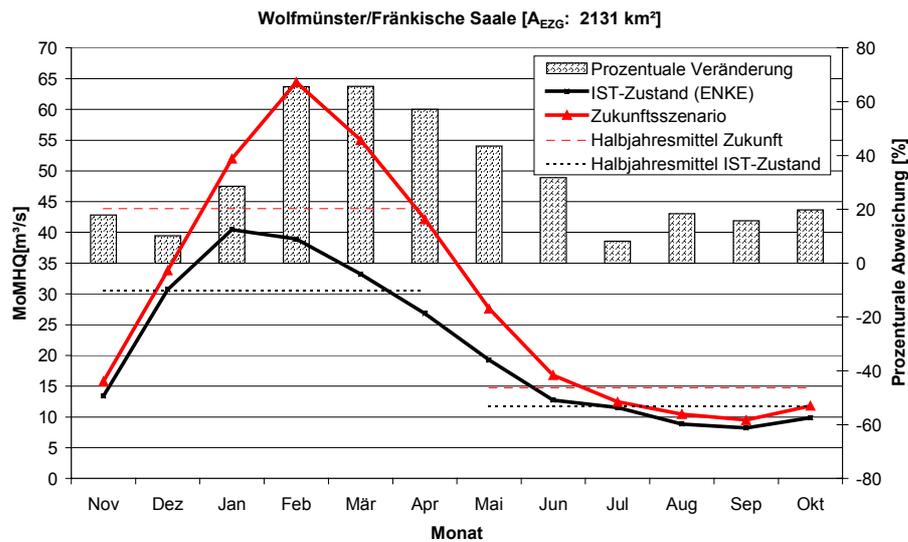
Bei der Bemessung von Hochwasserschutzmaßnahmen wird künftig der Lastfall Klimaänderung berücksichtigt. Zur Entwicklung des Bemessungsabflusses werden den Grundlagen aus der hydrologischen Extremwertstatistik (bspw.  $HQ_{100}$ ) deshalb Zuschläge ("Klimaänderungsfaktor") im Planungsverfahren zugegeben.

Um die Größe des Klimaänderungsfaktors abschätzen zu können, wurden die Ergebnisse der im Rahmen von KLIWA erstellten regionalen Klimaszenarien als Eingangsgrößen für Wasserhaushaltsmodelle genutzt und die ermittelten Abflüsse aus der Wasserhaushaltsmodellierung extremwertstatistisch ausgewertet. Die Ergebnisse des Zukunftsszenarios wurden mit denen des Ist-Zustandes verglichen. Daraus wurden für verschiedene Jährlichkeiten aus den bisherigen Ergebnissen des KLIWA-Projekts Klimaänderungsfaktoren abgeleitet. Für die Bemessungsabflüsse beim Lastfall Klimaänderung ( $BHQ_{Tn,K}$ ) können die aus der hydrologischen Extremwertstatistik vorliegenden Abflüsse  $HQ_{Tn}$  direkt mit dem Klimaänderungsfaktor  $f_{T,K}$  erhöht werden:

$$BHQ_{Tn,K} = f_{T,K} \cdot HQ_{Tn}$$

In Bayern ist zunächst ein pauschaler Zuschlagsfaktor von  $f_{T,K} = 1,15$  für Hochwasserabflüsse der Jährlichkeiten bis zum  $HQ_{100}$  eingeführt worden [11], der jedoch in begründeten Fällen auch regional modifiziert werden kann. Der pauschale Klimaänderungsfaktor ist bei geringeren Jährlichkeiten als  $HQ_{100}$  in gleicher Größe (15% Zuschlag) anzuwenden. Für  $HQ_{200}$  ist der Klimaänderungsfaktor zu halbieren (7,5 %). Bei höheren Jährlichkeiten ( $HQ_{500}$  und darüber) – wie z.B. bei der Bemessung von Talsperren und Rückhaltebecken – kann hingegen auf einen Zuschlag verzichtet werden. Damit wird derzeit bereits dem Vorsorgegedanken Rechnung getragen.

Vergleich der mittleren monatlichen Hochwasserabflüsse (MoMHQ) für den Ist-Zustand und für das Zukunftsszenario und der relativen Abweichungen für die Pegel Wolfsmünster/Fränkische Saale sowie Kempten/Oberer Main [8].



Die Ermittlung der Bemessungsfüllen (Ganglinien) ist wie bisher, aber unter Berücksichtigung des erhöhten Abflussscheitels durchzuführen. Wird der um den Klimafaktor erhöhte HQ<sub>100</sub>-Wert als Bemessungsabfluss gewählt, kann bei linearen N-A-Modellen (bspw. Abflussbeiwertverfahren, die nicht von der Niederschlagsintensität abhängen kombiniert mit Einheitsganglinienverfahren) der Niederschlag um 15 % erhöht werden. Werden nichtlineare Modelle (bspw. Flussgebietsmodelle für größere Flussgebiete) verwendet oder werden bei der Festlegung des Bemessungshochwassers weitere Faktoren berücksichtigt, ist der Niederschlag für alle Niederschlagsdauerstufen um den gleichen Prozentsatz so anzupassen, dass bei der kritischen Niederschlagsdauer der Bemessungsscheitelabfluss modelliert wird. Eine Fortschreibung der Klimaänderungsfaktoren als von der Jährlichkeit

abhängige, regional festgelegte Größe ist bei entsprechendem Kenntnisgewinn zu gegebener Zeit vorgesehen.

Der Lastfall Klimaänderung wird bei Planungen von neuen Hochwasserschutzmaßnahmen in der Regel mitberücksichtigt. In begründeten Einzelfällen kann aber auch der Verzicht auf die Anwendung des Klimaänderungsfaktors angebracht sein. Beispielsweise sollte der Bemessungsabfluss an Grenzgewässern nicht einseitig verändert werden. Diese Vorgehensweise ist für staatliche Hochwasserschutzplanungen mit Ministerialschreiben eingeführt [11]. Eine vergleichbare Vorgehensweise wurde den Trägern nichtstaatlicher Vorhaben empfohlen. In Baden-Württemberg wurde eine ähnliche Vorgehensweise mit regional weiter differenzierten Zuschlagsfaktoren eingeführt [12].

Die Anwendung des Lastfalls Klimaänderung ist für Hochwasserschutzkonzepte, mit deren Umsetzung bereits begonnen wurde bzw. deren Umsetzung bereits abgeschlossen ist, derzeit nicht vorgesehen.

Die nachfolgend aufgeführten Beispiele sollen verdeutlichen, wie unter dem Aspekt erhöhter Bemessungswerte, also der Berücksichtigung des Lastfalls Klimaänderung, bei der Umsetzung von Planungen vorgegangen werden kann:

- Planung eines Hochwasserdammes: Der Damm wird nach derzeitigen Vorgaben gebaut, es werden jedoch zusätzliche Maßnahmen vorgenommen, die nach bisherigen Planungsgesichtspunkten nicht erforderlich wären. Zum Beispiel wird zusätzlich ein Geländestreifen auf der Luftseite beansprucht und freigehalten, der eine zukünftig ggf. notwendige Dammerhöhung ohne zusätzliche Probleme ermöglicht.
- Neue Bauobjekte, bei denen eine zukünftige Änderung und Anpassung nicht oder nur sehr aufwändig möglich ist (z.B. Brücken), sollten sofort auf zukünftig ggf. erhöhte Bemessungsgrößen beim Wasserstand ausgelegt werden.
- Neue Bauobjekte, bei denen eine zukünftige Anpassung weniger problematisch ist (z.B. Ufermauern), sollten hinsichtlich ihrer Konstruktionsmerkmale (z.B. der Statik) über den derzeitigen Bedarf hinaus so ausgelegt werden, dass eine ggf. später notwendig werdende Anpassung (z. B. Erhöhung durch feste oder mobile Elemente) kostengünstig möglich ist.

Ausgehend von den Erkenntnissen der globalen Klimaforschung über den Klimawandel haben die Wasserwirtschaftsverwaltungen der Länder Baden-Württemberg und Bayern in Kooperation mit dem Deutschen Wetterdienst und unter Mitwirkung der Bundesanstalt für Gewässerkunde das breit angelegte Untersuchungsprogramm KLIWA begonnen. Die bisherigen Erkenntnisse haben nicht zuletzt auch unter Vorsorgegesichtspunkten bereits zu konkreten Konsequenzen geführt. Bei der Bemessung von Hochwasserschutzplanungen werden die erwarteten Folgen des Klimawandels bereits jetzt berücksichtigt. Die Untersuchung der Auswirkungen des Klimawandels in weiteren wasserwirtschaftlichen Bereichen, zunächst hinsichtlich der künftigen Entwicklung der Niedrigwasserabflüsse und der Grundwasserneubildung, wird derzeit angegangen. Den KLIWA-Partnern ist dabei bewusst, dass die bislang gewonnenen Erkenntnisse noch erhebliche Unsicherheiten beinhalten. Mit den Fortschritten der weltweiten Klimaforschung und der Verbesserung der Modellierungsinstrumente werden sich die bisherigen Erkenntnisse zwangsläufig auch fortentwickeln müssen. Mit der Aufstellung von Wasserhaushaltsmodellen für die einzelnen Flussgebiete können weitere Untersuchungen verhältnismäßig einfach weitergeführt werden. Die Wasserwirtschaft passt sich so im Sinne der Vorsorge an verändernde Verhältnisse an. Letztlich wird aber der Klimawandel eine nicht nur wasserwirtschaftliche sondern auch große gesellschaftliche Herausforderung.

#### Quellenangaben Literatur und Internet

- [1] IPCC (2001): Climate change 2001, Summary for Policymakers, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge
- [2] Arbeitskreis KLIWA (2006): Kooperationsvorhaben KLIWA. <http://www.kliwa.de>
- [3] Arbeitskreis KLIWA (2005): KLIWA-Kurzbericht Regionale Klimaszenarien. KLIWA. <http://www.kliwa.de/de/ergebnisse/media/kurzregioklisze.pdf>
- [4] Arbeitskreis KLIWA (2003): Projekt A 1.1.3: Langzeitverhalten von Starkniederschlägen in Bayern und Baden-Württemberg. <http://www.kliwa.de/de/ergebnisse/content4.html>
- [5] Arbeitskreis KLIWA (2005): Projekt A 1.1.2: Langzeitverhalten von Gebietsniederschlägen in Baden-Württemberg und Bayern. <http://www.kliwa.de/de/ergebnisse/content12.html>
- [6] Gerlinger, K. (2005): Simulation des Wasserhaushalts im Neckareinzugsgebiet unter Verwendung regionaler Klimaszenarien. <http://www.kliwa.de/de/ergebnisse/content11vortrag6.html>
- [7] Barth, E., T. Molnar, H. Øverland (2005): Simulation des Wasserhaushalts für das Obere Maingebiet. <http://www.kliwa.de/de/ergebnisse/content11vortrag7.html>
- [8] Arbeitskreis KLIWA (2006): Regionale Klimaszenarien. Auswirkungen auf den Wasserhaushalt. KLIWA-Heft 8 (in Vorbereitung), 97 S.

- [9] Katzenberger, B. (2005): Bisherige Erkenntnisse aus KLIWA – Handlungsempfehlungen.  
<http://www.kliwa.de/de/ergebnisse/content11vortrag12.html>
- [10] Wald, J. (2005): Auswirkungen der Klimaveränderungen auf Planungen – Praxisbeispiele.  
<http://www.kliwa.de/de/ergebnisse/content11vortrag13.html>
- [11] StMUGV (2004): Berücksichtigung von möglichen Klimaänderungen – Interner Erlass Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, unveröffentlicht.
- [12] Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (2005): Leitfaden „Festlegung des Bemessungshochwassers für Anlagen des technischen Hochwasserschutzes“, Karlsruhe.