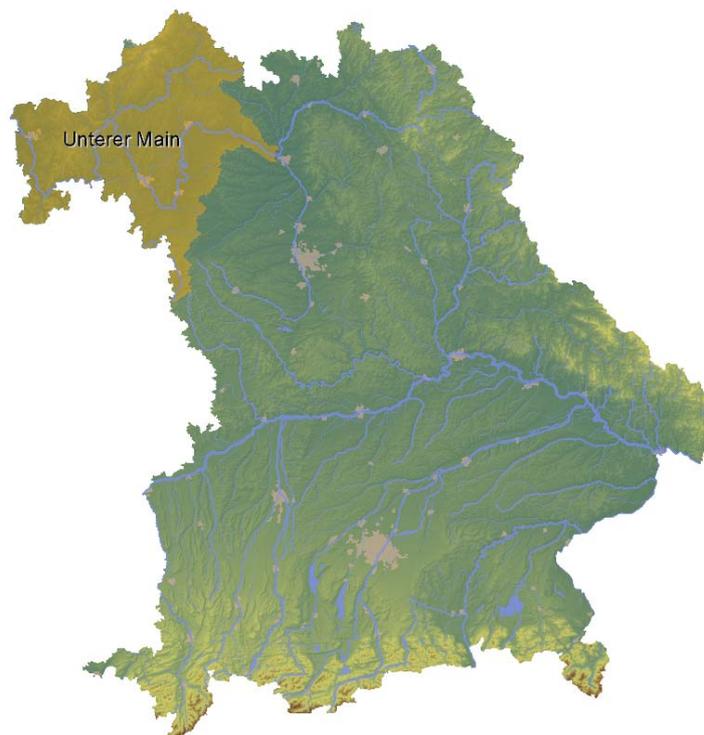


# Der Klimawandel in Bayern

## Auswertung regionaler Klimaprojektionen

### Regionalbericht Unterer Main



1	Einleitung	2
2	Bisheriges Klima und seine Veränderungen	3
3	Klimaprojektionen – Abschätzung künftiger Klimaänderungen	5
3.1	Temperaturänderung	6
3.2	Niederschlagsänderung	8
4	Zusammenfassung und Ausblick	11
5	Literaturhinweise	12

## 1 Einleitung

Der weltweite Klimawandel, der allgemein zunächst als ein Ansteigen der globalen Lufttemperatur nachweisbar ist, macht auch vor Bayern nicht halt. Der Anstieg der Mitteltemperatur und die damit verbundenen Auswirkungen auf Niederschlag und Verdunstung führen zu einer Intensivierung des Wasserkreislaufs. Die Änderungen des regionalen Wasserhaushalts haben Auswirkungen sowohl auf die Wasserwirtschaft als auch auf andere Bereiche unserer Gesellschaft. In Abhängigkeit von den absehbaren Veränderungen stellt sich die Frage, inwieweit derzeit ein Anpassungsbedarf besteht, um insbesondere nachteilige Auswirkungen möglichst gering zu halten. Hierzu wurde die Bayerische Klima-Anpassungsstrategie (BayKLAS; September 2009) erarbeitet, die auf den damals vorhandenen Ergebnissen für die Entwicklung der Mittelwerte von Temperatur und Niederschlag in Bayern beruht.

Die Thematik Klimawandel mit seinen vielfältigen Auswirkungen ist mittlerweile Gegenstand einer Vielzahl von wissenschaftlichen Untersuchungen. Die Konsequenzen für die Wasserwirtschaft in Bayern werden in verschiedenen Projekten untersucht. Im Vordergrund steht dabei das Kooperationsvorhaben KLIWA (Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft). In Zusammenarbeit mit den Fachverwaltungen von Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz und mit dem DWD werden im Rahmen des Vorhabens die Veränderungen des Klimas in den letzten Jahrzehnten ermittelt sowie die zukünftig zu erwartenden Veränderungen abgeschätzt und soweit möglich quantifiziert.

Die bisherigen Erkenntnisse für ganz Bayern und die zugrunde liegenden methodischen Ansätze sind im „Klimabericht Bayern“ allgemein dargestellt. Zusätzlich wurden regionale Auswertungen und Ergebnisdarstellungen für neun Flussgebiete vorgenommen, die den bayerischen Planungsräumen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) entsprechen (Abb. 1), und als Regionalberichte herausgegeben. Damit soll der Erkenntnisstand zum Klimawandel für die regionale bzw. lokale Ebene konkretisiert werden. Eine genauere räumliche Auflösung für einzelne Landkreise oder Städte ist aufgrund der dabei stark ansteigenden Unsicherheiten bei den Aussagen im Allgemeinen nicht zweckmäßig.



Abb. 1:  
Die gewählte Gebietseinteilung für die Regionalberichte (in Anlehnung an die Planungsräume der EG-Wasserrahmenrichtlinie / EG-WRRL).

Die vorliegenden Ergebnisse können als fachliche Grundlage für die Ermittlung der Auswirkungen des Klimawandels in den unterschiedlichen betroffenen Sektoren dienen. Im Bereich der Wasserwirtschaft werden die Datensätze, auf denen die Ergebnisse beruhen, unter anderem in Wirkungsmodellen, wie z. B. Wasserhaushaltsmodellen, verwendet.

Nachstehend sind die bisherigen Erkenntnisse zum Klimawandel für das Flussgebiet Unterer Main konkretisiert und dargestellt; dazu wurde eine Reihe verfügbarer aktueller Klimaprojektionen ausgewertet. Das Gebiet erstreckt sich auf einer Fläche von 8.378 km<sup>2</sup> und umfasst die bayerischen Abschnitte der Einzugsgebiete von fränkischer Saale und des Mains ab Mündung der Regnitz (unterhalb des Pegels Kemmern) bis Kahl am Main, unterhalb von Aschaffenburg. Die mittlere Höhe über NN im Gebiet beträgt 315 m mit maximalen Höhen von über 900 m in der bayerischen Rhön und den tiefen Lagen von knapp über 100 m nahe Aschaffenburg.

## 2 Bisheriges Klima und seine Veränderungen

Das Klima der Vergangenheit wird mit Hilfe von langjährigen Mittelwerten klimatischer Kenngrößen dargestellt. Die Auswertung der Klimamessungen für die als Bezugszeitraum betrachtete Periode 1971–2000 ergibt für Bayern und das Flussgebiet Unterer Main die in Tab. 1 aufgeführten Jahres- und Halbjahres-Mittelwerte. Zur Ermittlung der Kenntage wird die Anzahl der Tage bestimmt, an denen definierte Schwellenwerte der Tagesminimum- bzw. Tagesmaximumtemperatur unter- oder überschritten werden.

Tab. 1: Kenngrößen für das Klima in Bayern und das Gebiet Unterer Main, gemittelt über den Zeitraum 1971–2000.

Klimatische Kenngrößen	Bayern	Unterer Main	
Mittlere Jahrestemperatur	7,8	8,5	[°C]
Anzahl der Eistage (Tagesmaximum < 0 °C)	30	21	[Tage/Jahr]
Anzahl der Frosttage (Tagesminimum < 0 °C)	109	88	[Tage/Jahr]
Anzahl der Sommertage (Tagesmaximum > 25 °C)	32	38	[Tage/Jahr]
Anzahl Heißer Tage (Tagesmaximum > 30 °C)	5	7	[Tage/Jahr]
Niederschlagssumme im hydrologischen Winterhalbjahr (November bis April)	400	340	[mm]
Niederschlagssumme im hydrologischen Sommerhalbjahr (Mai bis Oktober)	533	373	[mm]

Der Kenngrößenvergleich zeigt, dass es im überwiegenden Teil des Planungsraums Unterer Main deutlich wärmer und trockener ist als im bayerischen Landesdurchschnitt. Ausnahmen bilden hier die Höhenlagen von Spessart und Rhön.

Klimatische Veränderungen wurden im Rahmen von KLIWA gebietsbezogen über die Analyse des Langzeitverhaltens der Messreihen von Temperatur und Gebietsniederschlag in Bayern ermittelt (Klimamonitoring). In der Mess-/Auswerteperiode 1931–2010 weist dabei die Jahresmitteltemperatur eine deutlichen Anstieg von +0,9 °C auf (Abb. 2). Der Anstieg ist somit geringfügig niedriger als die mittlere Veränderung für ganz Bayern von +1,1 °C.

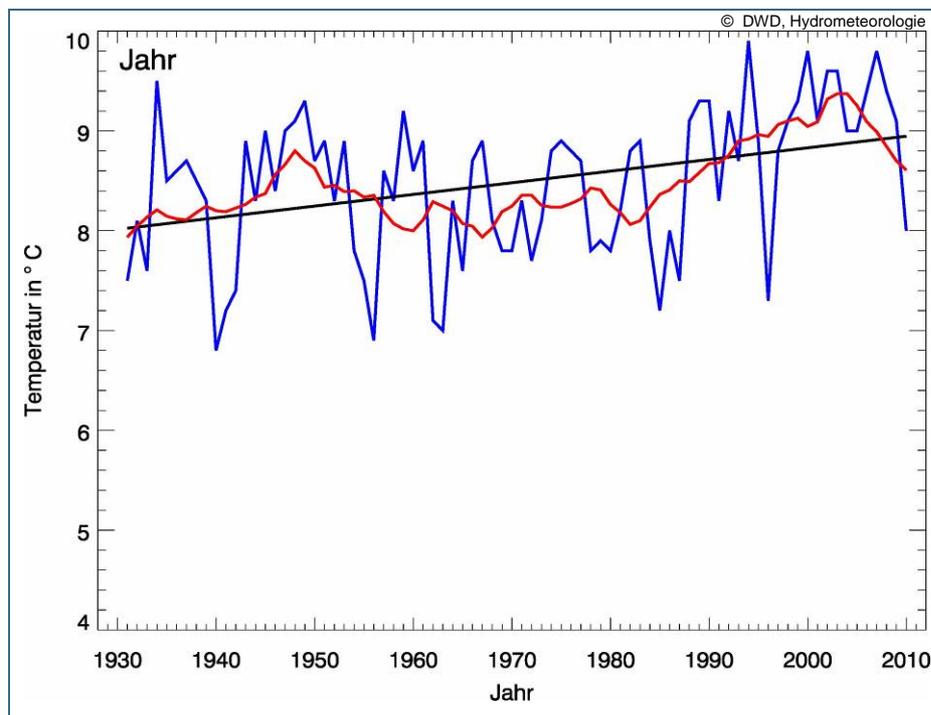


Abb. 2: Verlauf der Jahresmitteltemperatur im Flussgebiet Unterer Main (blau); gleitender zehnjähriger Mittelwert (rot) und linearer Trend (schwarz) 1931–2010

Beim mittleren Gebietsniederschlag ist im Zeitraum 1932–2010 für das hydrologische Winterhalbjahr eine Zunahme um +17 % feststellbar, während für das hydrologische Sommerhalbjahr mit -7 % nur eine geringe Abnahme auszumachen ist (Abb. 3 und Abb. 4). Diese Veränderungen sind den bayernweiten Trends recht ähnlich (hydrologisches Winterhalbjahr +22 % und hydrologisches Sommerhalbjahr -1 %).

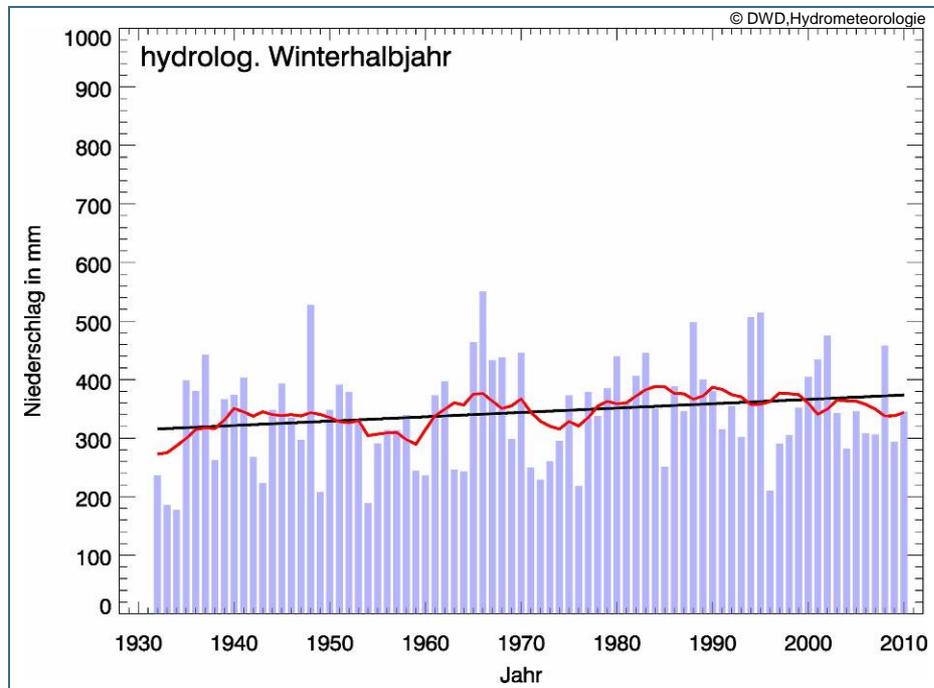


Abb. 3:  
Verlauf des mittleren  
Gebietsniederschlags  
im Flussgebiet Unterer  
Main (blau), gleitender  
zehnjähriger Mittelwert  
(rot) und linearer Trend  
(schwarz) für das  
hydrologische Winter-  
halbjahr, Zeitreihe  
1931–2010

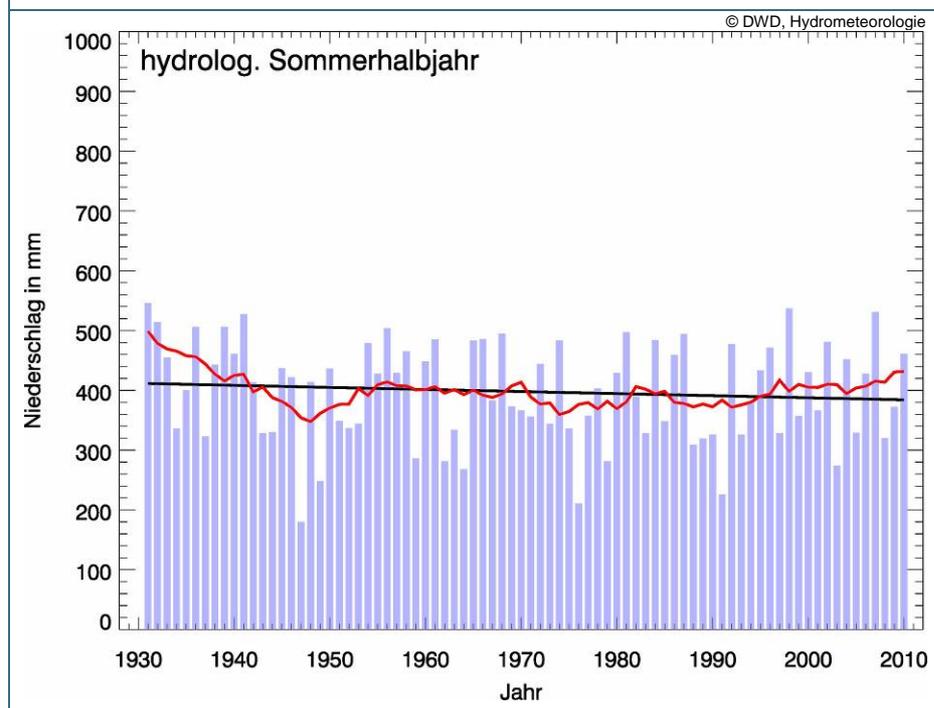


Abb. 4:  
Wie Abb. 3, für das  
hydrologische Som-  
merhalbjahr.

### 3 Klimaprojektionen – Abschätzung künftiger Klimaänderungen

Die zu erwartende Änderung des Klimas wird grundsätzlich über die Modellkette „Emissionsszenario (hier: A1B) – Globales Klimamodell – Regionalmodell“ simuliert (weitere Informationen siehe Gesamtdarstellung „Klimabericht Bayern“). Die Ergebnisse der Klimamodelle sind weder zeitlich noch räumlich als punktgenaue Vorhersagen zu verstehen, vielmehr charakterisieren sie einen szenarioabhängigen, möglichen mittleren Zustand des Klimas über einen langen Zeitraum (Klimastatistik). Die Ergebnisse der Modellsimulationen werden in diesem Zusammenhang als Klimaprojektionen bezeichnet. Klimaprojektionen, die das politische Ziel beinhalten, die globale Erwärmung auf maximal +2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen, sind hierbei in den Modellsimulationen nicht berücksichtigt.

Um die so simulierte Veränderung des Klimas beschreiben und Ergebnisse von Klimaprojektionen besser untereinander vergleichen zu können, werden Klimaänderungssignale ermittelt. Dabei wird für jede regionale Klimaprojektion z. B. die errechnete mittlere Temperatur des zukünftigen Zeitraums mit dem Simulationsergebnis eines Zeitraums aus der Vergangenheit (Kontrolllauf) verglichen und der Unterschied angegeben. Für eine verlässliche Beschreibung der Klimastatistik werden Mittelwerte aus einer 30-jährigen Periode berechnet. Dazu werden die Änderungen der Temperatur aus den Tagesmittelwerten und die Änderungen des Niederschlags anhand der Tagessummen bestimmt. Zusätzlich werden Änderungen der Häufigkeit der Kenntage aus den Tagesminima- und -maxima der Temperatur ermittelt. Zur Darstellung der Entwicklung des zukünftigen Klimas werden für die vorliegenden Auswertungen vor allem die Jahre 2021–2050, also der Zeitraum bis Mitte des Jahrhunderts, gewählt. Darüber hinaus dargestellte Ergebnisse der regionalen Klimaprojektionen bis Ende des Jahrhunderts sind aufgrund der zunehmenden Unsicherheiten als orientierende Aussage zu betrachten, dies ist bei der Interpretation der Veränderungen zu berücksichtigen.

Durch unterschiedliche Kombination von drei Global- und sechs Regionalmodellen liegen aktuell systematische Auswertungen von zehn regionalen Klimaprojektionen für die Klimavariablen Temperatur und Niederschlag am LfU vor. Damit ergibt sich eine Bandbreite möglicher Veränderungen des zukünftigen Klimas, die einerseits Hinweise auf die Unsicherheiten der Modellkette, andererseits aber auch auf die Robustheit der aus den Klimaprojektionen abgeleiteten Aussagen liefert. Neben der Bandbreite der Projektionen werden im Weiteren exemplarisch die Ergebnisse der vom Umweltbundesamt zur Verfügung gestellten regionalen Klimaprojektionen WETTREG2006 und WETTREG2010 besonders betrachtet. Diese sind bisher schwerpunktmäßig zur Abschätzung des möglichen zukünftigen Wasserhaushalts bayerischer Flussgebiete bis Mitte des Jahrhunderts verwendet worden. WETTREG2010 stellt eine Weiterentwicklung des statistischen Regionalmodells WETTREG2006 dar, das zunächst als Grundlage für die Wirkungsmodellierung (z. B. in Wasserhaushaltsmodellen) und für die Aussagen in der BayKLAS verwendet wurde. Die Randbedingung bildet in beiden Fällen das Globalmodell ECHAM5. Die Ergebnisse von WETTREG2006 und WETTREG2010 liefern eine vorläufige erste Bandbreitenabschätzung.

Eine Übersicht der ausgewerteten Regionalmodelle und der Anzahl ihrer Raster- bzw. Stationenpunkte für das Flussgebiet Unterer Main zeigt die nachstehende Tabelle. Die hier verwendeten regionalen Klimamodelle werden - sofern nicht anders angegeben - mit dem Globalmodell ECHAM5 angetrieben.

Tab. 2: Anzahl der für die einzelnen Klimamodelle betrachteten Rasterpunkte bzw. Messstationen für Niederschlag und Temperatur im Flussgebiet Unterer Main.

	Regionales Klimamodell (Regional Climate Model – RCM)					
	dynamisch		statistisch			
	CLM 2008	REMO 2006	STAR2	WETTREG 2006	WETTREG 2009	WETTREG 2010
<b>Niederschlag</b>						
Anzahl Raster/Stationen	26	84	82	76	100	93
<b>Temperatur</b>						
Anzahl Raster/Stationen	26	84	82	9	11	11

### 3.1 Temperaturänderung

Allgemein zeigt die Entwicklung der mittleren Jahrestemperatur für die nahe Zukunft (2021–2050) eine deutliche Erwärmung für das Gebiet Unterer Main an. Das Änderungssignal der ausgewerteten zehn Klimaprojektionen reicht von +0,8 °C bis +1,9 °C, wobei die Hälfte der Klimaprojektionen einen Anstieg über +1,2 °C verzeichnet. Die Temperaturänderung im Untersuchungsgebiet fällt damit ähnlich hoch aus wie im bayerischen Durchschnitt. Bis zum Ende des Jahrhunderts ist in der Region – wie auch in ganz Bayern – mit einem weiteren deutlichen Anstieg der mittleren Temperatur zu rechnen. Damit einhergehend ist bei den Kenntagen ein Anstieg der Anzahl Tage mit Höchsttemperaturen über 25 °C bzw. 30 °C feststellbar. Zudem wird die Anzahl der Tage mit Tageshöchst- und Tagestiefsttemperaturen unter 0 °C deutlich abnehmen.

#### 3.1.1 Entwicklung der Jahresmitteltemperatur

Ähnlich der in den Berichten des Weltklimarats (IPPC) dargestellten Bandbreiten globaler Temperaturanstiege für das A1B-Szenario zeigen auch die zehn hier ausgewerteten regionalen Klimaprojektionen erwartungsgemäß eine Bandbreite ansteigender Temperaturen für die Region Unterer Main (Abb. 5). Da die Jahreswerte entsprechend der natürlichen Variabilität stark schwanken, sind die Entwicklungen als 30-jährige gleitende Mittel dargestellt. Allen regionalen Klimaprojektionen ist übereinstimmend ein klar signifikanter Anstieg der mittleren Jahrestemperatur gemeinsam, d. h. die Zunahmen fallen deutlicher aus als aufgrund der natürlichen Variabilität der Jahrestemperatur im Kontrollzeitraum zu erwarten wäre. Im 30-jährigen Mittel 2021–2050 erreichen einige Projektionen bereits Zunahmen bis +2 °C, die bis zum Ende des Jahrhunderts weiter ansteigen. Dabei liegen die Mittelwerte der in der BayKLAS betrachteten Klimaprojektion WETTREG2006 am unteren Rand der hier betrachteten Bandbreite.

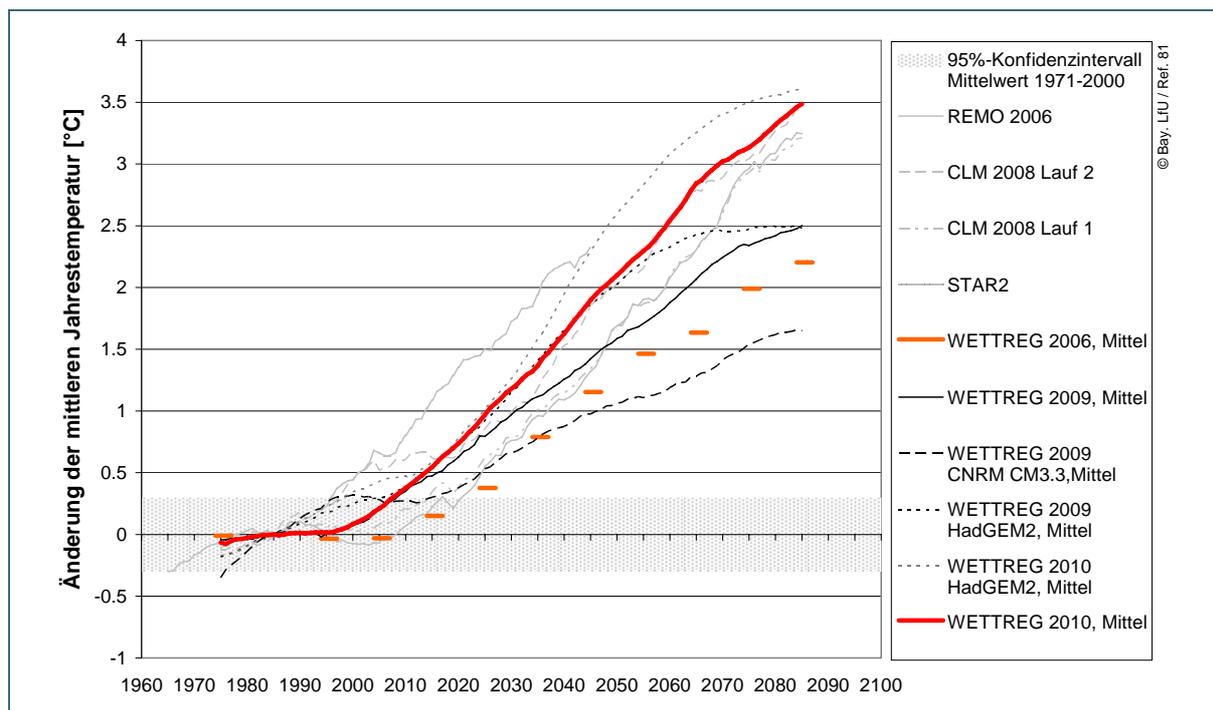


Abb. 5: Änderung des 30-jährigen, gleitenden Mittelwerts der Jahrestemperatur gegenüber dem Kontrollzeitraum 1971–2000 in [°C] für die Region Unterer Main. Der Vertrauensbereich des Mittelwerts 1971–2000 ( $\pm 0,3$  °C, graues Band) berücksichtigt die natürliche Variabilität der Jahreswerte dieses Zeitraums und dient als Hinweis auf die Signifikanz des Änderungssignals. WETTREG2010 (rot, durchgezogene Linie) liegt im oberen, WETTREG2006 (orange, gestrichelt) im unteren Bereich der Bandbreite; für die WETTREG-Projektionen ist der Mittelwert aus zehn Realisationen dargestellt. Wenn nicht anders angegeben, ist ECHAM5 als antreibendes Globalmodell genutzt.

### 3.1.2 Temperaturänderung im Jahresverlauf

Neben der mittleren Jahrestemperatur ist die innerjährliche Entwicklung der mittleren Temperatur von Interesse um z. B. Änderungen der Vegetationsperiode abschätzen zu können. Abb. 6 zeigt die Bandbreite und Verteilung des Temperaturänderungssignals über die meteorologischen Jahreszeiten. Besonders auffällig sind die großen Unterschiede zwischen den Klimaprojektionen: Im Winter und Frühjahr treten Unterschiede zwischen den Projektionen bis zu 2 °C auf, während im Sommer und Herbst eine etwas bessere Übereinstimmung der Projektionen vorliegt. Auch hier liegen die Änderungssignale von WETTREG2010 im mittleren bis oberen Bereich und WETTREG2006 mit Ausnahme des Winters am unteren Rand der aufgespannten Bandbreite.

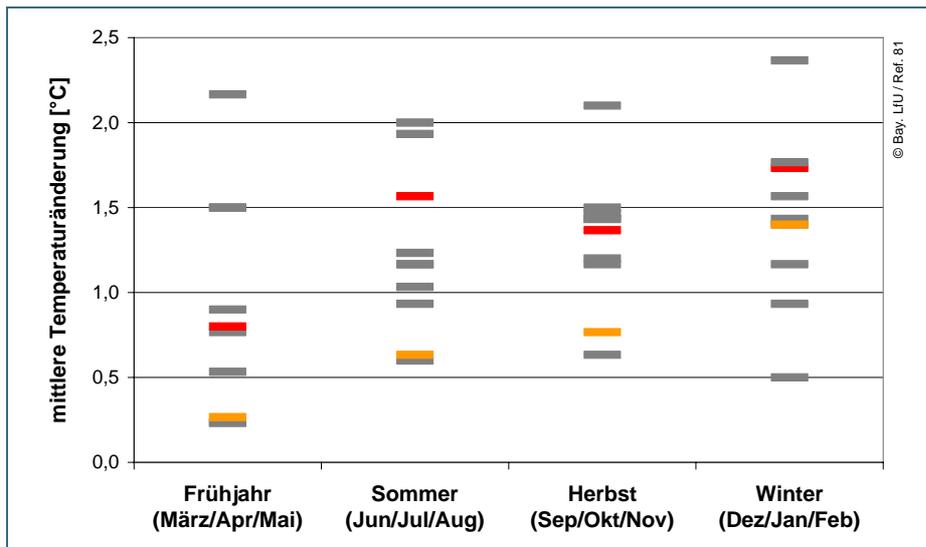


Abb. 6:  
Jahreszeitliche  
Spannweite der  
Änderung der durch-  
schnittlichen Tempera-  
tur von zehn regionalen  
Klimaprojektionen in  
[°C] für die Region  
Unterer Main, Ver-  
gleich der Zeiträume  
2021–2050 und 1971–  
2000; WETTREG2006  
(in orange) und  
WETTREG2010 (in rot)  
sind hervorgehoben.

Beispielhaft dargestellt in Abb. 7 sind die Änderungssignale der Temperatur als Monats-, Jahreszeiten- und Jahresmittelwert von WETTREG2006 und WETTREG2010. Beide Projektionen zeigen im Jahresverlauf die geringste Änderung im Frühling und die stärkste Temperaturzunahme im Winter. Der Anstieg der mittleren Jahrestemperatur beträgt +0,8 °C bei WETTREG2006 und +1,4 °C bei WETTREG2010.

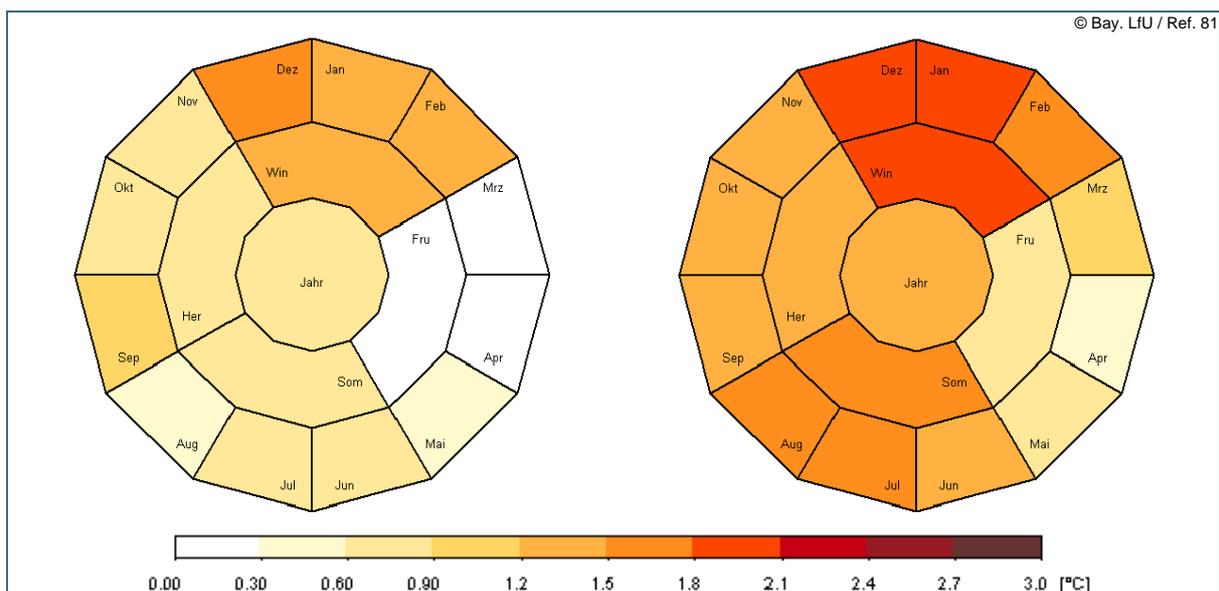


Abb. 7: Veränderung der Mitteltemperaturen 2021–2050 gegenüber 1971–2000 in [°C] bei WETTREG2006 (links) und WETTREG2010 (rechts) für die Region Unterer Main. Darstellung der jährlichen (innerer Ring), der jahreszeitlichen (mittlerer Ring) und der monatlichen Änderungen (äußerer Ring).

### 3.1.3 Änderung der Häufigkeit von Kenntagen

Zusätzlich zur Betrachtung der mittleren Temperatur eignen sich Kenntage der Temperatur um zukünftige Veränderungen des Klimas zu charakterisieren. In Abb. 8 ist die mittlere Veränderung der Häufigkeit der Kenntage pro Jahr dargestellt (durchschnittliche Anzahl an Kenntagen der Vergangenheit siehe Kapitel 2).

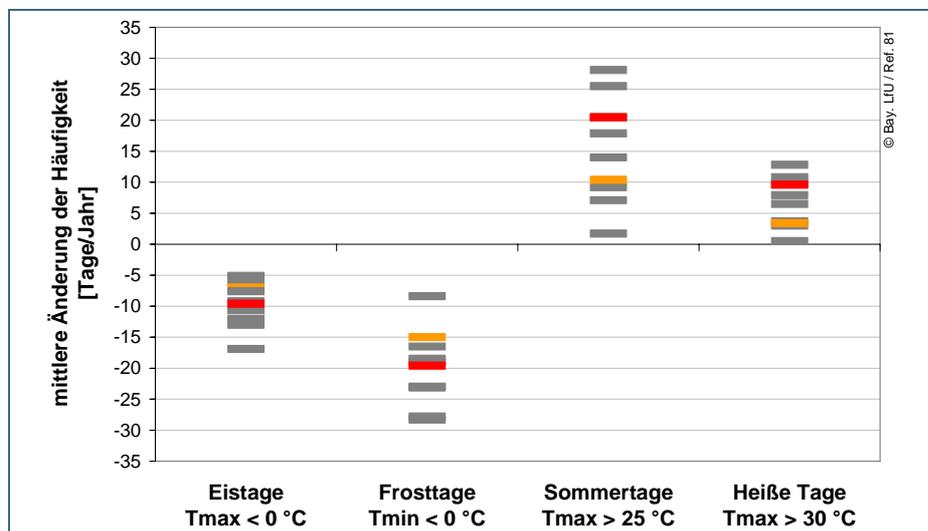


Abb. 8: Spannweite der mittleren Veränderung der Häufigkeit der Kenntage pro Jahr für die Region Unterer Main; Vergleich der Zeiträume 2021–2050 und 1971–2000; Auswertung von zehn regionalen Klimaprojektionen (in grau); WETTREG2006 (in orange) und WETTREG2010 (in rot) sind hervorgehoben.

Wie bereits bei der innerjährlichen Temperaturverteilung angedeutet, führt die starke Erwärmung auch zu Änderungen bei den Tagesmaxima und Tagesminima – deutlich ablesbar an der Abnahme der jährlichen Anzahl an Eis- und Frosttagen (Tageshöchst- bzw. Tagestiefsttemperatur unter 0 °C) und der Zunahme der jährlichen Anzahl an Sommer- und Heißen Tagen (Tageshöchsttemperatur über 25 °C bzw. 30 °C). Die stärkere Erwärmung in der Projektion WETTREG2010 gegenüber WETTREG2006 kommt auch hier durch ein größeres Änderungssignal klar zum Ausdruck.

## 3.2 Niederschlagsänderung

Die zu erwartende zukünftige Niederschlagsentwicklung lässt bei den betrachteten Projektionen nur bedingt übereinstimmende Tendenzen erkennen. Im hydrologischen Winterhalbjahr sind bei einigen Projektionen deutliche Zunahmen des Niederschlags vorhanden, etwa bei der Hälfte der regionalen Klimaprojektionen ändern sich die Niederschlagshöhen nur geringfügig. Trotzdem fällt im Gebiet Unterer Main das Änderungssignal insgesamt etwas stärker aus als im bayerischen Durchschnitt. Wie in ganz Bayern ist auch hier im hydrologischen Sommerhalbjahr mit Abnahmen des Gebietsniederschlags zu rechnen, die allerdings erst in der zweiten Jahrhunderthälfte deutlicher werden.

### 3.2.1 Entwicklung des Niederschlags

Die Aufteilung in hydrologische Halbjahre in Abb. 9 und Abb. 10 zeigt die unterschiedlichen Charakteristiken der Änderungssignale des Niederschlags an. Der grau markierte Bereich von  $\pm 10\%$  berücksichtigt die Variabilität des halbjährlichen Niederschlags im Kontrollzeitraum 1971–2000, d. h. erst wenn ein Änderungssignal diesen Bereich verlassen hat, kann von einer deutlichen Änderung ausgegangen werden. Aufgrund der sehr hohen natürlichen Variabilität des Niederschlags sind die Entwicklungen als 30-jährige gleitende Mittel dargestellt.

Im hydrologischen Winterhalbjahr ist bis 2050 teilweise ein Anstieg des Gebietsniederschlags erkennbar, der bei mehreren Projektionen außerhalb des Bereichs von  $\pm 10\%$  liegt. Dabei ist bei den Klimaprojektionen eine Zweiteilung zu beobachten: während einige eine deutliche Zunahme des Niederschlags bis 2050 zeigen, sind bei den übrigen nur sehr geringe Veränderungen erkennbar. Da aber in der Vergangenheit bereits deutliche Zunahmen des Niederschlags im hydrologischen Winterhalbjahr beobachtet wurden, erscheint eine weitere Niederschlagszunahme durchaus plausibel.

Ähnlich wie im Winterhalbjahr sind im hydrologischen Sommerhalbjahr die Änderungen im Zeitraum 2021–2050 bezogen auf den Kontrollzeitraum nur gering. Die Tendenz ist jedoch eindeutiger als beim Winterhalbjahr: eine leichte Abnahme des Niederschlags ist erkennbar, die erst in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts stärker als -10 % ausfällt.

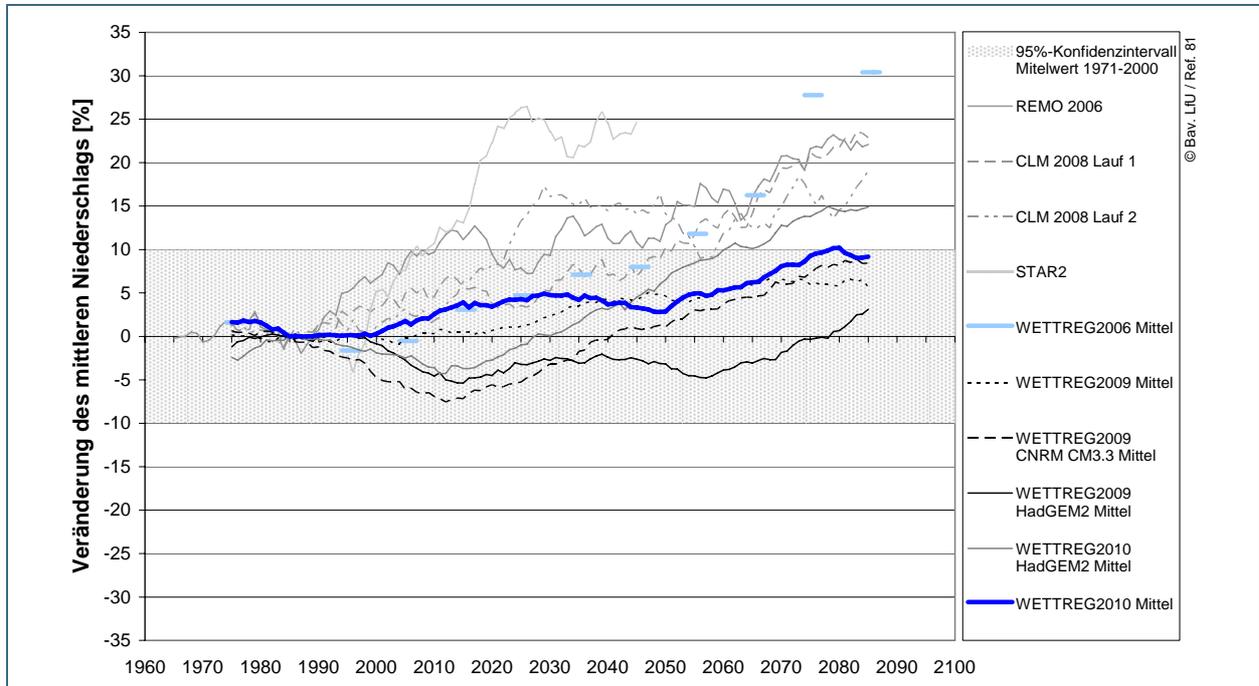


Abb. 9: Relative Änderung des 30-jährigen gleitenden Mittelwerts des Gebietsniederschlags im hydrologischen Winterhalbjahr gegenüber 1971–2000 in [%] für die Region Unterer Main. Der Vertrauensbereich des Mittelwerts 1971–2000 ( $\pm 10\%$ , graues Band) berücksichtigt die natürliche Variabilität der Halbjahreswerte dieses Zeitraums und dient als Hinweis auf die Signifikanz des Änderungssignals. WETTREG2010 (blau) und WETTREG2006 (hellblau) sind hervorgehoben; für die WETTREG-Projektionen ist der Mittelwert aus zehn Realisationen dargestellt. Wenn nicht anders angegeben, ist ECHAM5 als antreibendes GCM genutzt.

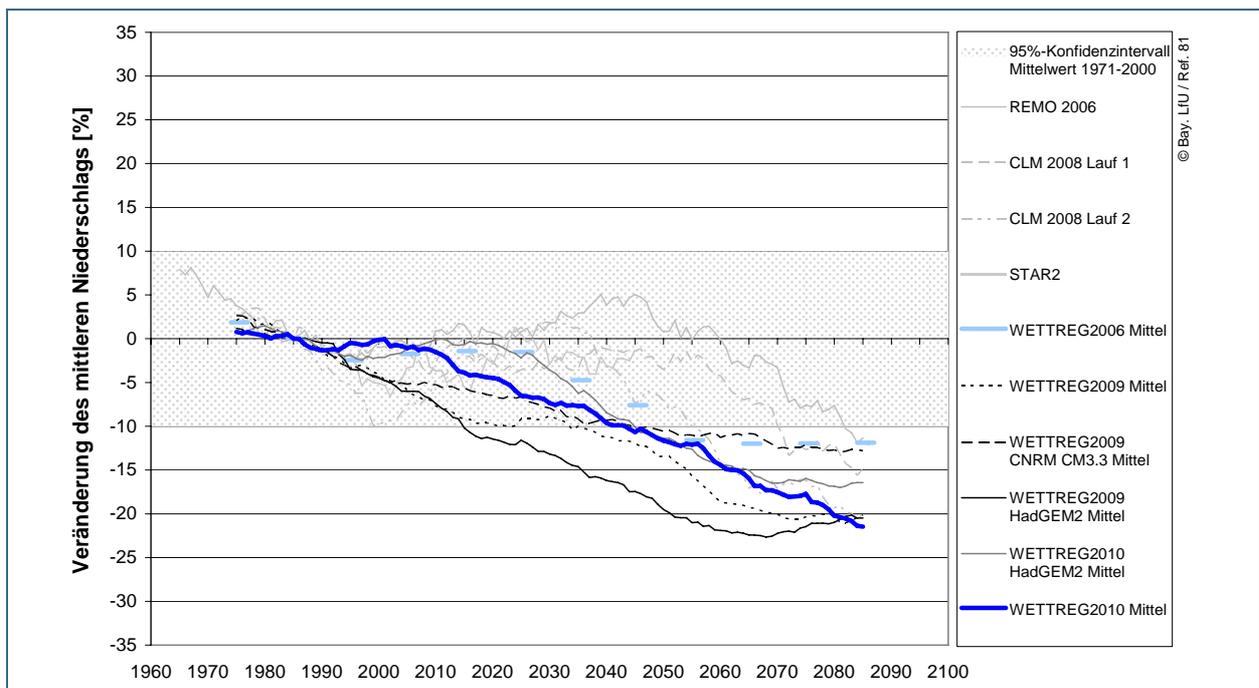


Abb. 10: Wie Abb. 9, für das hydrologische Sommerhalbjahr.

### 3.2.2 Niederschlagsänderung im Jahresverlauf

Die betrachteten Klimaprojektionen unterscheiden sich auch in der innerjährlichen Verteilung der Niederschlagsänderungen. Die von der Jahreszeit abhängige Bandbreite der untersuchten Klimaprojektionen wird in Abb. 11 dargestellt. Im Gegensatz zur Temperaturänderung ist bei den mittleren jahreszeitlichen Gebietsniederschlägen kein übereinstimmendes, robustes Änderungsmuster auszumachen. Besonders hohe Unterschiede treten vor allem im Herbst mit teils abnehmenden, teils stark zunehmenden Niederschlägen auf. Die Abnahmen im Sommer und Zunahmen im Winter können insgesamt als bedingt robust angesehen werden, da die Änderungssignale die Schwelle von  $\pm 10\%$  nur vereinzelt überschreiten.

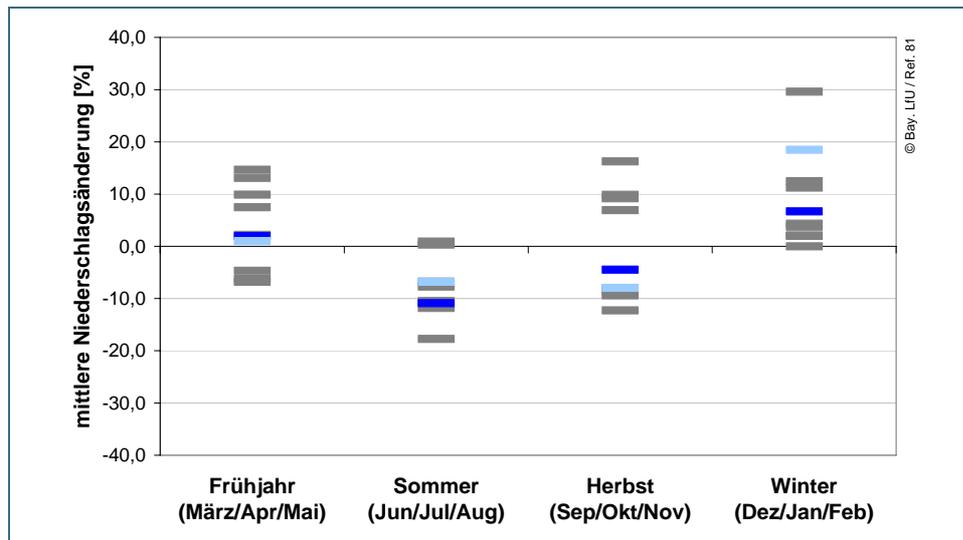


Abb. 11: Jahreszeitliche Spannweite der relativen Änderung des Gebietsniederschlags für die Region Unterer Main in [%]; Vergleich der Zeiträume: 2021–2050 und 1971–2000; Auswertung von zehn regionalen Klimaprojektionen (in grau), WETTREG2006 (in hellblau) und WETTREG2010 (in dunkelblau) sind hervorgehoben.

Die nachstehenden Ringdiagramme für die Klimaprojektionen WETTREG2006 und WETTREG2010 (Abb. 12) veranschaulichen Veränderungen für unterschiedliche Zeiträume. Bei WETTREG2010 zeigt sich eine klare Abnahme des Niederschlags im Sommer, während in den übrigen Jahreszeiten das Änderungssignal überwiegend innerhalb von  $\pm 10\%$  bleibt. Im Vergleich dazu hebt sich WETTREG2006 im Winter mit stärker zunehmenden Niederschlägen und geringeren Veränderungen im Sommer von WETTREG 2010 ab.

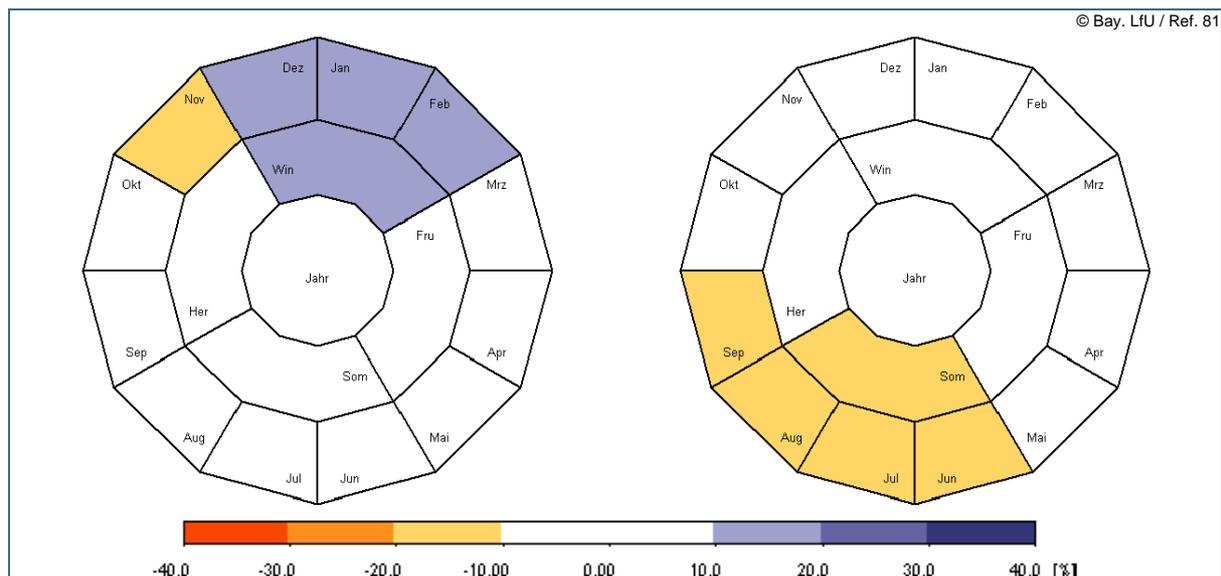


Abb. 12: Veränderung der Niederschlagssumme von 2021–2050 gegenüber 1971–2000 bei WETTREG2006 (links) und WETTREG2010 (rechts) für unterschiedliche Perioden; mittlere jährliche Änderung (innerer Ring), mittlere jahreszeitliche Änderung (mittlerer Ring) und mittlere monatliche Änderung (äußerer Ring) in [%].

## 4 Zusammenfassung und Ausblick

Ausgehend von der bisher in der Region Unterer Main festgestellten Zunahme der mittleren Jahrestemperatur von +0,9 °C im Zeitraum 1931–2010 ist auch in Zukunft eine weitere Erwärmung zu erwarten. Bei der Mehrzahl der zehn betrachteten regionalen Klimaprojektionen beträgt der Temperaturanstieg für den Zeitraum 2021–2050 gegenüber 1971–2000 mehr als +1 °C bei einer ermittelten Bandbreite von +0,8 °C bis +1,9 °C. Dieser Trend setzt sich bis zum Ende des Jahrhunderts fort. Damit wird der in der Bayerischen Klima-Anpassungsstrategie (BayKLAS vom September 2009) angegebene Erwärmungstrend bestätigt bzw. übertroffen.

Die Auswertung der Temperatur-Kenntage zeigt einen deutlichen Rückgang der Eis- und Frosttage sowie eine Zunahme der Sommertage und Heißen Tage, womit ebenfalls die ganzjährige Verschiebung des Temperaturregimes zu höheren Werten erkennbar wird.

In den einzelnen Jahreszeiten weisen die mittleren Temperaturänderungen der betrachteten regionalen Klimaprojektionen große Bandbreiten auf. Abgesehen von einer generellen Temperaturzunahme lässt sich daher kein übereinstimmendes Änderungsmuster im Jahresgang erkennen. Bei einigen Projektionen (z. B. WETTREG2006 und WETTREG2010) werden die größten Temperaturzunahmen im Winter und die geringsten im Frühjahr ermittelt.

Für den Gebietsniederschlag konnte anhand der Messdaten im Zeitraum 1931–2010 bereits eine deutliche Zunahme (+17 %) im hydrologischen Winterhalbjahr bei sehr leicht abnehmender Niederschlagssumme (-7 %) im Sommerhalbjahr festgestellt werden.

Für den Zeitraum 2021–2050 hingegen setzt sich die bisherige starke Zunahme der Niederschläge im Winterhalbjahr nicht bei allen Projektionen fort. Es ist eine Zweiteilung der Ergebnisse in Projektionen ohne Veränderungen und Projektionen mit deutlichen Zunahmen zu erkennen. Somit ist die Entwicklung im hydrologischen Winterhalbjahr noch mit Unsicherheiten behaftet. Aufgrund des in der Vergangenheit beobachteten Trends erscheint allerdings eine weitere Zunahme der Niederschläge plausibel.

Für das Sommerhalbjahr ergeben sich tendenziell abnehmende Niederschläge, aber erst am Ende des Jahrhunderts sind robuste Änderungssignale, die stärker als -10 % sind, erkennbar. Diese Befunde sind somit vergleichbar mit den in der BayKLAS dargestellten Ergebnissen von WETTREG2006. Vor allem aufgrund der uneinheitlichen Niederschlagsänderungen im Frühjahr und Herbst sind Aussagen über die zukünftige Entwicklung der mittleren jahreszeitlichen Gebietsniederschläge derzeit noch mit Unsicherheiten verbunden.

Abschließend ist festzuhalten, dass die betrachteten Klimaprojektionen eine Bandbreite für das zukünftige Klima im untersuchten Flussgebiet aufzeigen. Diese Bandbreite ist letztlich Ausdruck der Unsicherheiten in den genutzten Modellketten, so dass sich robuste Aussagen nur aus übereinstimmenden Signalen der Projektionen ableiten lassen.

Weitergehende Auswertungen z. B. hinsichtlich der Veränderung von Starkniederschlägen, der Länge der Vegetationsperiode oder der Dauer von Trockenperioden liegen gegenwärtig noch nicht vor, werden aber sukzessive durchgeführt. Anmerkungen hierzu sind in der Gesamtdarstellung „Klimabericht Bayern“ zu finden.

Neben den übergreifenden Informationen im „Klimabericht Bayern“ sind auch für alle anderen bayerischen Flussgebiete (analog den Planungsräumen der WRRL) detaillierte Ergebnisse zu klimatischen Veränderungen in vergleichbaren Regionalberichten dargestellt. Darüber hinaus wird das LfU neue Entwicklungen und Erkenntnisse zum regionalen Klimawandel weiter verfolgen und die bisher vorliegenden Auswertungen zeitnah fortschreiben und ergänzen.

## 5 Literaturhinweise

Der Klimawandel in Bayern – Auswertung regionaler Klimaprojektionen; Klimabericht Bayern

Verfügbar unter: [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de)

Kooperationsvorhaben KLIWA (Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft):

Die wesentlichen Berichte siehe: [www.kliwa.de](http://www.kliwa.de)

KLIWA 2011; Klimawandel in Süddeutschland, Veränderung von meteorologischen und hydrologischen Kenngrößen; Monitoringbericht 2011

KLIWA 2009; Kurzbericht Regionale Klimaszenarien und Wasserhaushaltsmodellierung - Ergebnisse der regionenspezifischen Auswertungen von Klimaprojektionen im Vorhaben KLIWA

Bayerische Klima-Anpassungsstrategie (BayKLAS),

BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND GESUNDHEIT (StMUG), 2009

Verfügbar unter: [www.stmug.bayern.de](http://www.stmug.bayern.de)

IPCC-Report und SRES - Emissionsszenarien:

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) 2007; Climate Change 2007 – The Physical Science Basis, Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report

Regionale Klimaprojektion WETTREG2006:

SPEKAT, A.; ENKE, W.; KREIENKAMP, F. 2007; Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES Szenarios B1, A1B und A2, Endbericht, UMWELTBUNDESAMT (UBA)

Regionale Klimaprojektion WETTREG2010:

SPEKAT, A.; ENKE, W.; KREIENKAMP, F. 2010; Weiterentwicklung von WETTREG bezüglich neuartiger Wetterlagen, CLIMATE & ENVIRONMENT CONSULTING POTSDAM GMBH, im Auftrag der Bundesländer

SPEKAT, A.; ENKE, W.; KREIENKAMP, F. 2010; Ergebnisse eines regionalen Szenarienlaufs für Deutschland mit dem statistischen Modell WETTREG2010, CLIMATE & ENVIRONMENT CONSULTING POTSDAM GMBH, im Auftrag des UBA

---

### Impressum:

Herausgeber:  
Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160  
86179 Augsburg

Telefon: 0821 9071-0  
Telefax: 0821 9071-5556  
E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)  
Internet: <http://www.lfu.bayern.de>

Postanschrift:  
Bayerisches Landesamt für Umwelt  
86177 Augsburg

Bearbeitung:  
Ref. 81 / Danneberg, J., Ebert, C., Komischke, H.,  
Korck, J., Morscheid, H., Weber, J.

Bildnachweis:  
DWD, Hydrometeorologie: Abb. 2 bis Abb. 4

Stand:  
06/2012

