

Auswirkungen des Klimawandels auf den Hochwasserschutz in Baden-Württemberg

Von Wolfgang Hennegriff und Jürgen Reich*

1. Anlass

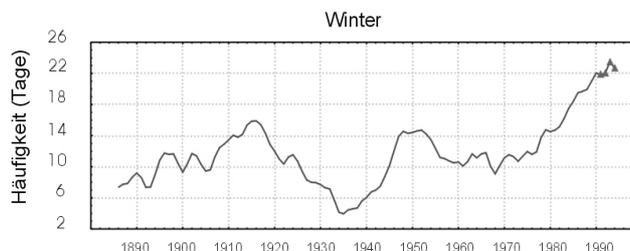
Als das Kooperationsvorhaben KLIWA (Klimaänderung und Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft) 1999 zusammen mit Bayern und dem Deutschen Wetterdienst ins Leben gerufen wurde, stand die konkrete Frage im Raum, wie sich die Klimaänderung in den nächsten 50 Jahren auf den Hochwasserabfluss in Süddeutschland auswirken wird. Dabei galt es zunächst, die Häufung der Hochwasserereignisse seit den 1970er-Jahren hydrologisch zu bewerten und Lösungsansätze zu entwickeln, um die Folgen der Klimaentwicklung auch regional abschätzen zu können. Schließlich musste die Frage beantwortet werden, wie die Klimaänderung in hydrologischer Hinsicht quantifiziert werden kann, um Anlagen des technischen Hochwasserschutzes gegen mögliche Hochwasserverschärfungen besser dimensionieren zu können.

2. Hochwasserentwicklung im 20. Jahrhundert

Untersuchungen der vorhandenen langen Messreihen hydrometeorologischer und hydrologischer Größen können Aufschluss über die bisher beobachteten natürlichen Schwankungsbreiten und eventuell erkennbaren Veränderungen geben. Solche Untersuchungen sind auf der Grundlage einer großen Datenbasis im Rahmen von KLIWA systematisch für Baden-Württemberg durchgeführt worden. Dabei ist das Langzeitverhalten der Hochwasserabflüsse, der mittleren Abflüsse, der Gebiets- und Starkniederschläge, der Lufttemperatur, der Verdunstung und der Schneedeckendauer für die Zeitreihen im 20. Jahrhundert analysiert worden.

Den Trenduntersuchungen lagen die Jahres- bzw. Monatshöchstwerte der Abflüsse an 107 Pegeln zugrunde, die über lange Beobachtungszeitreihen seit mindestens

Abb. 1: Entwicklung der Wetterlagen „Westlage zyklonal“: Im hydrologischen Winterhalbjahr haben gerade die für die Hochwasserbildung bedeutsamen Niederschlag bringenden Wetterlagen „Westlage zyklonal“ seit den 1970er-Jahren in Süddeutschland zugenommen.



1931 verfügen. Betrachtet man die letzten 30 Jahre, zeigen sich bei den Höchstabflüssen bei vielen Pegeln zunehmende Trends. Dabei wurde festgestellt, dass bei einer Vielzahl von Einzugsgebieten die Häufigkeit von Winterhochwasser seit den 1970er-Jahren zugenommen hat und dass die monatlichen Hochwasserabflüsse im hydrologischen Winterhalbjahr ab den 1970er-Jahren höher als in der Zeit davor waren.

Diese Verschärfung der Hochwasserlagen wird einerseits mit der Erhöhung der durchschnittlichen Lufttemperatur, andererseits mit der Zunahme der zyklonalen Westwetterlagen in Verbindung gebracht.

3. Prognosen für die künftige Klimaentwicklung

Da im 21. Jahrhundert mit einem weiteren deutlichen Anstieg der mittleren Lufttemperatur zu rechnen ist, liegt die Frage na-

he, wie in diesem Jahrhundert sich die meteorologischen, hydrometeorologischen und hydrologischen Parameter als Folge veränderter atmosphärischer Umweltbedingungen, insbesondere durch die Zunahme der Konzentrationen an Treibhausgasen, verändern und wie sich die Hochwasserabflüsse im 21. Jahrhundert entwickeln werden.

Untersuchungen belegen, dass gegenüber der vorindustriellen Zeit der CO₂-Gehalt der Atmosphäre von 280 ppm (parts per million = 0,028 Prozent) heute auf 380 ppm (= 0,038 Prozent) angestiegen ist. Die atmosphärischen Konzentrationen der Treibhausgase Kohlendioxid, Methan und Lachgas sind die höchsten seit mindestens 650.000 Jahren. Das Ausmaß, in dem diese Gase heute den Treibhauseffekt verstärken, ist in den letzten 20.000 Jahren ohne Beispiel. Die jährliche Zunahme der CO₂-Konzentration beträgt gegenwärtig 1,5 ppm.

Jährliche Höchstabflüsse HQ(J) 1932-1998 (hydrologisches Jahr)

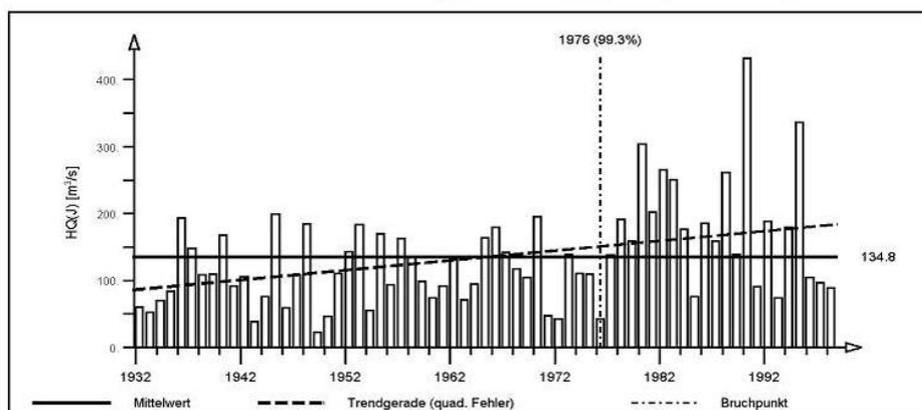


Abb. 2: Analyse der jährlichen Hochwasserabflüsse am Pegel Beuron/Donau

* Die Autoren sind Mitarbeiter in der Abt. 5 – Wasser und Boden – des Umweltministeriums Baden-Württemberg.

Um die weitere Entwicklung des Erdklimas realistisch abschätzen zu können, musste daher neben den natürlichen Klimafaktoren der „Faktor Mensch“ berücksichtigt werden. Dazu wurden vom Sachverständigen-Gremium „Intergovernmental Panel on Climate Change“ (IPCC) der Vereinten Nationen so genannte Emissionsszenarien entwickelt. In diese Szenarien fließt ein, wie sich die Weltbevölkerung entwickeln wird, welchen Lebensstandard sie anstrebt, welche Energieträger sie verwenden und wie viel Energie sie verbrauchen wird.

Antworten auf die Klimaentwicklung auf regionaler Ebene mit Hilfe von globalen Klimamodellen können nicht gegeben werden, da diese sehr grobmaschig mit Gitterweiten von 250 km angelegt sind. Deshalb wurden im Projekt KLIWA zunächst regionale Klimamodelle entwickelt. Da es für die Abschätzung der künftigen Klimaentwicklung auf regionalem Maßstab noch kein optimales Verfahren gab, wurden drei verschiedene Institutionen beauftragt, regionale Klimaszenarien mit drei unterschiedlichen Verfahren zu erstellen.

3.1 Lufttemperatur

Die bodennahe Lufttemperatur spielt im Wasserkreislauf eine zentrale Rolle, da sie die Aufnahmefähigkeit für Wasserdampf in einer Luftmasse sowie die Verdunstung beeinflusst. Ein Anstieg der mittleren globalen Temperatur treibt die Intensität des Wasserkreislaufes stärker an. Mit der Erwärmung der Atmosphäre ist ebenso eine Erwärmung der Ozeane und Meere verbunden. Durch den Anstieg der mittleren Wassertemperatur und insbesondere der Wasseroberflächentemperatur steigt auch die Höhe der mittleren Verdunstung. Demnach können atlantische Luftströmungen mehr Feuchtigkeit nach Mitteleuropa transportieren.

Bei der Lufttemperatur handelt es sich um eine hydrometeorologische Größe, die im Zusammenhang mit der Klimaänderung in den Klimamodellen am besten simuliert werden kann. Die erwartete Temperaturzunahme im Winter ist außerdem von besonderer Bedeutung, da die Temperatur großen Einfluss auf die Zwischenspeicherung von Niederschlag als Schnee hat und somit entscheidend für die zukünftig zu erwartenden Abflussverhältnisse sein kann.

Nach den Ergebnissen, die mit Hilfe regionaler Klimamodelle berechnet wurden, wird die Lufttemperatur in Baden-Württemberg auch in der Zukunft weiter deutlich zunehmen. Die Temperaturzunahme bis 2050 beträgt im Jahresdurchschnitt zirka 1,7° C. Im Winter ist die Zunahme mit zirka 2° C am stärksten, während die Zunahme im Sommer zirka 1,4° C beträgt.

3.2 Niederschlag

Die Berechnungsergebnisse der Klimaszenarien prognostizieren ebenfalls gravierende Veränderungen im Niederschlagsverhalten. Die Niederschläge werden sich im hydrologischen Sommerhalbjahr in Baden-Württemberg regional sehr unterschiedlich entwickeln: In manchen Regionen können die Niederschläge bis zu 20 Prozent geringer ausfallen. Andererseits ist zu erwarten, dass die Winterniederschläge deutlich zunehmen werden (siehe Abb. 4). Je nach Region kann die unterschiedlich stark ausgeprägte Zunahme bis zu 35 Prozent betragen. Markant für die jährlichen Niederschlagssummen mit relativ hohen Änderungen sind die Bereiche Schwarzwald, Kraichgau und Odenwald.

Im Sommer ergeben sich kaum Veränderungen der Anzahl der Nasstage (Tage mit mehr als 25 mm Niederschlag), im Schwarzwald und Allgäu sogar Abnahmen bei der Anzahl dieser Tage mit hohen Niederschlägen. Im Winter gibt es an fast allen Stationen in Baden-Württemberg Zunahmen. Die deutlichsten Zunahmen gibt es im Schwarzwald an höher gelegenen Stationen (zum Beispiel in den Stationen Freudenstadt, Höchenschwand, Bad Rippoldsau). Hier steigt die Anzahl von 8 auf 14 Tage.

Quantitative Aussagen zur künftigen Entwicklung von konvektiven Kurzzeit-Niederschlägen (Gewitter), die für die Siedlungsentwässerung und für Sommerhochwasser in kleinen Einzugsgebieten von Bedeutung sind, können gegenwärtig von den verfügbaren regionalen Klimamodellen noch nicht erbracht werden.

Um nun Erkenntnisse für mögliche wasserwirtschaftliche Vorsorgeempfehlungen zu gewinnen, wurden die Ergebnisse aus den regionalen Klimamodellen für Berechnungen mit den Wasserhaushaltsmodellen verwendet.

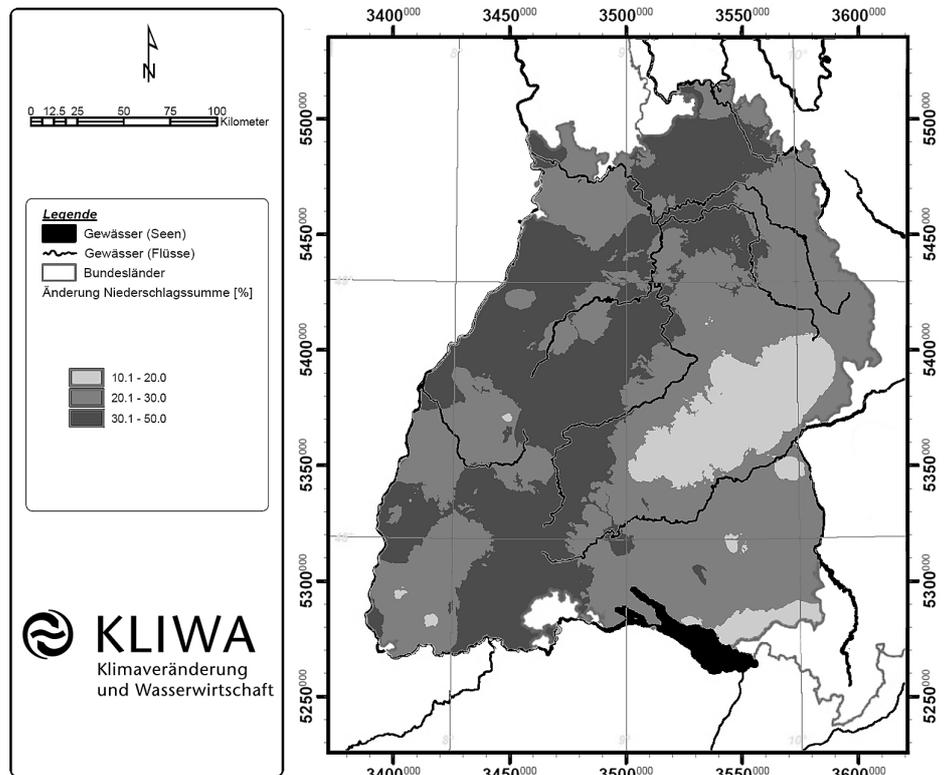


Abb. 3: Änderung der Niederschlagssumme (%) im hydrologischen Winterhalbjahr (November – April)

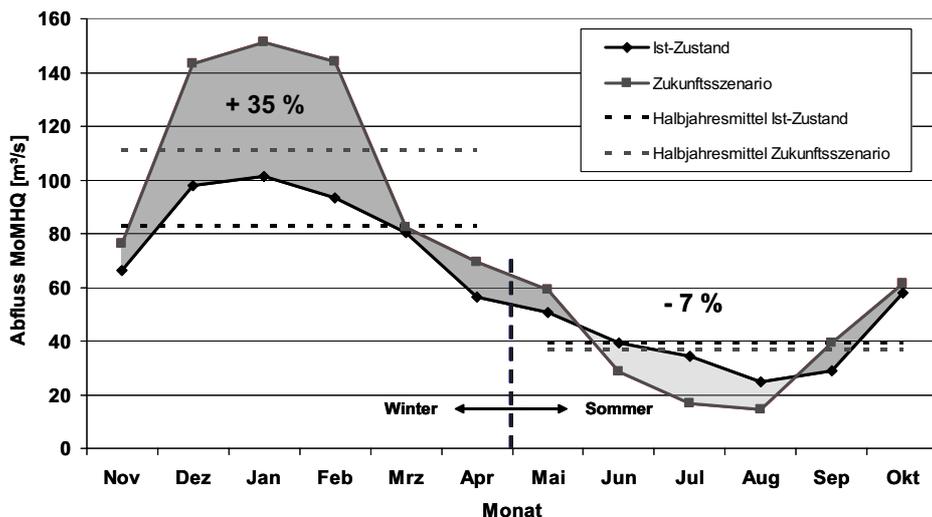


Abb. 4: Jahresgang der mittleren monatlichen Hochwasserabflüsse der Kinzig/Schwarzwald am Pegel Schwaibach: Zunahme der Halbjahresmittel im Winter um 35%, im Januar sogar 50%, dagegen Abnahme im Sommer um 7%, im Juli sogar um 50%. Damit verändert sich der Jahresgang der Kinzig deutlich.

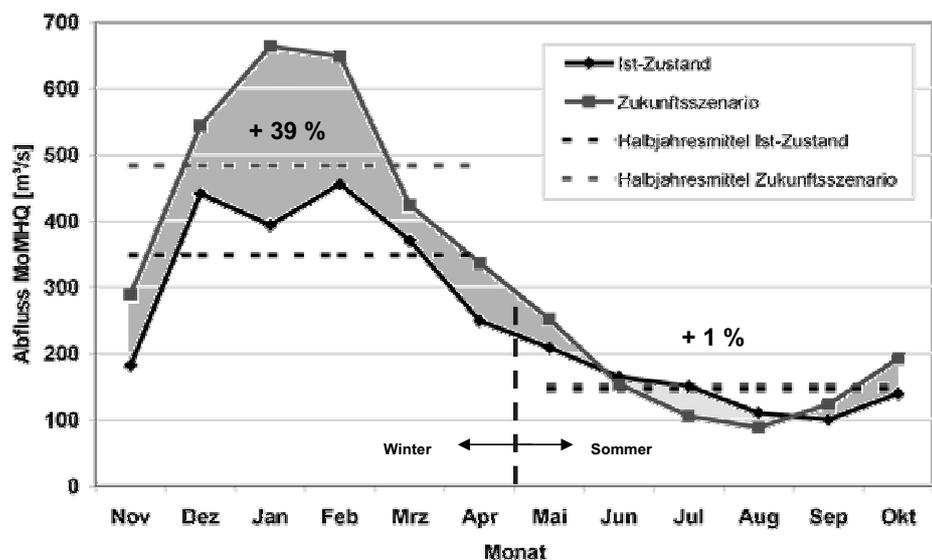


Abb. 5: Jahresgang der mittleren monatlichen Hochwasserabflüsse des Neckar am Pegel Rockenau: Zunahme der Halbjahresmittel im Winter um 39%, im Januar sogar 50%. Dagegen ist das Halbjahresmittel im Sommer nahezu unverändert, im Juli jedoch Abnahme um 33%. Damit verändert sich der Jahresgang des Neckars am Pegel Rockenau deutlich.

4. Prognosen für die künftige Entwicklung des Wasserhaushalts

Wasserhaushaltsmodelle liegen für Baden-Württemberg mit einer Auflösung von 1 Quadratkilometern flächendeckend vor. In Baden-Württemberg wird das Wasserhaushaltsmodell LARSIM (Large Area Runoff Simulation Model) eingesetzt. Für die Höhenangaben wurden die Daten des digitalen Geländemodells Baden-Württemberg verwendet.

Mit Hilfe der Wasserhaushaltsmodelle können alle wesentlichen hydrologischen Kom-

ponenten mit den Ergebnissen der regionalen Klimamodelle über die Dauer des Simulationszeitraums berechnet werden.

4.1 Klimawandel und Hochwasserabflüsse

Die Wasserhaushaltsmodellierungen konzentrierten sich zunächst auf mögliche Veränderungen 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 Extremwert-

statistik vom Institut für Wasser und Gewässerentwicklung der Universität Karlsruhe analysiert.

Um die Änderungen der Extremwerte der Hochwasserabflüsse im Zukunftsszenario und gegenwärtigem Zustand zu quantifizieren, wurden so genannte Klimaänderungsfaktoren für das mittlere Hochwasser MHQ und für die Hochwasserkennwerte der Jährlichkeiten 2, 5, 10, 20, 50, 100 und 200 Jahre gebildet. Faktoren größer 1 bedeuten demnach eine Zunahme des Hochwasserkennwertes, Faktoren kleiner 1 eine Abnahme. Die Ergebnisse in Abbildung 5 lassen eine deutliche Zunahme der mittleren Hochwasser (MHQ), 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 die Faktoren alle in dieselbe Richtung, so dass von einer Hochwasserverschärfung durch die Klimaveränderung für den betrachteten Zeitraum bis zum Jahr 2050 in Baden-Württemberg auszugehen ist.

Die Ergebnisse wurden für die genannten Jährlichkeiten in Karten übertragen. Die Ergebnisse der einzelnen Karten wurden anschließend zu einer Gesamtkarte und einer Tabelle zusammengefasst. Damit ergeben sich für Baden-Württemberg die in Abbildung 6 dargestellten fünf Bereiche mit jeweils unterschiedlichen Klimaänderungsfaktoren. Durch räumliche Zuordnung zu einem der fünf Bereiche stehen Klimaänderungsfaktoren für Einzugsgebiete im Land und für die jeweiligen Jährlichkeiten zur Verfügung. Die entsprechenden Werte sind in der Abbildung 6 zusammengestellt. Gemäß der dort abgebildeten Tabelle können folgende Ergebnisse für die zukünftige Entwicklung der Hochwasserabflüsse festgehalten werden:

- Insbesondere die kleineren und mittleren Hochwasserereignisse werden voraussichtlich landesweit deutlich zunehmen.
- Der Hochwasserkennwert für die Jährlichkeit 100 Jahre erhält einen Zuschlag von 15 Prozent bzw. 25 Prozent.
- Das Extremereignis HQ_{1000} ist für das Zukunftsszenario im Vergleich zu den gegenwärtigen Verhältnissen unverändert, da die Extremwertstatistik auf der vorhandenen Datenbasis eine Änderung dieses Kennwertes gegenwärtig nicht rechtfertigen würde.

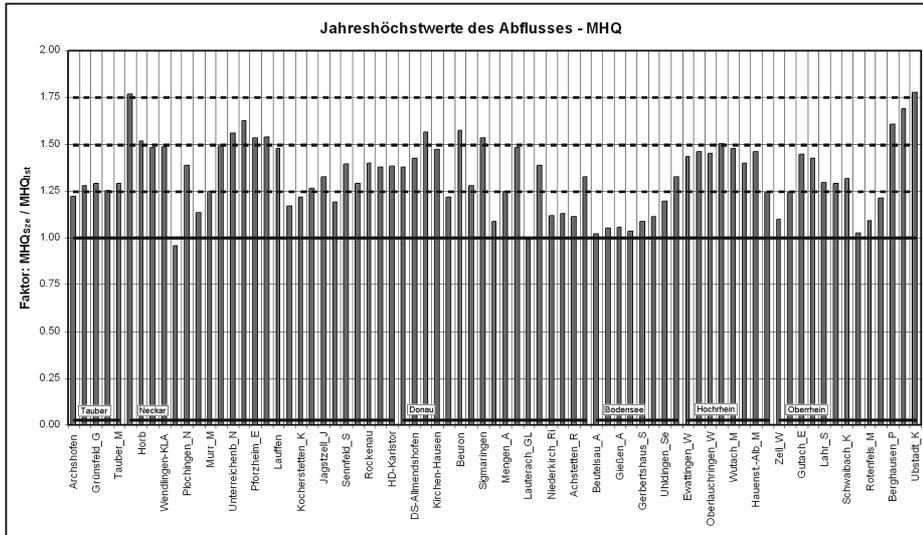


Abb. 6: Zukünftige Veränderung der mittleren Hochwasserabflüsse infolge des Klimawandels

kehrungen für eine spätere Anpassung getroffen worden wären. Nachträgliche Anpassungen sind hingegen meist mit sehr hohen Kosten verbunden.

Der Lastfall Klimaänderung soll deshalb künftig bei Planungen von neuen technischen Hochwasserschutzmaßnahmen mit untersucht werden. Dabei ist aufzuzeigen, welche Konsequenzen sich durch den Lastfall auf die Auslegung der Maßnahmen ergeben und welche Mehrkosten dadurch zu erwarten sind. Aufgrund der dann vorliegenden Erkenntnisse soll entschieden werden, inwieweit die notwendige Anpassung an den künftigen Klimawandel bereits jetzt bei der Ausführung berücksichtigt werden soll. Dabei sind auch Möglichkeiten für eine spätere Nachrüstung in Betracht zu ziehen.

Faktor für Klimaveränderung

Bereiche gleicher Faktoren

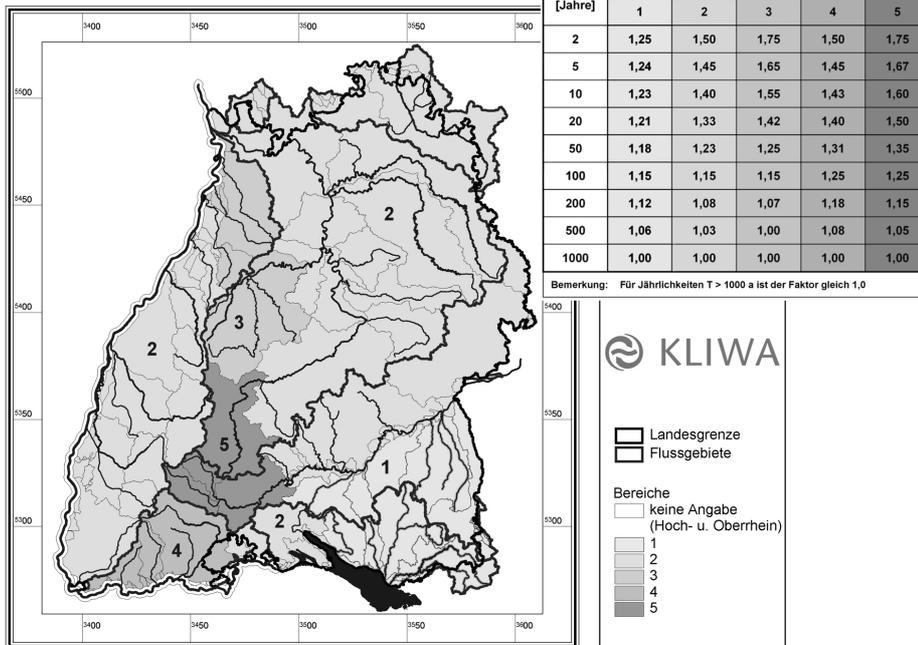


Abb. 7: Regionale Klimaänderungsfaktoren in Baden-Württemberg

5.1 Erhöhung der Bemessungsabflüsse

Dem Lastfall Klimaänderung müssen erhöhte Bemessungsabflüsse zugrunde gelegt werden. Dies erfolgt durch einen Zuschlag („Klimaänderungsfaktor“) zum derzeit gültigen Bemessungswert (zum Beispiel HQ_{100}). In Baden-Württemberg ergeben sich gemäß Abb. 6 je nach Wiederkehrzeit (Jährlichkeit T_n) regional unterschiedliche Klimaänderungsfaktoren.

Für die Abflüsse beim Lastfall Klimaänderung ($HQ_{T_n, Klima}$) können die aus der Hochwasserregionalisierung oder hydrologischen Modellberechnung vorliegenden Hochwasserkennwerte HQ_{T_n} direkt mit dem Klimaänderungsfaktor $f_{T,Klima}$ erhöht werden: $HQ_{T_n, Klima} = f_{T,Klima} \cdot HQ_{T_n}$ (vgl. Abb. 8).

5.2 Beispiele

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 von Hochwasserrückhaltebecken: Eine spätere Anpassung eines Hochwasserrückhaltebeckens (HRB), das nicht auf die hydrologischen Änderungen infolge des Klimawandels ausgelegt ist, ist in der Regel sehr kostenintensiv, sofern eine Anpassung überhaupt technisch möglich ist. Es sind nicht nur die technischen Einzelbauwerke eines HRB anzupassen, sondern

5. 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 (zum Beispiel bei neuen Erkenntnissen der Klimafor-schung) anpassbar sind.

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 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 Vor-

HQ_T (Regionalisierung)

Klimaänderung
 $HQ_{T,Klima} = f_{T,Klima} \times HQ_T$

T (Jahre)	HQ _T (m ³ /s)
2	140
5	205
10	250
20	292
50	346
100	388
200	434
500	504
1000	543

Klimaänderungsfaktor	HQ _{T,Klima} (m ³ /s)
1,50	210
1,45	298
1,40	350
1,23	388
1,23	425
1,15	446
1,08	468
1,03	519
1,00	543

Abb. 8: Lastfall Klimaänderung Beispiel Forbach/Murg

auch das notwendige Beckenspeichervolumen, das bei Zunahmen der Niederschlagshöhen und Niederschlagsdauern sich deutlich vergrößern 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 zukünftige notwendige Dammerhöhung ohne zusätzliche Probleme ermöglicht.
- Neue Bauobjekte, bei denen eine zukünftige Änderung und Anpassung nicht oder nur sehr aufwändig möglich ist (zum Beispiel Brücken, Durchlässe), sollten sofort auf zukünftige erhöhte Bemessungsgrößen beim Wasserstand ausgelegt werden.
- Neue Bauobjekte, bei denen eine zukünftige Anpassung weniger problematisch ist (zum Beispiel Ufermauern), sollten hinsichtlich ihrer Konstruktionsmerkmale (zum Beispiel der Statik) über den derzeitigen Bedarf hinaus so ausgelegt werden, dass eine ggf. später notwendige Anpassung (zum Beispiel Erhöhung durch feste oder mobile Elemente) kostengünstig möglich ist.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Kleinere und mittlere Hochwasserereignisse werden voraussichtlich infolge des Klimawandels landesweit zunehmen. Für den Hochwasserabfluss der Wiederkehrzeit 100 Jahre wird zu einem Zuschlag von

15 Prozent bzw. 25 Prozent zu den bisherigen Hochwasserkennwerten bei der Bemessung von neuen Hochwasserschutzanlagen geraten.

Die Vorgehensweise beim Lastfall Klimaänderung bei neuen Hochwasserschutzplanungen ist in Baden-Württemberg in den Leitfaden „Festlegung des Bemessungshochwassers für Anlagen des technischen Hochwasserschutzes“ mit einer Sammlung von Beispielen aufgenommen worden. Zusammen mit der Regionalisierung der Hochwasserkennwerte „Abflusskennwerte in Baden-Württemberg“, die flächendeckend für Baden-Württemberg vorliegt, ist damit die Berücksichtigung des Klimawandels bei den Auswirkungen auf die Hochwasserabflüsse auf eine landeseinheitliche Basis, die in der Praxis leicht zu handhaben ist, gestellt worden.

In Zeiten des Klimawandels ist dem Vorsorgeprinzip der Wasserwirtschaft verstärkt Beachtung zu schenken. Mit KLIWA werden Grundlagen für eine vorausschauende Daseinsorge entwickelt. Da auch neue Hochwasserschutzplanungen wirtschaftlich sein müssen, sind insbesondere flexible Lösungsansätze, die genauso Möglichkeiten zum Nachjustieren offen lassen, gefragt. Insgesamt ist in der Wasserwirtschaft zur Lösung der kommenden Aufgaben, die durch den Klimawandel ausgelöst werden, ein pragmatisches Vorgehen erforderlich.

Die bisherigen Erkenntnisse haben nicht zuletzt auch unter Vorsorgegesichtspunkten bereits zu konkreten Konsequenzen geführt. Bei der Bemessung von neuen

Hochwasserschutzplanungen können die erwarteten Folgen des Klimawandels bereits jetzt berücksichtigt werden.

Die bislang gewonnenen Erkenntnisse beinhalten noch Unsicherheiten. 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 durch den Klimawandel verschärfte Hochwasserproblematik zeigt aber auch, dass eine Hochwasserschutz-Strategie nicht nur auf der Säule des technischen Hochwasserschutzes gegründet sein sollte, sondern dass die beiden anderen Elemente Hochwasser-Flächenmanagement und Hochwasservorsorge verstärkt verfolgt werden müssen, damit Land, Gemeinden und jede(r) betroffene Bürger(in) vor den zunehmenden Hochwassergefahren gut gerüstet sind.

Hinweis

Zu diesem Thema ist die Broschüre „Unser Klima ändert sich: Folgen – Ausmaß – Strategien“ erschienen. Die Broschüre steht neben anderen Informationen auf der KLIWA-Homepage www.kliwa.de als Download zur Verfügung.

Az. 106.28, 690.20

Leitfaden „Umwelt- und Klimaschutz in Kindertageseinrichtungen“

Umweltministerin Tanja Gönner appellierte heute in Stuttgart an Städte und Gemeinden, für öffentliche Einrichtungen wie Kindergärten und Schulen Anreize zum Energiesparen einzuführen.

Ein neuer vom Umweltministerium herausgegebener Leitfaden „Umwelt- und Klimaschutz in Kindertageseinrichtungen“ enthält Vorlagen und Tipps für Energie-Einspar-Beteiligungsprojekte. Der Leitfaden wendet sich an Städte und Gemeinden sowie Träger von Kindertageseinrichtungen und ist kostenlos erhältlich beim Umweltministerium (E-Mail: poststelle@um.bwl.de) oder bei der Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH KEA (E-Mail: info@kea-bw.de) oder kann im Internet als pdf-Datei heruntergeladen werden unter www.um-baden-wuerttemberg.de/Publikationen-Klimaschutz.

Weitere Informationen über Energie-Einspar-Beteiligungsprojekte im Internet außerdem unter www.kea-bw.de

Quelle: Pressemitteilung des Umweltministeriums vom 16. Januar 2007