

INKLIM 2012 II plus

Klimafolgen in der Wasserwirtschaft (Oberflächengewässer)

Untersuchung der Auswirkungen des Klimawandels auf Hochwasserscheitelabflüsse und Abflussverhalten im Lahnggebiet und im hessischen Maingebiet

Auftragnehmer: Ingenieurbüro Ludwig, Karlsruhe (Modellrechnungen)

Projektbeteiligte:

Dr. Gerhard Brahmer, HLUG, Dezernat W3 „Hydrologie, Hochwasserschutz“ (Projektleiter)
Dr. K.-G. Richter und Christian Iber, Ingenieurbüro Ludwig (Auftragnehmer)

Projekt-Laufzeit: Juli 2007 bis Juni 2008

1. Projektinhalt

1.1 Ursprüngliches Vorhaben

Mittels mittlerweile für Hessen vorliegender hochaufgelöster Wasserhaushaltsmodelle sollen die aus verschiedenen Klimaszenarien zu erwartenden Verschärfungen hinsichtlich des Auftretens von schadbringenden Hochwasserereignissen quantifiziert werden. Dabei sollen insbesondere die für innerhessische Gewässer typischen Einzugsgebiete zwischen 100 und 2000 km² Größe und dort vorhandene operative Hochwassermeldepegel untersucht werden. Die tatsächliche Veränderung von Hochwasserscheitelabflüssen auf dieser Skala ist entscheidend für die Ableitung von Anpassungsmaßnahmen und geänderten Bemessungsgrößen (Klimafaktorenmatrix) für eine nachhaltige Hochwasservorsorge und ein zukunftsweisendes Hochwassermanagement. Dabei soll auch die Wirksamkeit bestehender Hochwasserschutzmaßnahmen unter veränderten Rahmenbedingungen überprüft werden.

Grundlegender Unterschied zur Vorgehensweise in INKLIM 2012 ist die Verwendung einer dynamischen Regionalisierung der Klimaszenarien aus dem globalen Klimamodell ECHAM5 mit dem eingebetteten Modell REMO des MPI-Hamburg. Dadurch sind antreibende Klimadaten in hoher räumlicher (10 km²) und zeitlicher (1 h) Auflösung gegeben, die der hohen Dynamik im Hochwasserabflussgeschehen gerecht werden.

Nach Modellrechnungen für mehrere Teilgebiete im Lahnggebiet ergaben umfangreiche Validierungen der Ergebnisse, dass die Anwendung des regionalen dynamischen Klimamodells REMO zum gegenwärtigen Zeitpunkt zu keinen brauchbaren hydrologischen Ergebnissen (insbesondere für den Hochwasserbereich) führt und dass die beobachteten Abweichungen der REMO-Ergebnisse gegenüber beobachteten Klimadaten nicht durch einfache Skalierungskorrekturen angepasst werden können.

1.2 Aktualisiertes Projekt

Nach den Voruntersuchungen zu den Auswirkungen der Klimaänderung auf das Abflussgeschehen mit dem dynamischen Modell REMO wurden entsprechende Validierungsergebnisse dokumentiert (siehe Kapitel 2.1) und der Projektplan dahingehend angepasst, dass die Klimaauswirkungen auf das Hochwasser- und Abflussgeschehen nun mit den Klimadaten nach dem statistischen Downscaling-Verfahren WETTREG (allerdings mit täglicher Auflösung) durchgeführt wurden. Schwerpunkt des aktualisierten Projekts ist die vergleichende Untersuchung der drei IPCC-Emissions-Szenarien A1B, A2 und B1 im Hinblick auf die Auswirkungen auf das Abflussgeschehen an Pegeln im hessischen Rheineinzugsgebiet. Desweiteren war aufgrund der geänderten Vorgehensweise eine Ausweitung der Untersuchungen auf den gesamten Zeitraum des 21. Jahrhunderts und erstmalig auch die Modellierung des gesamten Mainneinzugsgebiets mit Aussagen für den hessischen Main (Pegel Frankfurt) möglich. Die vergleichende Untersuchung mit den drei Szenarien A1B, A2 und B1 auf Basis des globalen Modells ECHAM5 und der WETTREG-Regionalisierung sowie des Szenariums B2 des globalen Modells ECHAM4 mit der gleichen Regionalisierungsmethodik (für den Zeitraum 2021-2050 aus dem Vorgängerprojekt INKLIM 2012) lässt eine bessere Einordnung der Ergebnisse und deren Variabilität hinsichtlich der Klimafolgewirkungen zu.

2. Ergebnisse

2.1 Validierung der Methodik REMO-LARSIM-Lahn

Als Voruntersuchung wurden für die Lahn die mittleren berechneten Gebietsniederschläge mit Gebietsniederschlägen, die aus Messungen abgeleitet wurden, verglichen. Beim Vergleich der jährlichen, jahreszeitlichen und monatlichen mittleren Gebietsniederschläge zeigt sich bezogen auf die Gesamteinzugsgebietssumme in großen Teilen eine gute Übereinstimmung zwischen den aus REMO-ECHAM5 berechneten und den aus Messungen abgeleiteten Gebietsniederschlägen.

Desweiteren wurden die Häufigkeitsverteilungen für die Mehrtagessummen für die Gebiete berechnet. Es zeigt sich eine gute Übereinstimmung bei den Häufigkeitsverteilungen für gemessene und berechnete Gebietsniederschläge in den niedrigeren Klassen (bis 5 Tage). In den höheren Klassen werden die Abweichungen dagegen größer.

Diese Untersuchungen gaben Anlass mit den stündlichen REMO-ECHAM5-Daten, dem Kontrolllauf (1961-2000) und dem Szenarienrechenlauf A1B (2001-2100) die Abflüsse mit dem Wasserhaushaltsmodell LARSIM zu simulieren. Die Simulationsergebnisse der Abflüsse für den Kontrolllauf (1961-2000) zeigten für mittlere monatliche Abflüsse eine Unterschätzung der gemessenen mittleren monatlichen Abflüsse um ca. 25 % an den Pegeln Leun und Marburg.

Daraufhin wurde die räumliche Verteilung der Niederschläge für den Zeitraum 1971-2000 für den Kontrollrechenlauf mit Messdaten des langjährigen Niederschlags verglichen. Danach ergaben sich örtliche Unterschiede bis zu 300 Prozent. Diese Erkenntnis führte dazu, dass lediglich der Kontrolllauf und das Szenarium A1B für die Lahn durchgerechnet und ausgewertet wurde. Die geplante Untersuchung von anlagenbezogenen Hochwasserkenngrößen wurde zu Gunsten von weiteren Untersuchungen mit den WETTREG-Tageswerten verworfen.

2.2 Ergebnisse der ECHAM5-WETTREG-Szenarien für Lufttemperatur und Niederschlag in Hessen

In den 2004 untersuchten Projektionen des ECHAM4-WETTREG-B2-Szenariums treten für Hessen bereits im Zeitraum 2011-2050 Temperaturzunahmen zwischen +1,2 und +1,8 Grad je nach Dekade auf, während in den ECHAM5-Szenarien (Tabelle 1) diese Erhöhungen erst in dem darauffolgenden 30-Jahreszeitraum eintreten. Das jahreszeitliche Muster der Niederschlagsveränderungen entspricht etwa demjenigen des ECHAM4-Szenariums mit Zunahmen in den Monaten Dezember bis Februar und Abnahmen in den Monaten Juni bis November.

Die regionale Veränderung im Niederschlagsgeschehen zeigt eine gewisse Differenzierung mit geringeren Zunahmen im Winter und stärkeren Abnahmen im Sommer für Nordhessen.

Während der mittlere Jahresniederschlag bis 2050 nicht und in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts um etwa 5 % zunimmt, zeigt sich eine stetige Zunahme der winterlichen Niederschlagsmengen um bis zu +10 % bis Mitte des Jahrhunderts und +20 % bis Ende des Jahrhunderts (Tab. 2). Korrespondierend dazu gehen die Niederschläge im hydrologischen Sommerhalbjahr um etwa 5 % bis Mitte des Jahrhunderts und etwa 10 % bis zum Ende des Jahrhunderts zurück.

Im Vergleich zu dem ECHAM4-WETTREG-Szenarium B2 liefern die Klimaprojektionen nach den neueren ECHAM5-WETTREG-Szenarien ein deutlich schwächeres bzw. später einsetzendes Klimasignal. Grundsätzlich wird hier die Problematik offenbar, dass im Prinzip eine Vielzahl an globalen Klimamodellen mit unterschiedlichen Emissionsszenarien kombiniert werden können und zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Eine bevorzugte Eignung einer bestimmten Kombination ist dabei jedoch nicht gegeben. Wegen des immensen Aufwandes können nur wenige Projektionen ausgewertet werden; wie gut ein mögliches Bild der Zukunft getroffen wurde, bleibt offen.

Tabelle 1: Veränderungen der mittleren Lufttemperaturen (Grad Kelvin) für unterschiedliche Szenarien und 30-Jahreszeiträume im 21. Jahrhundert in Hessen gegenüber dem Zeitraum 1961-2000 (ECHAM5-WETTREG)

Szenarium	Periode		Jahr	Winter	Sommer
A1B	2001-2030	K	0,3	0,4	0,4
A2		K	0,3	0,5	0,5
B1		K	0,6	1,0	0,6
A1B	2021-2050	K	0,9	1,3	0,8
A2		K	0,9	1,4	1,0
B1		K	0,7	1,3	0,6
A1B	2051-2080	K	1,7	2,6	1,8
A2		K	1,8	2,8	1,8
B1		K	1,3	1,9	1,4
A1B	2071-2100	K	2,3	3,7	2,1
A2		K	2,2	3,4	2,1
B1		K	1,8	2,8	1,7

Tabelle 2: Prozentuale Veränderungen der mittleren Niederschläge (Jahr, hydrologisches Winter- und Sommerhalbjahr) für unterschiedliche Szenarien und 30-Jahreszeiträume im 21. Jahrhundert in Hessen gegenüber dem Zeitraum 1961-1990 (ECHAM5-WETTREG)

Szenarium	Periode		Jahr	HJwi	HJso
control run	1961-1990	mm	758,5	367,3	391,2
A1B		%	-0,4	2,1	-2,7
A2	2001-2030	%	0,0	3,8	-3,6
B1		%	0,8	6,1	-4,2
A1B		%	-0,6	5,6	-6,4
A2	2021-2050	%	0,4	7,4	-6,1
B1		%	1,2	6,7	-3,9
A1B		%	1,5	14,6	-10,8
A2	2051-2080	%	5,0	18,1	-7,2
B1		%	0,5	9,5	-7,8
A1B		%	6,5	25,3	-11,2
A2	2071-2100	%	4,9	20,1	-9,3
B1		%	4,1	17,0	-8,0

2.3 Wasserhaushaltssimulation mit den WETTREG-Daten

Für die Untersuchungen stand das beim Auftragnehmer vorliegende Rheinmodell (Ebel, Ludwig, Richter 2001) zur Verfügung, welches bereits bei vergangenen Untersuchungen erstellt und validiert wurde.

Die Untersuchungen wurden für folgende Pegel durchgeführt:

- 1) Bad Vilbel/Nidda (1.619 km²)
- 2) Marburg/Lahn (1.666 km²)
- 3) Leun/Lahn (3.571 km²)
- 4) Kalkofen/Lahn (5.304 km²)
- 5) Harreshausen/Gersprenz (461 km²)
- 6) Hanau/Kinzig (934 km²)
- 7) Frankfurt-Ost/Main (27.292 km²)

Dazu wurden für die vorliegenden Einzugsgebiete mit Hilfe von gemessenen und simulierten Abflüssen an den Pegeln für den Zeitraum 1961 bis 2000 die Modelle validiert. Es zeigte sich eine gute bis sehr gute Übereinstimmung zwischen den gemessenen Abflüssen und den modellierten Abflüssen aus den beobachteten klimatologischen Daten. Einschränkungen ergeben sich bei den kleineren Einzugsgebieten der Kinzig und der Gersprenz.

Im weiteren Verlauf wurden mit Hilfe der statistisch erzeugten Klimadaten (ECHAM5-WETTREG) für jeweils 10 Realisationen für den Istzustand und für die Szenarienzustände A1B, A2 sowie B1(2001 bis 2100) Abflusszeitreihen für die Pegel erzeugt und statistisch ausgewertet. Beim Vergleich der Simulationsergebnisse des Istzustandes (1961-2000) mit den gemessenen und validierten Abflüssen zeigte sich bei allen Parametern (MoMNQ, MoMMQ und MoMHQ) weitgehend eine zufriedenstellende bis gute Übereinstimmung, so dass auf dieser Basis eine Abschätzung der Abflussveränderung unter veränderten Klimabedingungen möglich ist.

2.3.1 Abflussregime und wasserwirtschaftliche Kennwerte

Die mittels der Wasserhaushaltssimulation erzielten Ergebnisse für die mittleren Abflüsse zeichnen zunächst das Bild der Niederschlagsveränderungen nach. Am Beispiel des Lahnpegels Leun (A_{E_0} 3571 km²) sind die erzielten Ergebnisse in Tabelle 3 aufgeführt. Für den jährlichen Gesamtabfluss ergeben sich in der ersten Hälfte des Jahrhunderts keine nennenswerten Veränderungen, danach nimmt der Gesamtabfluss – je nach Szenarium variabel – um etwa 10 % zu. Bei getrennter Betrachtung der Abflüsse für das hydrologische Sommer- und Winterhalbjahr erkennt man über den gesamten Simulationszeitraum eine sich verstärkende Tendenz mit zunehmenden winterlichen (5 bis 10 % in der ersten Hälfte des Jahrhunderts und etwa 20 % danach) und abnehmenden (– 10 % in der ersten Hälfte des Jahrhunderts und -15 bis -20 % danach) sommerlichen Abflussanteilen. Korrespondierend dazu geht auch der mittlere Niedrigwasserabfluss MNQ stetig über das Jahrhundert um bis zu 16 % zurück. Auch für die übrigen untersuchten Pegel ergibt sich dieses typische Bild mit Verlagerung der Abflussanteile vom Sommer- ins Winterhalbjahr und eines erst nach 2050 zunehmenden Gesamtabflusses.

Tabelle 3: Prozentuale Veränderungen der Abflusskennwerte am Pegel Leun/Lahn für unterschiedliche Szenarien und 30-Jahreszeiträume im 21. Jahrhundert gegenüber dem Zeitraum 1961-1990 (ECHAM5-WETTREG)

Szenarium	Periode		MQ	MQ-HJwi	MQ-HJso	MNQ
control run	1961-1990	m³/s	42,5	58,6	26,4	7,9
A1B	2001-2030	%	-1	2	-7	-4
A2		%	-2	0	-7	-4
B1		%	3	8	-10	-5
A1B	2021-2050	%	-2	4	-13	-9
A2		%	1	6	-11	-8
B1		%	4	9	-9	-5
A1B	2051-2080	%	5	17	-22	-16
A2		%	9	21	-16	-13
B1		%	2	10	-15	-10
A1B	2071-2100	%	14	30	-21	-15
A2		%	8	19	-18	-15
B1		%	9	21	-17	-13

2.3.2 Ergebnisse der ECHAM5-WETTREG-Projektionen für die Hochwasserabflüsse

Die mittleren monatlichen Hochwasserabflüsse zeigen eine Zunahme in den Monaten Dezember bis Februar, den per se typischen Hochwassermonaten in Hessen, um bis zu 10 % in den kommenden 50 Jahren und bis ca. 30 % in dem darauffolgenden Zeitraum (vgl. Abb. 1 Pegel Leun). In den Sommermonaten gehen die mittleren monatlichen Hochwasserabflüsse etwas zurück. Dabei ist allerdings zu betonen, dass es sich bei den langjährigen mittleren monatlichen Hochwasserabflüssen um Hochwasser mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von kleiner gleich 2 Jahren handelt, diese Hochwasserscheitelabflüsse sind für den Hochwasserschutz weniger bedeutsam. Die Veränderung des mittleren Hochwasserabflusses MHQ am Pegel Leun zeigt sich in einer Zunahme bis 5 % in der ersten Hälfte des Jahrhunderts und um etwa 10 bis 20 % in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts.

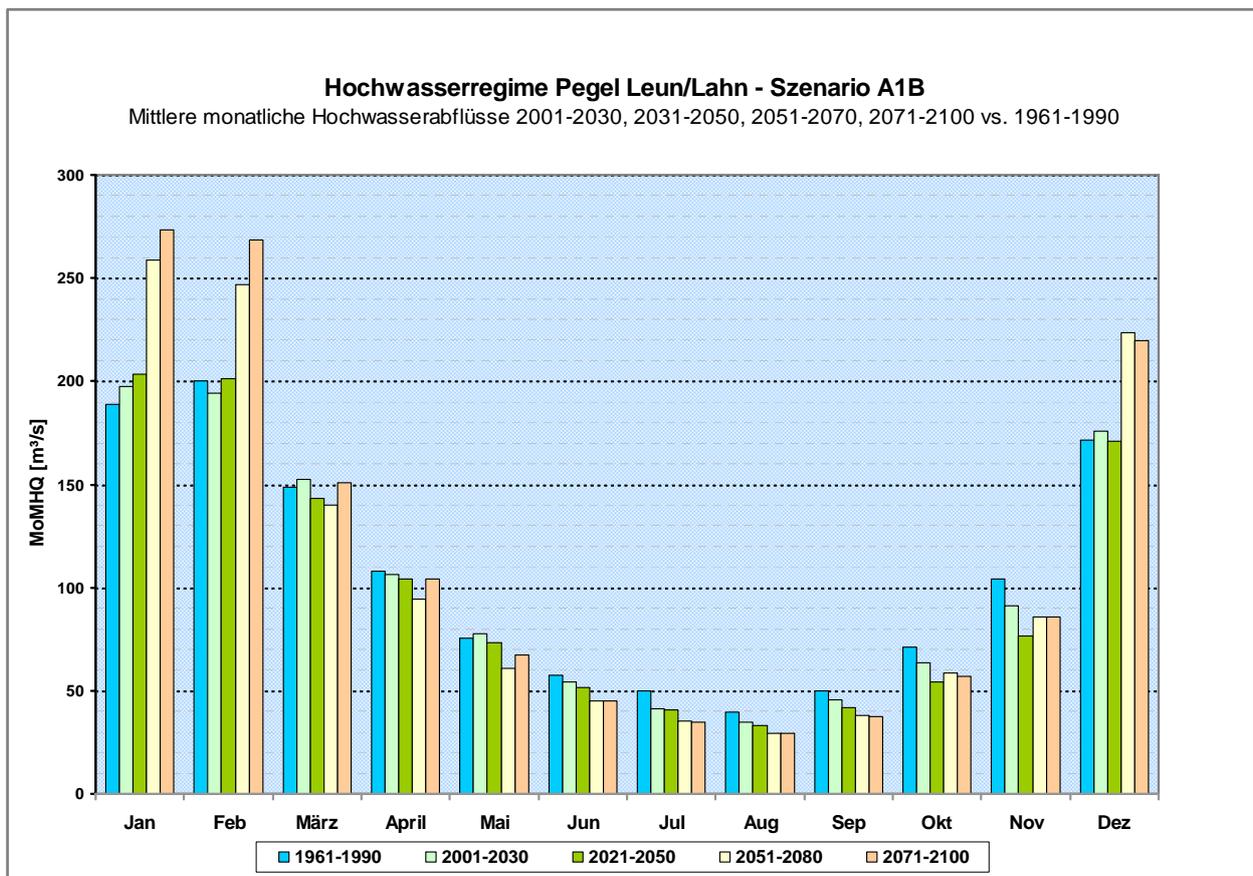


Abbildung 1: Veränderung der mittleren monatlichen Hochwasserabflüsse am Pegel Leun

Um Veränderungen von Hochwasserscheitelabflüssen mit unterschiedlichen Eintrittswahrscheinlichkeiten von HQ2 bis HQ100 zu untersuchen, wurden zunächst extremwertstatistische Untersuchungen mit Perzentilstatistiken anhand eines Jahrescheitelkollektivs von jeweils 600 simulierten Jahren analysiert. In der Tabelle 4 sind die für den Pegel Leun/Lahn ermittelten Veränderungen von Hochwasserjährlichkeiten dargestellt. Auch hier zeigt sich in der ersten Hälfte des Jahrhunderts lediglich für das Szenarium B1 eine Zunahme von Hochwasserabflüssen mit einer Jährlichkeit von kleiner gleich 5 Jahren um weniger als 10 %. In der zweiten Hälfte des Jahrhunderts liefern die Szenarien A1B und A2 Zunahmen von etwa 10 bis 20 %, wobei die größten Zunahmen bei kleinen Jährlichkeiten, sprich dem HQ2 auftreten.

Tabelle 4: Prozentuale Veränderung von Hochwasserquantilen für den Pegel Leun/Lahn (aufgeführt sind nur positive Veränderungen $\geq 5\%$)

		1961-1990	2001-2030	2021-2050	2051-2080	2071-2100
Szenarium	T[a]	[m ³ /s]	Veränderung gegenüber 1961-1990 [%]			
A1B	2	301			23	21
	5	430			17	20
	10	518			15	11
	20	573			15	8
	50	648			19	6
	100	706			20	5
A2	2	301			15	10
	5	430			6	
	10	518			6	5
	20	573				7
	50	648				
	100	706				
B1	2	301	6	8		14
	5	430	5			5
	10	518				
	20	573				
	50	648				
	100	706				

Auch für die übrigen untersuchten Pegel ergibt sich für die Klimaprojektionen nach WETTREG-ECHAM5 und den drei Szenarien A1B, A2 und B1 ein ähnliches Muster mit insbesondere starken Zunahmen bei kleinen Jährlichkeiten ab der Mitte des Jahrhunderts, während in der ersten Hälfte des Jahrhunderts lediglich für das Szenarium B1 Zunahmen mit Werten bis zu 10 % bei kleinen und mittleren Jährlichkeiten ermittelt werden können.

Im Gegensatz zu diesen Ergebnissen wurden für die Klimaprojektion mit ECHAM4-WETTREG (B2) für den Zeitraum 2021-2050 gegenüber der damaligen Vergleichsperiode von 1981 bis 2000 schon für diesen Zeitraum Zunahmen der Hochwasserscheitelabflüsse um bis zu 20 % auch bei seltenen Jährlichkeiten ermittelt. Diese Klimaprojektion zeigt also ein früheres und deutlicheres Klimasignal und entsprechende Auswirkungen auf das Hochwasserabflussgeschehen. Im Hinblick auf eine Abschätzung der möglichen Änderungen von Hochwasserabflüssen seltener Eintrittswahrscheinlichkeit scheint demnach eine synoptische Zusammenschau aller Ergebnisse erforderlich, wobei ggf. spätere Zeitspannen der ECHAM5-WETTREG-Szenarien dem ECHAM4-WETTREG-B2-Szenarium für den Zeitraum 2021-2050 gegenübergestellt werden können.

3. Auswirkungen des Klimawandels auf die Abflussverhältnisse

Die Klimaprojektionen werden mit zunehmender zeitlicher Entfernung immer unsicherer, zumal sich inhärente Fehler fortpflanzen und nicht berücksichtigte Parameter wie z.B. Landnutzungswandel etc. an Einfluss gewinnen. Um die möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf die Abflussverhältnisse an hessischen Flüssen beschreiben zu können, wird ein synoptischer Blick auf die untersuchten Pegel im hessischen Rheingebietsanteil auf Basis der drei unterschiedlichen Klimaszenarien des Modells ECHAM5, aber auch unter Heranziehung der Ergebnisse aus dem INKLIM 2012 Projekt mit den Ergebnissen des Szenariums B2 des Modells ECHAM4 geworfen. Die Ungenauigkeiten bzw. Unsicherheiten der Klimaprojektionen können sich auch in einem früheren oder späteren Eintreffen der ansonsten richtig prognostizierten Änderungen äußern. Insbesondere die starke Veränderungstendenz in den Abflusskennwerten gegen Mitte des 21. Jahrhunderts und das ggf. zu schwache oder verspätete Klimasignal in ECHAM5 gegenüber ECHAM4 lassen es gerechtfertigt erscheinen, Aussagen für die Mitte des Jahrhunderts als Zukunftsszenarium aus den beiden 30-Jahreszeiträumen vor und nach 2050 abzuschätzen.

Als robustes Klimasignal lässt sich eine zunehmende Ausprägung des bestehenden Abflussregimes mit zunehmenden winterlichen Abflüssen und abnehmenden Abflüssen im Sommerhalbjahr festhalten. Die Zunahme im hydrologischen Winterhalbjahr liegt in der Größenordnung von + 10 %, während die Abnahme im Sommerhalbjahr etwa – 15 % beträgt. Der gesamte Jahresabfluss nimmt lediglich um etwa + 5 % zu.

Korrespondierend zu dem Rückgang der sommerlichen Abflüsse geht der mittlere Niedrigwasserabfluss MNQ dabei um 10 bis 15 % zurück. In der gleichen Größenordnung bewegt sich auch der Rückgang des 20-jährlichen Niedrigwasserabflusses NQ20.

Ein komplexeres, aber auch aufgrund der Beeinflussung durch die sehr unsicheren Starkniederschläge in den Klimamodelldaten weniger sicheres Bild ergibt sich für die Hochwasserabflüsse. Während bei den übrigen Kenngrößen die Veränderungen über die drei untersuchten Szenarien meist in die gleiche Richtung mit ähnlicher Größenordnung gehen, zeigen sich bei den Hochwasserquantilen sehr große szenariumbedingte Unterschiede in den Ergebnissen. Das stabilste Signal stellt wohl die Zunahme der häufigen Abflüsse, d.h. der 1- bis 5-jährlichen Abflüsse in einer Größenordnung von + 20 % dar. Bei den selteneren Hochwasserabflüssen zeigen sich z.B. im Zeitraum bis 2050 bei den Ergebnissen nach ECHAM5 überwiegend nur Abnahmen der 10- bis 100-jährlichen Hochwasserabflüsse. Ab 2050 zeigt sich insbesondere für das Szenarium A1B, in geringerem Umfang aber auch für die Szenarien A2 und B1 eine Zunahme der Hochwasserkenngößen. Aufgrund der unterschiedlich frühen Hochwasserabflussveränderung bei unterschiedlichen Emissionszenarien können die für den Zeitraum 2051-2080 dargestellten Ergebnisse auch deutlich früher einsetzen, wie es auch die Ergebnisse der ECHAM4-Berechnungen aus dem Vorgängerprojekt zeigen. Aus diesem Grunde kann man als vorsichtiges Ergebnis dieser Zusammenschau eine Zunahme der statistischen Hochwasserabflüsse bis HQ100 in einer Größenordnung von + 15 % bis + 20 % für die Flüsse im hessischen Rheineinzugsgebiet anhalten. Eine solche Veränderung entspricht der Veränderung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines 50-jährlichen zu einem 20-jährlichen Hochwasser bzw. eines 100-jährlichen zu einem etwa 50-jährlichen Hochwasserereignis. Es sei nochmals betont, dass die Hochwasserveränderungen sehr unsicher sind. Da Aussagen hierzu vermehrt gefordert sind, erfolgt diese Einordnung nach konservativen Gesichtspunkten, um mögliche Veränderungen einschätzen zu können, bis auch für die Hochwasserkenngößen belastbarere Klimaprojektionen umgesetzt werden können.

4. Mögliche Anpassungsmaßnahmen

4.1 Abflussregime und Wasserhaushalt

Die Veränderungen im Abflussregime sind niederschlagsbedingt und daher nicht unmittelbar beeinflussbar, können aber zumindest ansatzweise mit Maßnahmen zur Beeinflussung des Landschaftswasserhaushaltes in ihrem Ausmaß verringert werden. Maßnahmen zur besseren Infiltration von Niederschlagswasser, Vermeidung von Oberflächenwasserabfluss, Reduzierung des Interflows und besseren Retention von Hochwasserabflüssen in den Auen wirken sowohl hinsichtlich Niedrigwasser als auch hinsichtlich Hochwasser in positiver Richtung.

4.2 Niedrigwasser

Bezüglich der Veränderungen beim Niedrigwasserabfluss sind insbesondere die oft in Abhängigkeit der Bemessungsgröße MNQ bewilligten Entnahmemengen und Restwassermengen zu sehen. Diese sind – wo dies möglich ist – ggf. anzupassen bzw. gewässerübergreifend zu beurteilen. Den Einleitungen von Kläranlagenabflüssen steht im Sommerhalbjahr eine verringerte Verdünnung im Vorfluter gegenüber. Verbesserte Wirkungsgrade und ggf. veränderte Betriebsweisen können diesem Einfluss begegnen. Eine Verminderung von ökologisch relevanten Mindestwasserständen lässt sich durch Gewässerrenaturierung, insbesondere der Gewässerstrukturgüte begegnen. Eine weitere Möglichkeit den Niedrigwasserproblemen zu begegnen stellt die Einrichtung von Speichern bzw. eine angepasste Talsperrenbewirtschaftung dar, wenngleich sich derartige Maßnahmen in Konkurrenz zu Hochwasserschutzzielen bewegen. Bezüglich der Kühlwasserproblematik ist mit zunehmenden Wassertemperaturen bei zurückgehenden sommerlichen Abflüssen zu rechnen. Entsprechend sind Kreislaufkühlungen und ein gewässerübergreifendes Wärmereglement als Anpassungsmaßnahmen zu empfehlen.

4.3 Berücksichtigung der Auswirkungen von Klimaänderungen auf das Hochwassergeschehen

Grundsätzlich ist zu betonen, dass die mittels Klimaszenarien erzielten Projektionen der Auswirkungen auf das Abflussgeschehen noch mit großen Unsicherheiten und Unwägbarkeiten (z.B. der tatsächlichen Emissionsentwicklung im 21. Jahrhundert und einer ggf. eintretenden Überlagerung mit natürlichen Klimaschwankungen) versehen sind. Als stabiles Signal kann eine Zunahme der winterlichen Abflüsse und damit eher eine höhere Abflussbereitschaft in den Einzugsgebieten und generell eine deutliche Abflusserhöhung der 1- bis 2-jährlichen Abflussereignisse angenommen werden. Dies hat zumindest eine hohe Relevanz für ökologische (Verdriftung und Wiederbesiedlung von Organismen) und morphologische (Erosion, Sedimentumlagerung, Gerinneausbildung) Prozesse.

Der nach den bisher vorliegenden Ergebnissen je nach Szenarium früher oder später bzw. in geringerem oder größerem Umfang anzunehmenden Hochwasserveränderung kann über einen generalisierenden Klimazuschlag auf Bemessungsgrößen begegnet werden, solange die Ergebnisse von regionalen Klimaprojektionen noch mit Unsicherheiten versehen bzw. nicht kohärent sind. Insbesondere eine planerische Berücksichtigung von entsprechenden „Klimazuschlägen“, die eine spätere Anpassung bei technischen Hochwasserschutz-einrichtungen erleichtert, sollte vorgenommen werden. Auf der anderen Seite sind die seit Jahren in der Wasserwirtschaft propagierten und angegangenen Maßnahmen zum zukunftsweisenden Hochwasserschutz mit den Eckpfeilern technischer Hochwasserschutz,

Hochwasserflächenmanagement und Hochwasservorsorge ein probates Mittel, um einer möglichen Hochwasserverschärfung durch Klimawandel zu begegnen. Eine Priorisierung von Maßnahmen und Verstärkung von Anstrengungen zum Hochwasserschutz erscheint demnach als adäquate Antwort auf die Frage nach Anpassungsmaßnahmen.

5. Ausblick

Die Untersuchung von Klimafolgen auf das Abflussgeschehen, insbesondere auf das Hochwasserabflussgeschehen bedarf einer ständigen Weiterverfolgung. Nach anderen Untersuchungen deutet sich an, dass Auswirkungen in Abhängigkeit von unterschiedlichen globalen Klimamodellen zu untersuchen sind, um den bestehenden Unsicherheiten gerecht zu werden.

Hinsichtlich der Anwendung von dynamischen regionalen Klimamodellen wird eine Möglichkeit in Abweichungskorrekturen für das REMO-Modell mit komplexeren statistischen Methoden gesehen. Ein Pilotprojekt hierzu wird derzeit im Rahmen des Projekts „Rheinblick 2050“ der Kommission für die Hydrologie des Rheingebiets (KHR) für das Lahngbiet durchgeführt.

Im INKLIM-Vorgängerprojekt hat sich gezeigt, dass sich die klimabedingten Abflussveränderungen in Nordhessen regional unterschiedlich mit i.d.R. „trockeneren“ Verhältnissen gegenüber dem Lahn- oder Maingebiet darstellen. Um die aktuell vorliegenden Ergebnisse auf ganz Hessen auszudehnen, wurden entsprechende Untersuchungen auch für das hessische Wesereinzugsgebiet durchgeführt (Fulda, Eder, Schwalm, Diemel und Werra). Erste vorläufige Abschätzungen ergaben, dass die Auswirkungen auf Mittel- und Niedrigwasser- verhältnisse denen in Südhessen in etwa entsprechen. Bei den Hochwasserkennwerten ist die Zunahme bei Diemel und Werra weniger stark ausgeprägt als bei den übrigen untersuchten Gewässern in Nord- und Südhessen.

Literaturhinweise und Datenquellen:

BRAHMER G. (2006): Auswirkungen des Klimawandels auf die Abflussverhältnisse hessischer Gewässer. Wasser und Abfall 12, 19-24.

BREMICKER M. (2000): Das Wasserhaushaltsmodell LARSIM, Modellgrundlagen und Anwendungsbeispiele, Freiburger Schriften zur Hydrologie. Bd. 11.

EBEL M., K. LUDWIG & K.-G. RICHTER (2000): Mesoskalige Modellierung des Wasserhaushaltes im Rheineinzugsgebiet mit LARSIM. – Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 44 (6), 308-312.

RICHTER, K-G. u. C. IBER (2008): Untersuchungen zum Einfluss der Klimavariabilität und anthropogen verursachten Klimaschwankungen auf Abflüsse für verschiedene Einzugsgebiete in Hessen. Erläuterungsbericht im Auftrag des HLOG.

Die REMO- und WETTREG-ECHAM5-Szenarien wurden im Auftrag des Umweltbundesamts erstellt und stehen nach vorheriger Nutzervereinbarung zur Verfügung.