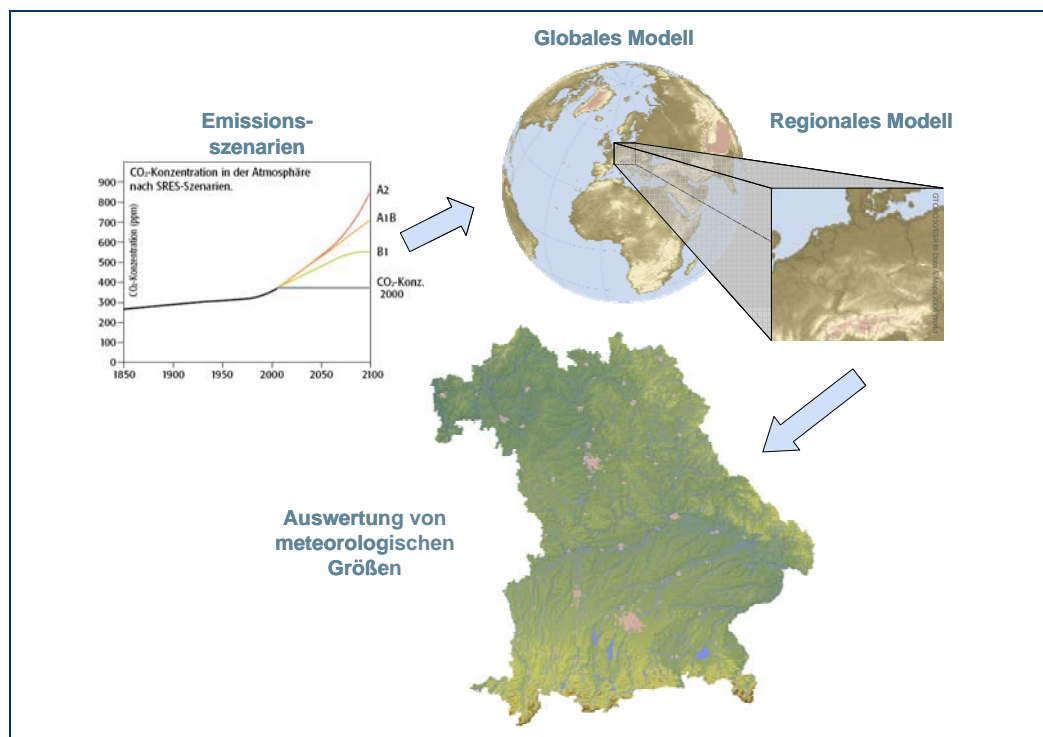


Der Klimawandel in Bayern

Auswertung regionaler Klimaprojektionen

Klimabericht Bayern



1	Einleitung	2
2	Vorgehensweise zur Abschätzung des künftigen Klimas	3
3	Bisheriges Klima und seine Veränderungen	5
4	Klimaprojektionen – Abschätzung künftiger Klimaänderungen	7
5	Temperaturänderung	9
6	Niederschlagsänderung	12
7	Zusammenfassung und Ausblick	17
8	Anhang – Zusammenstellung ausgewählter Datengrundlagen	18
9	Literaturhinweise	22

1 Einleitung

Der globale Klimawandel ist an der weltweiten Erwärmung messbar und an einer Zunahme witterungsbedingter Naturkatastrophen feststellbar. Auch vor Bayern macht der Klimawandel nicht halt. Er hat bereits zu merklichen Veränderungen verschiedener klimatischer Kenngrößen geführt und beeinflusst dadurch auch den Wasserkreislauf und den Wasserhaushalt in Flussgebieten. Damit stellen sich zunehmend Fragen nach den Folgen, z. B. wie sich der weitere Klimawandel regional auswirken kann und was Bayern in der Zukunft an Veränderungen zu erwarten hat.

Das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) bearbeitet diese Fragestellungen schwerpunktmäßig im Rahmen des Kooperationsvorhabens KLIWA (Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft), das bereits 1999 begonnen wurde. Mit diesem Vorhaben haben sich die derzeitigen Partner, die Wasserwirtschaftsverwaltungen der Länder Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz zusammen mit dem Deutschen Wetterdienst das Ziel gesetzt, mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt in den Flussgebieten herauszuarbeiten, Konsequenzen aufzuzeigen und Handlungsempfehlungen abzuleiten. Dazu ist zunächst die mögliche Klimaveränderung mit geeigneten Klimamodellen zu simulieren und regional zu quantifizieren. Die dazu erforderlichen regionalen Klimaprojektionen können dann für die weitere Modellierung von Auswirkungen, z. B. auf den Wasserhaushalt, herangezogen werden. Mit den Ergebnissen aus KLIWA wurde von der Bayerischen Staatsregierung im Jahr 2009 die Bayerische Klima-Anpassungsstrategie (BayKLAS) beschlossen, die erste Auswertungen für die Entwicklung der Mittelwerte von Temperatur und Niederschlag in Bayern enthält.

Der vorliegende Bericht stellt die Ergebnisse der aktuell für Bayern vorhandenen Klimaprojektionen dar und zeigt die Erkenntnisse zur möglichen Klimaentwicklung in Bayern auf. Er beschreibt kurz das methodische Vorgehen, erläutert einige grundlegende Begriffe der Klimamodellierung und gibt zur Orientierung anhand von meteorologischen Messdaten einen kurzen Überblick über die bisherige Entwicklung des Klimas im 20. Jahrhundert. Die anschließende Darstellung der Ergebnisse zur Klimaentwicklung für den Zeitraum bis 2100 ist als allgemeiner Überblick auf ganz Bayern ausgerichtet.

In ergänzenden regionalen Detailberichten für einzelne Planungsräume, die der Gebietseinteilung analog zur Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL, Abb. 1) entsprechen, werden die Ergebnisse darüber hinaus räumlich konkretisiert. Damit soll eine Datengrundlage für die Entwicklung von sachgerechten Anpassungsmaßnahmen in den unterschiedlichen betroffenen Sektoren unserer Gesellschaft gegeben werden. Im Bereich der Wasserwirtschaft liefern die verschiedenen Klimaprojektionen die erforderlichen Eingangsdaten für die Modellierung des Wasserhaushalts von Flussgebieten. Über diese Wirkungsmodellierung lassen sich anschließend die Veränderungen des Abflussregimes der Fließgewässer ableiten.



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

2 Vorgehensweise zur Abschätzung des künftigen Klimas

Um eine Vorstellung der zukünftigen Entwicklung des Klimas in Bayern zu erhalten und deren Folgen sachgerecht bewerten zu können, ist es nötig, einerseits das Langzeitverhalten der Klimaparameter in den letzten Jahrzehnten zu kennen („der Blick zurück“), andererseits mittels einer Modellkette (Abb. 2) regionale Klimaprojektionen zu erstellen und auszuwerten. Diese Projektionen sind aus naturwissenschaftlichen Zusammenhängen abgeleitete, mögliche Entwicklungen des Klimas. Durch die Berücksichtigung verschiedener Ausgangsbedingungen und Klimamodelle ergibt sich dabei eine Bandbreite an denkbaren Zukunftsbildern (Ensemble-Technik).

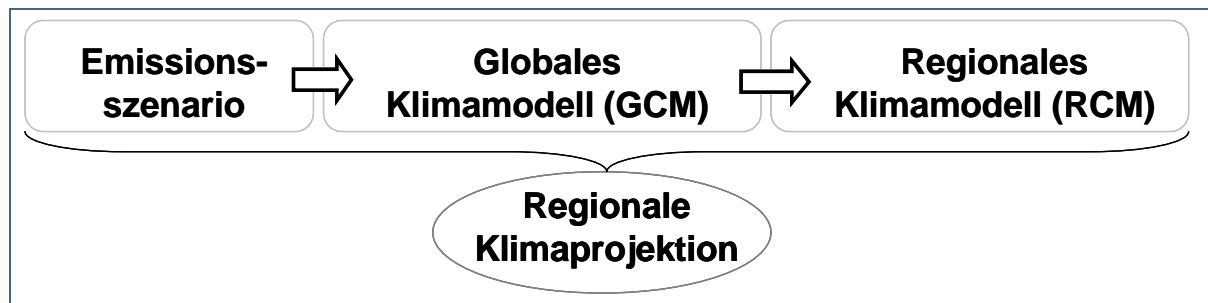


Abb. 2: Allgemeines Schema der Modellkette zur Erstellung regionaler Klimaprojektionen als Voraussetzung für die nachfolgende Wirkungsmodellierung.

Die von der Klimaforschung als Randbedingung festgelegten und auch vom IPCC (Weltklimarat) bisher genutzten (SRES-) Emissionsszenarien beschreiben in Abhängigkeit der angenommenen Entwicklung der Weltwirtschaft zukünftig mögliche Treibhausgas-Konzentrationen in der Atmosphäre. Damit können Globale Klimamodelle (General Circulation Models – GCM) die weltweite Klimaentwicklung von Jetztzeit und Zukunft in einem globalen Raster simulieren. Die räumliche Auflösung der Rasterzellen eines GCM liegt bisher in einer Größenordnung von ca. 200 x 200 km, weshalb sich GCM-Ergebnisse nicht unmittelbar für regionale Auswertungen eignen. Um dennoch die regionale Klimaentwicklung auch für Gebiete von der Größe Bayerns (rund 70.000 km²) oder für Flusseinzugsgebiete (z. B. Naab 5.200 km²) abschätzen zu können, bedient man sich Regionaler Klimamodelle (Regional Climate Models - RCM), die mit den Ergebnissen eines GCM angetrieben werden. Die RCM liefern Klimagrößen für ein ausgewähltes Gebiet in höher aufgelösten Rastern mit ca. 10–50 km Seitenlänge bzw. punktuell für meteorologische Messstationen.

Die Ergebnisse der RCM 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) und werden in diesem Zusammenhang als regionale Klimaprojektionen bezeichnet. Bei den RCM lassen sich prinzipiell zwei Herangehensweisen unterscheiden:

Statistische Methoden nutzen zur regionalen Klimadarstellung statistische Zusammenhänge zwischen großräumigen atmosphärischen Mustern (z. B. Großwetterlagen, Druck, Temperatur) und den Klimadaten vorhandener Messstationen. Mit diesen Zusammenhängen kann über die Modellergebnisse eines GCM eine mögliche zukünftige Entwicklung des Klimas an den Stationspunkten abgeleitet werden. Für weitergehende Untersuchungen müssen diese Punktwerte regionalisiert, d. h. auf die Fläche des Untersuchungsgebiets übertragen werden.

Dynamische RCM sind ähnlich wie die GCM aufgebaut, beschreiben also physikalische Zusammenhänge von Atmosphäre, Ozean und Landoberfläche, dies aber nur für Gebietsausschnitte der Erdoberfläche. Für das entsprechende Gebiet wird das genutzte RCM in das GCM eingebettet, und von diesem angetrieben (siehe Titelbild).

Aus methodischen Gründen eignen sich statistische RCM vor allem zur Ableitung von Klimaprojektionen bis etwa zur Mitte dieses Jahrhunderts. Darüber hinaus werden die Ergebnisse vor allem als orientierende Aussagen betrachtet, dies ist bei der Interpretation der Veränderungen zu beachten. Dynamische Modelle sind dagegen prozessorientiert und damit für die Simulation der in fernerer Zukunft ablaufenden Prozesse vom Grundsatz her besser geeignet.

Generell sind in jedem der Modellschritte (vgl. Abb. 3) Annahmen aus dem naturwissenschaftlichen und gesellschaftlichen Bereich getroffen, die stets mit Unsicherheiten behaftet sind („die Zukunft ist unsicher“!). Dies liegt unter anderem daran, dass derzeit nicht alle Prozesse des Klimasystems verstanden und in den Klimamodellen abgebildet sind. Daher bestehen Unterschiede im Aufbau der verschiedenen, von einer Reihe von internationalen Forschungsinstitutionen aufgestellten Klimamodelle. Hinzu kommen aber auch Unsicherheiten im Hinblick auf die zukünftige Entwicklung z. B. der Treibhausgasemissionen, des Bevölkerungswachstums, der Landnutzungsänderung oder des Wirtschaftswachstums, die summarisch durch die unterschiedlichen Emissionsszenarien abgedeckt werden sollen.

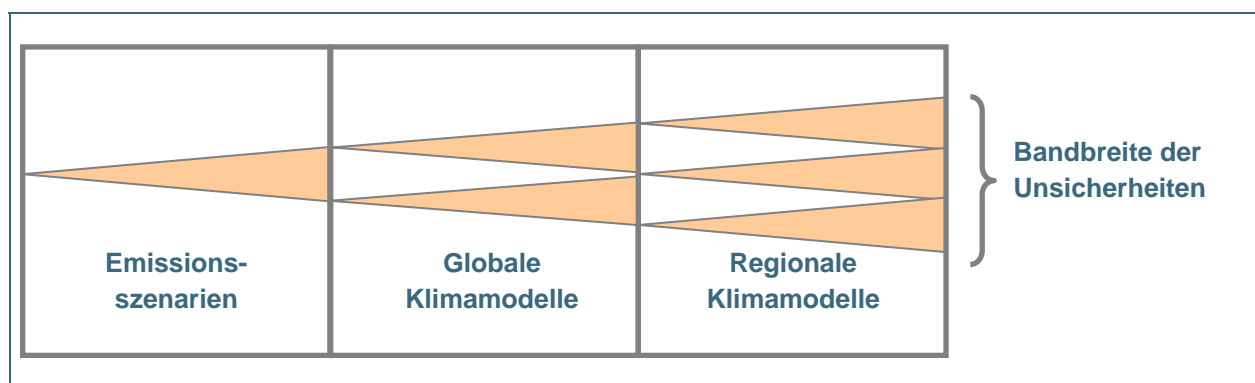


Abb. 3: Schema für die Zunahme von Unsicherheiten in der Modellkette.

Die vorhandenen Unsicherheiten führen dazu, dass „die eine Prognose“ für die Zukunft nicht erstellt werden kann. Vielmehr werden mit verschiedenen Regionalmodellen unterschiedliche Projektionen berechnet, die mögliche Entwicklungspfade für die Zukunft aufzeigen. Es ist also fachlich geboten, mögliche Klimaänderungen für Bayern anhand mehrerer Klimaprojektionen zu betrachten. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, durch Bündelung und Kombination von unterschiedlichen Modellen und Annahmen zu einer plausiblen Bandbreite von Aussagen und Ergebnissen zu kommen (Ensemble-Technik). Dieses Vorgehen ermöglicht es auch, bei übereinstimmenden Aussagen belastbare Ergebnisse herauszufiltern und Unsicherheiten einzugrenzen. Die ermittelte Ergebnisbandbreite ergibt einen Korridor, in dem die zukünftige klimatische Entwicklung unter den getroffenen Annahmen voraussichtlich liegt.

3 Bisheriges Klima und seine Veränderungen

3.1 Derzeitiges Klima in Bayern

Die Klimakenngrößen, insbesondere Temperatur und Niederschlag, weisen eine hohe natürliche Variabilität auf. Deswegen werden für Angaben zum Klima Mittelwerte einer längeren Zeitperiode genutzt, üblicherweise werden dafür Zeiträume von 30 Jahren herangezogen. Die Auswertung der gemessenen Größen für den Zeitraum 1971–2000 zeigt Tab. 1 für Bayern als Jahresmittel- und Halbjahreswerte. Zur Ermittlung der Temperatur-Kenntage wird die Anzahl der Tage bestimmt, an denen definierte Schwellenwerte eines Tagesminimums bzw. Tagesmaximums über- oder unterschritten werden.

Tab. 1: Kenngrößen für das Klima in Bayern, gemittelt über den Zeitraum 1971-2000

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

Bezogen auf die Fläche Bayerns ist allerdings eine regional stark differenzierte Temperatur- und Niederschlagsverteilung gegeben. Die wärmeren, niederschlagsärmeren Regionen Mittel- und Unterfrankens stehen den niederschlagsreicheren Gebieten der Mittelgebirge und des Alpenvorlandes mit den Alpen gegenüber. Diese klimatischen Unterschiede zeigen sich auch im Wasserhaushalt der Flussgebiete in Bayern (siehe Abb. 18 und Abb. 19 im Anhang).

3.2 Bisherige Veränderungen

Die Veränderungen von Temperatur und Niederschlag während der letzten Jahrzehnte wurden im Rahmen von KLIWA durch die statistische Analyse langer Messzeitreihen von hoher Datenqualität ermittelt. Diese Trends der Vergangenheit können als Vergleichsbasis und zur Plausibilitätskontrolle zukünftiger Veränderungen dienen. In regelmäßig publizierten Monitoringberichten wird das Langzeitverhalten der Messreihen dargestellt und fortgeschrieben. Die aktuellste Messreihenauswertung umfasst den Zeitraum 1931–2010. Neben der linearen Trendanalyse für die Messreihen der einzelnen Messstationen werden diese für einzelne Gebiete zusammengefasst und als Mittelwerte statistisch untersucht. Damit werden die Ergebnisaussagen insgesamt robuster.

Tab. 2: Mittlere Änderung von Lufttemperatur und Gebietsniederschlag in Bayern im Zeitraum 1931–2010

	Bayern
Änderung der Jahrestemperatur	+1,1 [°C]
Änderung des Niederschlags im hydrologischen Winterhalbjahr (November bis April)	+22 [%]
Änderung des Niederschlags im hydrologischen Sommerhalbjahr (Mai bis Oktober)	-1 [%]

Bei der mittleren Lufttemperatur ist in der Zeitreihe 1931–2010 in ganz Bayern eine deutliche Temperaturzunahme zu erkennen (Abb. 4). Diese ist über den gesamten Zeitraum betrachtet für das hydrologische Winterhalbjahr etwas höher als für das hydrologische Sommerhalbjahr. Bei ausschließlicher Betrachtung der letzten zehn Jahre ist dagegen eine stärkere Temperaturzunahme im hydrologischen Sommerhalbjahr feststellbar.

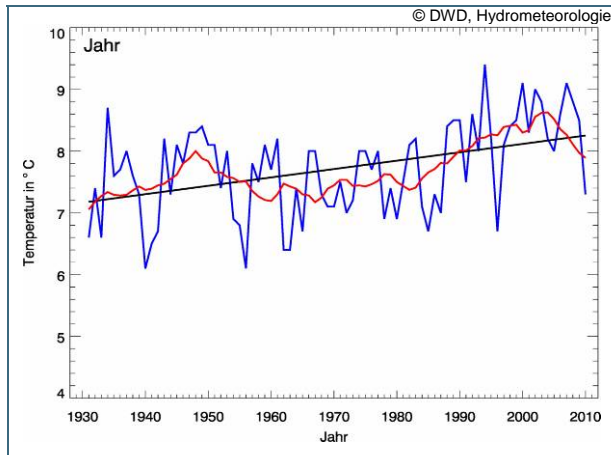


Abb. 4: Verlauf der Jahresmitteltemperatur in Bayern (blau); gleitender zehnjähriger Mittelwert (rot) und linearer Trend (schwarz) 1931–2010

Für die jährliche Gebietsniederschlagshöhe in Bayern zeigt sich im Mittel seit 1931 zwar lediglich ein geringer Anstieg, allerdings sind Änderungen im Jahresgang erkennbar: Deutliche Zunahmen im hydrologischen Winterhalbjahr sind in allen Regionen Bayerns feststellbar (Abb. 5). Im hydrologischen Sommerhalbjahr gibt es kein einheitliches Änderungsmuster der mittleren Gebietsniederschläge, weder für Nordbayern noch für Südbayern. Tendenziell zeigt sich jedoch ein sehr schwacher Rückgang der Gebietsniederschläge (Abb. 6).

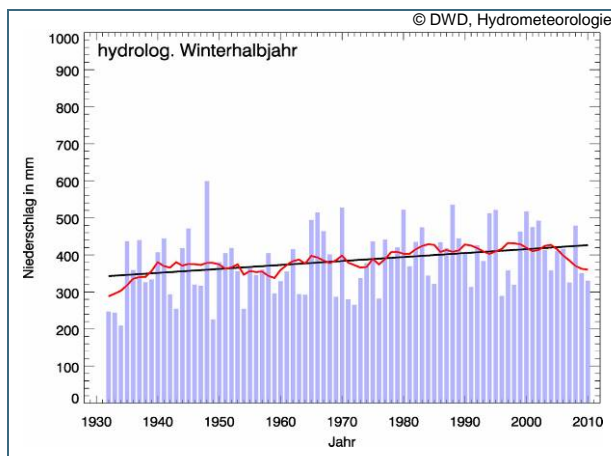


Abb. 5: Verlauf des mittleren Gebietsniederschlags in Bayern (blau); gleitender zehnjähriger Mittelwert (rot) und linearer Trend (schwarz) für das hydrologische Winterhalbjahr, Zeitreihe 1931–2010

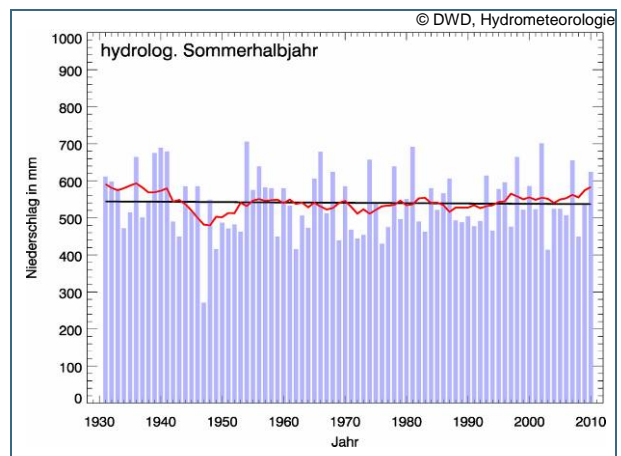


Abb. 6: wie Abb. 5, für das hydrologische Sommerhalbjahr.

Auch bei den betrachteten Starkniederschlägen (Maximalwerte der eintägigen Gebietsniederschlagshöhe) sind saisonal und regional unterschiedliche Veränderungen in der Vergangenheit zu verzeichnen. Dabei zeigen sich deutliche Zunahmen hauptsächlich im hydrologischen Winterhalbjahr und hier für Nordbayern von bis zu +44 %, vor allem in den Gebieten von Regnitz, Oberer Main, Sächsischer Saale und Naab. In Südbayern sind die Änderungen wesentlich schwächer und uneinheitlicher. Im hydrologischen Sommerhalbjahr sind für Bayern keine einheitlichen Trends erkennbar.

Die detektierten Veränderungen basieren auf zahlreichen Messwerten, also einer gut abgesicherten Datenbasis. Die signifikanten Langzeittrends können nicht mehr allein aus der natürlichen Variabilität der Klimagrößen erklärt werden; sie sind als klare Anzeichen des realen Klimawandels in Bayern zu werten.

4 Klimaprojektionen – Abschätzung künftiger Klimaänderungen

4.1 Verwendete Modellkombinationen

Für Bayern sind mehrere regionale Klimaprojektionen aus verschiedenen Kombinationen der Teile der vorstehend beschriebenen Modellkette (siehe Abb. 2) verfügbar. Die aus der Klimaforschung begründete Vorgabe, die globale Erwärmung auf maximal +2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen (E1-Szenario), wird bei den zur Verfügung stehenden Projektionen noch nicht betrachtet. Stattdessen bildet das Emissionsszenario A1B des 4. IPCC-Sachstandsberichts die Basis der hier verwendeten Projektionen. Ursprünglich sollte dieses „mittlere“ Szenario den bisher erwarteten, zukünftigen Entwicklungstrend der atmosphärischen Konzentration an Treibhausgasen relativ gut widerspiegeln. Die seit wenigen Jahren tatsächlich verursachten Treibhausgasemissionen deuten auf eine eher ungünstige Entwicklung hin. Sie liegen zwar im oberen Bereich, aber noch innerhalb der aufgespannten Bandbreite für die vom IPCC 2007 veröffentlichten Emissionsszenarien.

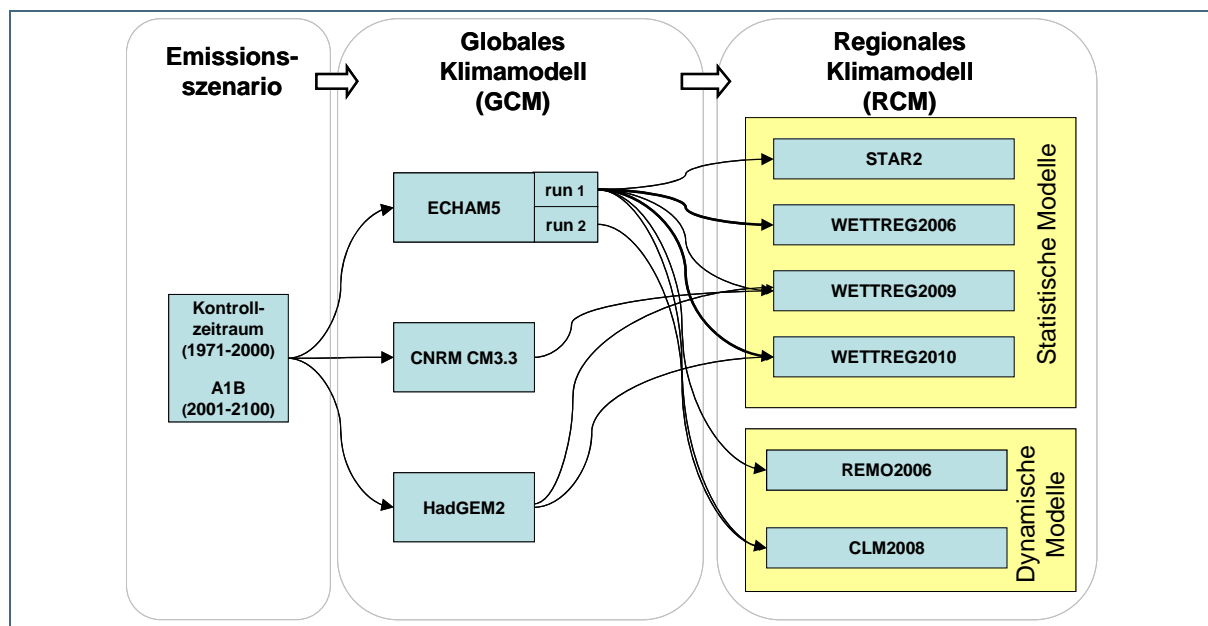


Abb. 7: Darstellung der Modellketten der bayernweit ausgewerteten Klimaprojektionen.

Als Antrieb der sechs RCMs sind für Bayern bei den vorliegenden Auswertungen drei unterschiedliche GCMs unter Annahme des Emissionsszenarios A1B verwendet worden. Einen Überblick zu den betrachteten Modellkombinationen gibt Abb. 7. Die nachstehenden regionalen Klimaprojektionen sind - sofern nicht anders angegeben - mit dem Globalmodell ECHAM5 angetrieben. Aus den zahlreichen Verknüpfungsmöglichkeiten der Modelle stehen zehn unterschiedliche regionale Klimaprojektionen zur Verfügung und werden zur Auswertung herangezogen. Die Bezeichnung der entsprechenden Projektionen orientiert sich im Folgenden an den Namen der RCMs. Im Anhang findet sich eine detaillierte Übersicht sowie Karten zur räumlichen Verteilung der Gitter- und Stationspunkte der betrachteten RCMs.

Ein Element zur Einschätzung der Plausibilität der Ergebnisse einer regionalen Klimaprojektion ist der Kontrolllauf. Hierfür wird das Klima eines Zeitraums in der Vergangenheit (hier im Folgenden der 30-jährige Zeitraum 1971-2000) mit der entsprechenden Modellkette auf Basis der beobachteten Treibhausgasemissionen modelliert. Bei einem anschließenden Vergleich mit den meteorologischen Messdaten sollte das Klima der Vergangenheit möglichst gut in der Simulation wiedergegeben werden.

Mit den statistischen Modellen wird die Vergangenheit erwartungsgemäß gut wiedergegeben, da diese Verfahren gemessene Stationsdaten für die Erstellung der Klimaprojektionen verwenden. Dagegen nimmt ihre Aussagekraft in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts ab. Ursache hierfür sind die dem Modell

zugrundeliegenden statistischen Zusammenhänge zwischen großräumigen atmosphärischen Gegebenheiten und Messdaten vorhandener Klimastationen, die zukünftig möglicherweise nur noch eingeschränkt gelten. Aufgrund der hohen Übereinstimmung der Kontrollläufe mit den Messungen sind die statistischen Modelle allerdings gut für weitere Modellierungen z. B. des Wasserhaushalts bis etwa Mitte des Jahrhunderts geeignet. Im Weiteren werden deshalb die Ergebnisse der Klimaprojektionen herausgehoben, die auf den statistischen Regionalmodellen WETTREG2006 und WETTREG2010 (beide angetrieben durch das GCM ECHAM5) beruhen. Sie decken zumeist einen großen Bereich der Spannweite der Ergebnisse ab und wurden daher im LfU bisher bevorzugt für weitere Auswertungen in Bayern verwendet.

Bei den Klimaprojektionen, die auf dynamischen RCM beruhen, ergeben sich regelmäßig deutliche Unterschiede zwischen den modellierten und den beobachteten Werten von Temperatur und Niederschlagsverteilung. Daher sind die modellierten Zeitreihen ohne Korrektur dieser systematischen Fehler (Bias) für weitergehende Auswertungen, z. B. als meteorologische Antriebsgrößen von Wasserhaushaltsmodellen ungeeignet. Für die Bias-Korrektur gibt es verschiedene Verfahren, als Referenz dienen die Beobachtungswerte.

4.2 Ableitung von Klimaänderungssignalen

Ein wesentliches Ergebnis der Betrachtung von regionalen Klimaprojektionen ist das Klimaänderungssignal. Dafür werden die modellierten Klimakenngrößen eines zukünftigen Zeitraums mit dem Simulationsergebnis für die Vergangenheit (Kontrolllauf) verglichen und die Differenz bzw. das Verhältnis angegeben. Mögliche systematische Fehler eines Modells werden damit weitgehend umgangen, da die modellierte Zukunft mit der modellierten und nicht mit der gemessenen Vergangenheit verglichen wird. Auf diese Weise können auch Klimaprojektionen, welche Schwächen in der Nachbildung des beobachteten Klimas aufweisen, aussagekräftige Klimaänderungssignale liefern und somit für diese Auswertung genutzt werden. Zur Darstellung des zurückliegenden Klimas im Kontrolllauf werden die Jahre 1971–2000, als Schwerpunkt für den Blick in die Zukunft die Jahre 2021–2050 gewählt. Für die Abschätzung langfristiger Tendenzen wird der Zukunftszeitraum bis zum Jahr 2100 ausgedehnt. Für die Änderungen der Temperatur werden die Tageswerte, für Änderungen des Niederschlags die Tagessummen über den 30-jährigen Zeitraum gemittelt. Für die Kenntage werden Tagesminima und -maxima der Temperatur analysiert.

Die Ergebnisse verschiedener Klimaprojektionen werden in der Regel zusammengefasst dargestellt und zeigen damit auch deren Spannweite auf. Dieses Ensemble an Klimaprojektionen ermöglicht eine Einordnung der Ergebnisse und liefert die Grundlage für sachgerechte Anpassungsmaßnahmen. Die nachstehend ausgewerteten zehn Klimaprojektionen für Bayern stellen allerdings nur eine Auswahl von vielen möglichen Realisationen dar. Sie zeigen Ergebnisse unterschiedlicher Kombinationen der oben vorgestellten GCMs und RCMs unter dem gemeinsamen Emissionsszenario A1B. Die unterschiedlichen Verläufe sind durch die eingangs dargestellten Unsicherheiten der Modellketten bedingt und können daher nur Tendenzen der zukünftigen Entwicklung aufzeigen.

Um die räumliche Variabilität der simulierten Änderungen in Bayern zu verdeutlichen, werden nachfolgend für ausgewählte statistische regionale Klimaprojektionen die Stationsergebnisse in die Fläche übertragen (interpoliert). Dabei ist zu beachten, dass die hohe räumliche Auflösung der Karten eine hohe räumliche Genauigkeit vortäuscht, die Datenbasis jedoch auf unregelmäßig verteilten Messstationen beruht. Darüber hinaus sind kleinräumige oder punktgenaue Auswertungen der derzeitigen Klimaprojektionen noch stark mit Unsicherheiten behaftet und sollten daher nicht einzeln betrachtet werden. Aus diesem Grund werden für ganz Bayern, aber auch für größere Flussgebiete Gebietsmittelwerte berechnet, die möglichst belastbare Aussagen liefern sollen. Diese regionalen Auswertungen sind als separate Regionalberichte veröffentlicht.

5 Temperaturänderung

Allgemein zeigt die Entwicklung der Temperatur in Bayern für die nahe Zukunft (2021–2050) eine deutliche Erwärmung. 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. Bis zum Ende des Jahrhunderts ist in Bayern mit einem weiteren deutlichen Anstieg der Temperatur zu rechnen. Damit einhergehend ist bei den Kenntagen ein Anstieg der Anzahl der Sommertage und Heißen Tage (Tageshöchsttemperatur über 25 °C bzw. 30 °C) feststellbar. Zudem wird die Anzahl der Eis- und Frosttage (Tageshöchst- bzw. Tagestiefsttemperatur unter 0 °C) deutlich abnehmen.

5.1 Entwicklung der Jahrestemperatur

Ähnlich zu der im 4. IPCC-Bericht dargestellten Bandbreite des globalen Temperaturanstiegs für das A1B-Szenario zeigen auch die zehn hier ausgewerteten regionalen Klimaprojektionen erwartungsgemäß eine Bandbreite ansteigender Temperaturen für Bayern an (Abb. 8). Da die Jahreswerte entsprechend der natürlichen Variabilität stark schwanken, sind die Entwicklungen als 30-jährige gleitende Mittel dargestellt. Der Anstieg der mittleren Jahrestemperatur ist dabei übereinstimmend klar signifikant, d. h. die Zunahmen fallen bei allen hier betrachteten Klimaprojektionen deutlicher aus als allein aufgrund der natürlichen Variabilität der mittleren Jahrestemperatur im Kontrollzeitraum zu erwarten wäre. Die übereinstimmenden Ergebnisse der Klimaprojektionen sind somit ein belastbares Klimaänderungssignal. Im 30-jährigen Mittel für 2021–2050 erreichen einige Projektionen bereits Zunahmen bis etwa +2 °C, die bis zum Ende des Jahrhunderts weiter ansteigen. Dabei liegt die der BayKLAS zugrunde gelegte Klimaprojektion WETTREG2006 (ECHAM5) am unteren Rand der hier dargestellten Bandbreite.

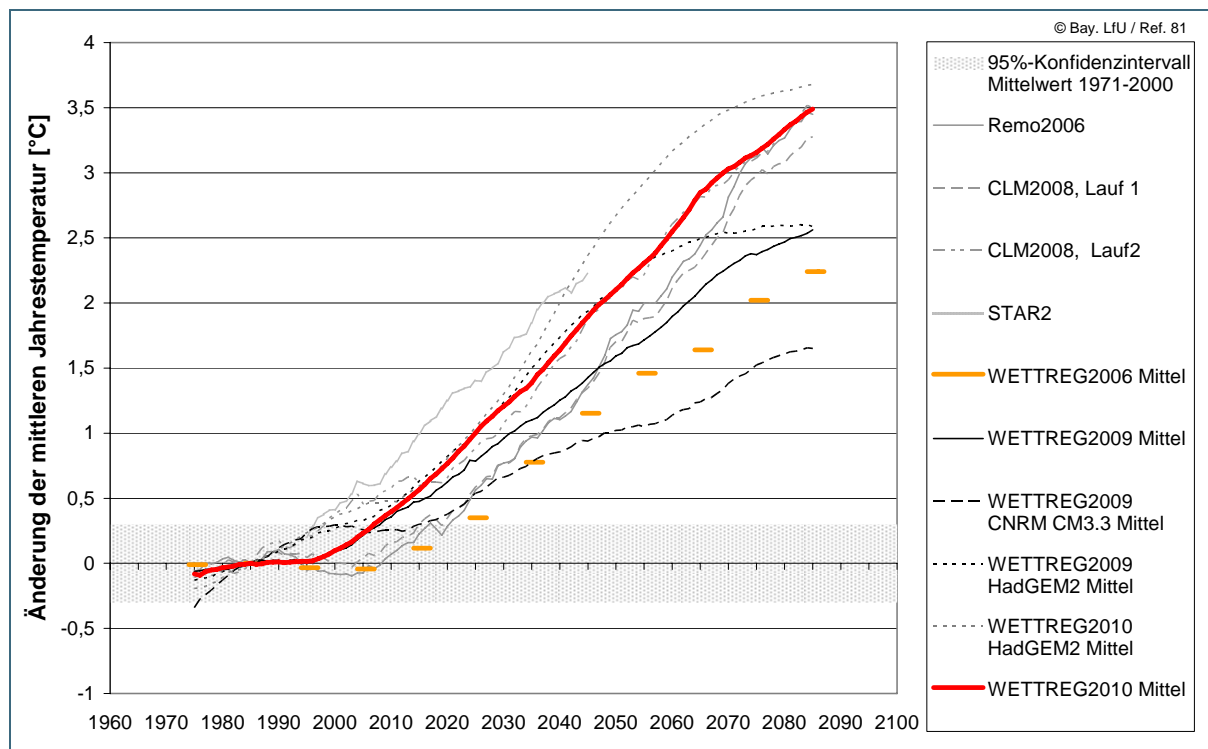


Abb. 8: Änderung des 30-jährigen, gleitenden Mittelwerts der Jahrestemperatur in Bayern gegenüber dem Kontrollzeitraum 1971–2000 in [°C] für eine Reihe verfügbarer regionaler Klimaprojektionen (Ensemble-Betrachtung mit Bandbreite). Der Vertrauensbereich des Mittelwerts 1971–2000 ($\pm 0,3^{\circ}\text{C}$, 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 GCM genutzt.

5.2 Temperaturänderung im Jahresverlauf

Neben der durchschnittlichen Jahrestemperatur ist die innerjährliche Entwicklung der Temperatur von Interesse, um z. B. Änderungen der Vegetationsperioden abschätzen zu können. Betrachtet man die Klimaänderungssignale von ganz Bayern für die meteorologischen Jahreszeiten, so ergeben sich bei den zehn Klimaprojektionen deutliche Unterschiede (Abb. 9). Vor allem im Winter und Frühjahr ist eine große Bandbreite erkennbar. Dennoch zeigen auch hier alle Projektionen einen klaren Anstieg der Temperatur in Bayern.

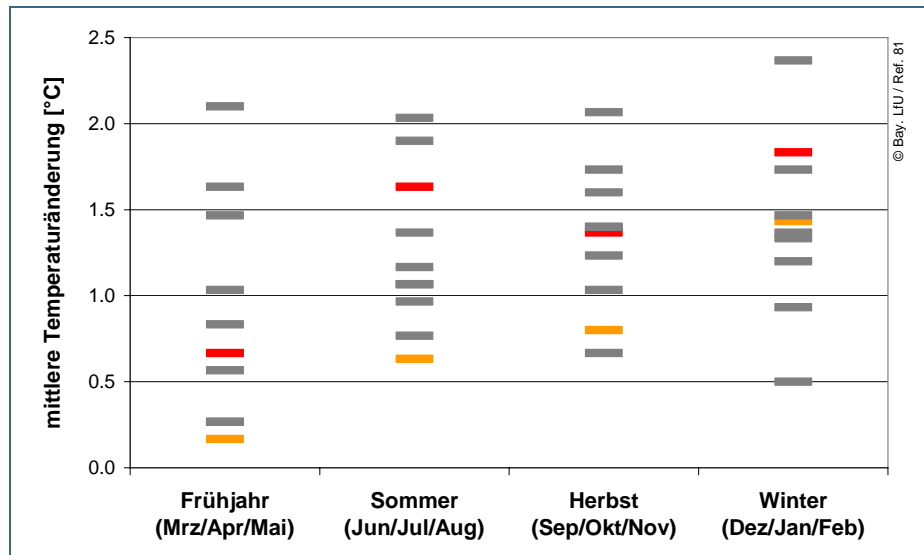


Abb. 9:
Jahreszeitliche
Spannweite der
Änderung der durch-
schnittlichen Tempera-
tur in Bayern von zehn
regionalen Klimapro-
jektionen in [°C],
Vergleich der Zeiträu-
me 2021–2050 und
1971–2000;
WETTREG2006 (in
orange) und
WETTREG2010 (in rot)
sind hervorgehoben.

Beispielhaft dargestellt in Abb. 10 sind die Änderungssignale der Temperatur als Monats-, Jahreszeit- und Jahresmittelwert für die beiden regionalen Klimaprojektionen WETTREG2006 und WETTREG2010. Ähnlich wie bei nahezu allen übrigen betrachteten Projektionen ist in fast allen Jahreszeiten ein Temperaturanstieg erkennbar, der bei WETTREG2006 schwächer ausfällt als bei WETTREG2010. Im Jahresmittel 2021–2050 steigt bei WETTREG2006 die mittlere Temperatur um +0,8 °C und bei WETTREG2010 um +1,4 °C gegenüber dem Kontrollzeitraum 1971–2000 an.

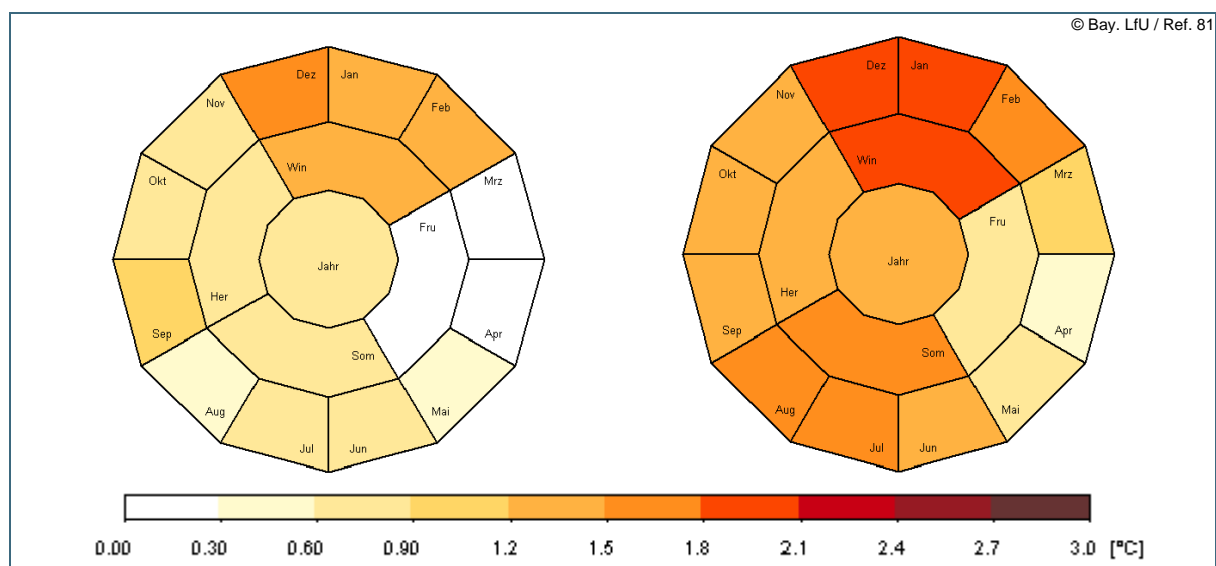


Abb. 10: Veränderung der Mitteltemperatur in Bayern von 2021–2050 gegenüber 1971–2000 in [°C] bei WETTREG2006 (links) und WETTREG2010 (rechts). Darstellung der mittleren jährliche Änderung (innerer Ring), der mittleren jahreszeitlichen Änderung (mittlerer Ring) und der mittleren monatlichen Änderung (äußerer Ring).

5.3 Räumliche Verteilung der Temperaturänderung

Bei der räumlichen Verteilung der Änderung der Temperatur gibt es meist nur geringe Unterschiede. Im Jahresdurchschnitt fallen die Temperaturzunahmen bayernweit überwiegend homogen aus. Ähnliches gilt für die nähere Betrachtung innerhalb der (meteorologischen) Jahreszeiten. Dagegen ist zwischen den Jahreszeiten ein deutlicher Unterschied feststellbar. Exemplarisch werden in Abb. 11 die Änderungen der Temperatur der Projektionen WETTREG2006 und 2010 als Jahres- und Jahreszeitenmittelwert dargestellt.

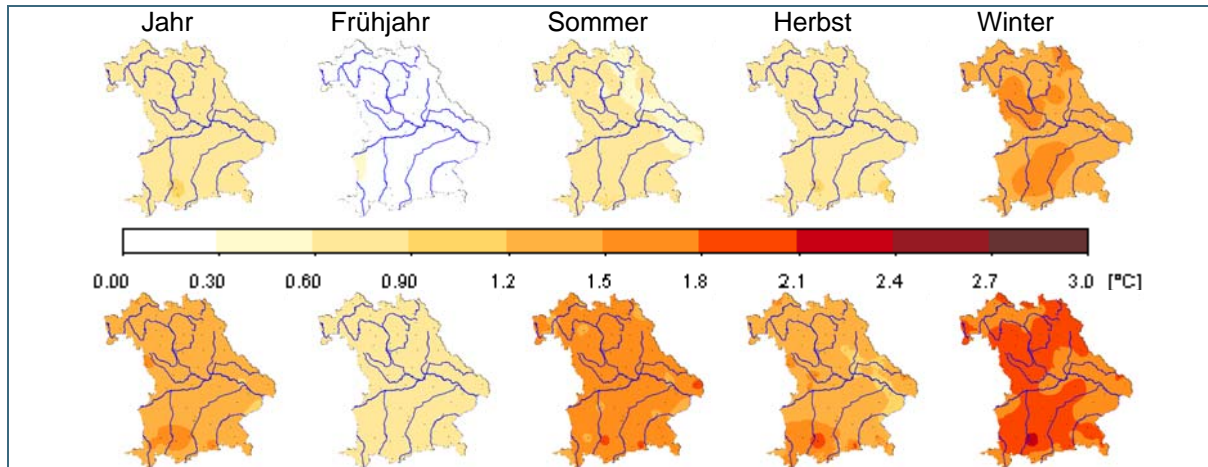


Abb. 11: Räumlich-zeitliche Variabilität der Änderung der Mitteltemperatur: Vergleich der Zeiträume 2021–2050 und 1971–2000 in [°C]; WETTREG 2006 (obere Reihe), WETTREG2010 (untere Reihe).

5.4 Änderung von Kenntagen

Zusätzlich zur Betrachtung der Temperatur eignen sich Kenntage, um zukünftige Veränderungen des Klimas zu charakterisieren. Zur Ermittlung der Kenntage wird die Anzahl der Tage bestimmt, an denen definierte Schwellenwerte der Tagesminimum- bzw. Tagesmaximumtemperatur über- oder unterschritten werden. Die starke Erwärmung führt ebenfalls zu Änderungen bei den Tagesmaxima und Tagesminima – deutlich erkennbar an der Abnahme der mittleren jährlichen Anzahl an Eis- und Frosttagen (Tageshöchst- bzw. Tagestiefsttemperatur unter 0 °C) und der Zunahme der mittleren jährlichen Anzahl an Sommertagen und Heißen Tagen (Tageshöchsttemperatur über 25 °C bzw. 30 °C) in ganz Bayern. Dabei lassen sich keine besonderen regionalen Ausprägungen feststellen. In Abb. 12 ist die Veränderung der Häufigkeit der Kenntage pro Jahr dargestellt. Die größere Erwärmung von WETTREG2010 gegenüber WETTREG2006 kommt auch hier durch ein stärkeres Änderungssignal klar zum Ausdruck.

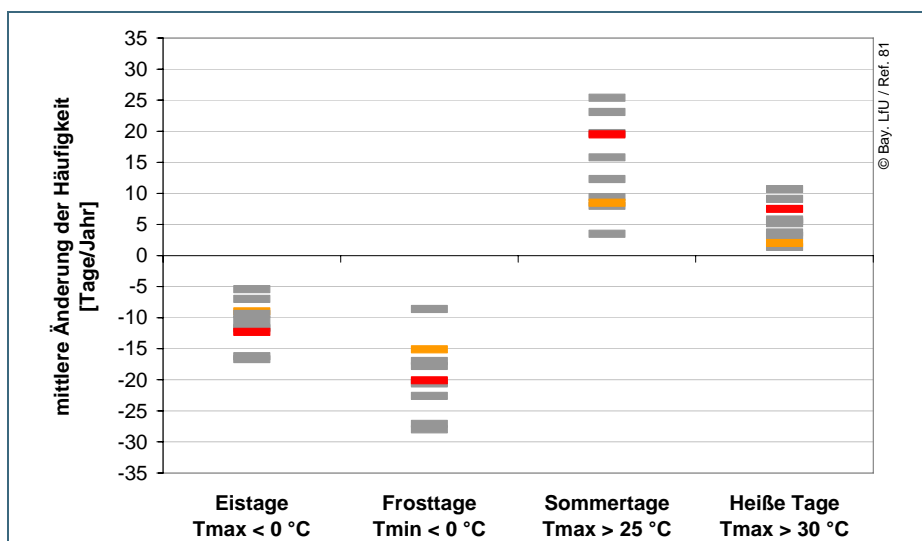


Abb. 12: Spannweite der mittleren Veränderung der Häufigkeit der Kenntage pro Jahr in Bayern; Vergleich der Zeiträume 2021–2050 und 1971–2000; Auswertung von zehn regionalen Klimaprojektionen (in grau), WETTREG2006 (in orange) und WETTREG2010 (in rot) sind hervorgehoben.

6 Niederschlagsänderung

Die zu erwartende Niederschlagsentwicklung zeigt bis Ende des Jahrhunderts für den Jahresniederschlag insgesamt keine deutlichen Veränderungen, vereinzelt sogar Abnahmen, auch wenn einige Klimaprojektionen bis Mitte des Jahrhunderts zwischenzeitlich geringe Zunahmen aufweisen können. Im hydrologischen Winterhalbjahr lassen sich bei den betrachteten Projektionen zwei unterschiedliche Tendenzen identifizieren, die zusammengenommen keine eindeutige Aussage zur Entwicklung des Niederschlags zulassen. Im hydrologischen Sommerhalbjahr ist hingegen mit abnehmenden Niederschlägen zu rechnen. Die modellierten Veränderungen werden aber hauptsächlich erst gegen Ende des Jahrhunderts als eindeutiges Änderungssignal erkennbar.

6.1 Entwicklung des Niederschlags

Der Klimawandel führt neben dem Temperaturanstieg auch zu veränderten Verdunstungs- und Niederschlagsraten. Für den mittleren **Jahresniederschlag** weisen die Ergebnisse der Projektionen bis Ende des Jahrhunderts allerdings keinen eindeutigen Trend zur Veränderung auf (Abb. 13). Zwar zeigen einige Klimaprojektionen bis Mitte des Jahrhunderts eine leichte Zunahme (<+10 %), bis Ende des Jahrhunderts ist aber nur von geringen Veränderungen, insbesondere einem leichten Rückgang des Jahresniederschlags (überwiegend <-10 %) auszugehen.

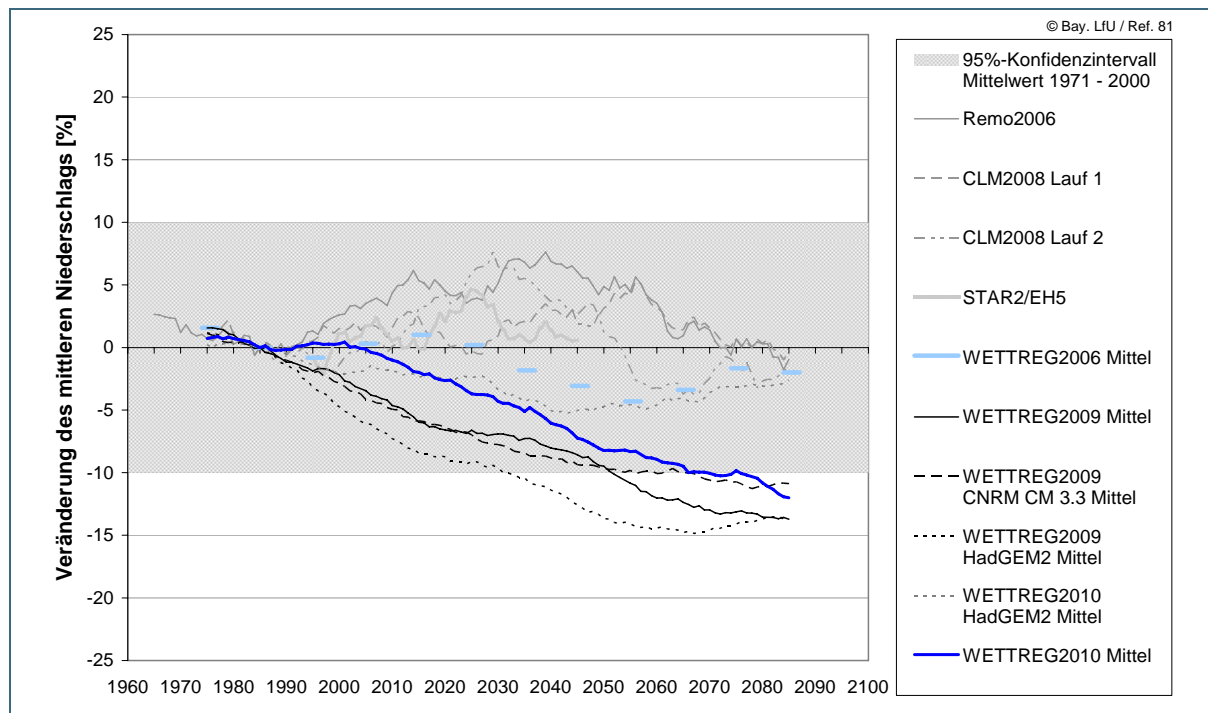


Abb. 13: Relative Änderung des 30-jährigen gleitenden Mittelwerts des Gebietsniederschlags in Bayern im hydrologischen Jahr gegenüber dem Kontrollzeitraum 1971–2000 in [%]. Der Vertrauensbereich des Mittelwerts 1971–2000 ($\pm 10\%$, graues Band) berücksichtigt die natürliche Variabilität der Jahres- und 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.

Betrachtet man jedoch den zeitlichen Verlauf der Niederschlagsänderung für das hydrologische Winter- und Sommerhalbjahr (Abb. 14), so ergeben sich je nach betrachteter Projektion deutliche Änderungen. Aufgrund der sehr hohen natürlichen Variabilität sind die Entwicklungen als 30-jährige gleitende Mittel dargestellt. Im **hydrologischen Winterhalbjahr** ist bei den Klimaprojektionen eine Zweiteilung zu beobachten: während einige Klimaprojektionen bis 2050 nur geringe Veränderungen zeigen, ist vor allem bei den auf dynamischen RCM beruhenden Projektionen eine deutliche Zunahme des Niederschlags von

bis zu +15 % erkennbar. Auffällig ist der steile Anstieg von WETTREG2006 etwa ab 2060. Da für die Vergangenheit bereits Zunahmen des Niederschlags im hydrologischen Winterhalbjahr festgestellt wurden, erscheint auch eine zukünftige Niederschlagszunahme durchaus plausibel. Im **hydrologischen Sommerhalbjahr** sind die Änderungen eindeutiger als im Winterhalbjahr. Fast alle Projektionen zeigen eine Tendenz zur Abnahme der Niederschläge, die ab der Jahrhundertmitte mit mehr als -10 % ausgeprägt ist. Damit ist das Änderungssignal als robust und weitgehend belastbar einzuschätzen.

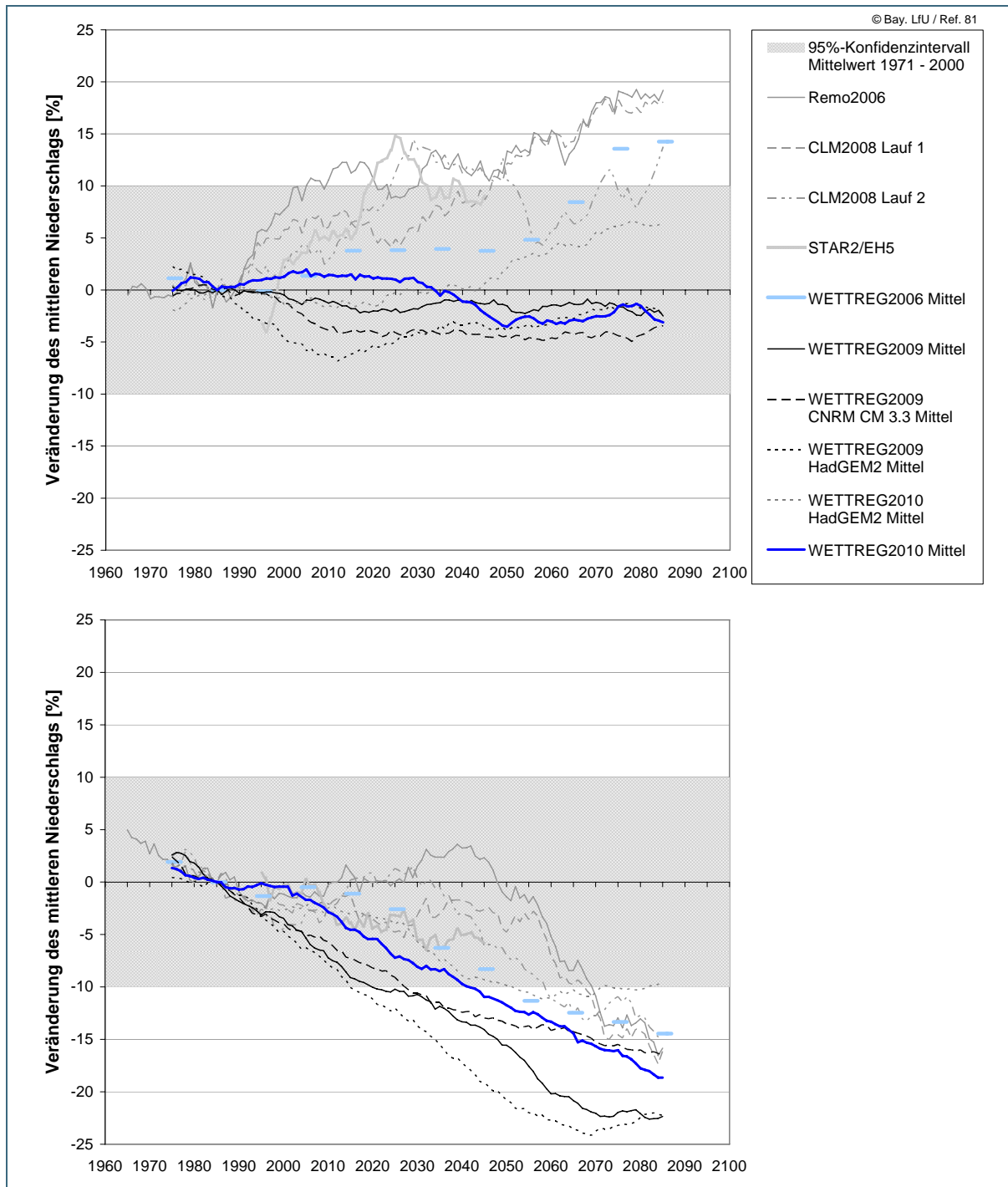


Abb. 14: Wie Abb. 13 für das hydrologische Winterhalbjahr (oben) und Sommerhalbjahr (unten).

6.2 Niederschlagsänderung im Jahresverlauf

Analog zur Temperatur wurden in den Abb. 15 und Abb. 16 die jahreszeitlichen und monatlichen Ergebnisse des Niederschlagsänderungssignals (2021–2050 gegenüber 1971–2000) als Gebietsmittel für ganz Bayern dargestellt. Die Darstellungen unterstreichen noch einmal die uneinheitlichen Änderungssignale des Niederschlags, die daher nur eingeschränkt Aussagen zur Niederschlagsentwicklung für diesen Zeitraum ermöglichen.

Im Frühjahr und Winter tendieren einige Klimaprojektionen zu ansteigenden Niederschlägen. Im Herbst ist wegen der hohen Variabilität des Modellensembles kein einheitlicher Trend zu erkennen. Im Sommer zeigt die Mehrzahl der Projektionen für weite Teile Bayerns eine klare Niederschlagsabnahme von mehr als -10 %, die für einzelne Regionen auch etwas stärker ausfallen kann.

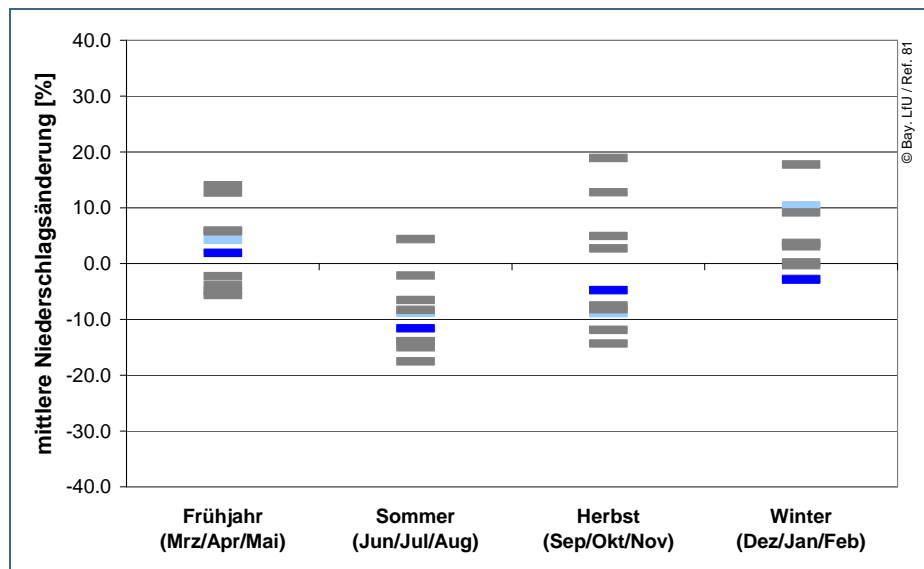


Abb. 15: Jahreszeitliche Spannweite der relativen Änderung des Gebietsniederschlags in Bayern in [%], Vergleich der Zeiträume 2021–2050 und 1971–2000; Auswertung von zehn regionalen Klimaprojektionen (in grau), WETTREG2006 (in hellblau) und WETTREG2010 (in blau) sind hervorgehoben.

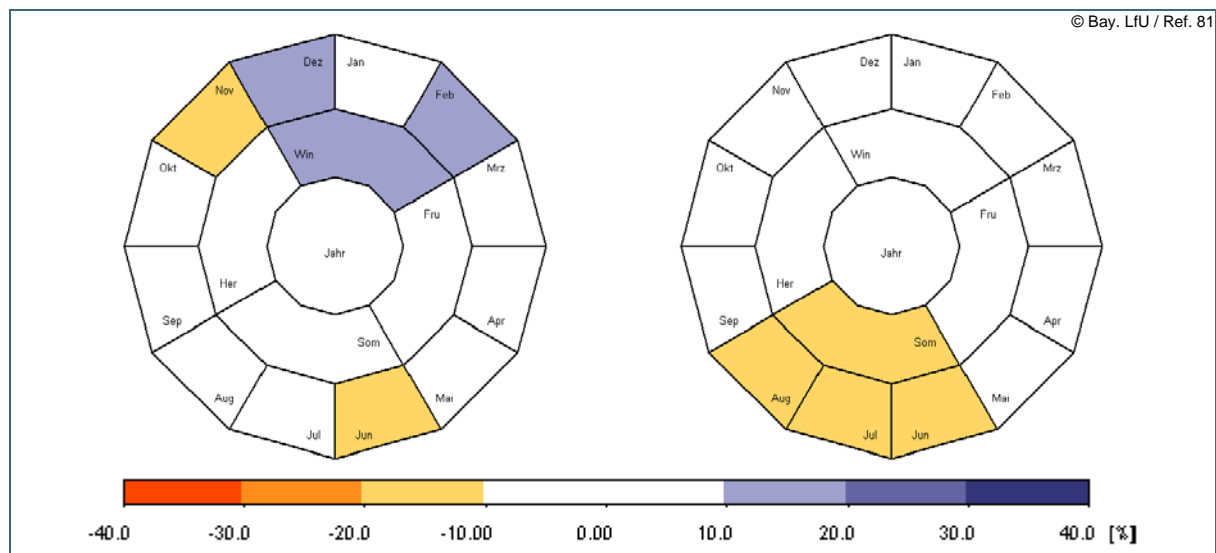


Abb. 16: Relative Veränderung der Gebietsniederschlagssumme in Bayern von 2021–2050 gegenüber 1971–2000 in [%] bei WETTREG2006 (links) und WETTREG2010 (rechts). Darstellung der mittleren jährlichen (innerer Ring), der mittleren jahreszeitlichen (mittlerer Ring) und der mittleren monatlichen Änderung (äußerer Ring).

6.3 Räumliche Verteilung der Niederschlagsänderung

Im Gegensatz zur Temperaturänderung sind die Veränderungen des Gebietsniederschlags (2021–2050 gegenüber 1971–2000) auch in der räumlichen Verteilung wesentlich uneinheitlicher. Weder im Jahresmittel noch in den einzelnen Jahreszeiten sind für die räumliche Niederschlagsverteilung einheitliche Änderungsmuster festzustellen. Zudem fallen vorhandene Änderungen nur schwach aus. In Abb. 17 sind beispielhaft die Ergebnisse der regionalen Klimaprojektionen WETTREG2006 und 2010 für die räumliche und jahreszeitliche Ausprägung des Änderungssignals dargestellt. WETTREG2010 zeigt sich hier anschaulich als trockenere regionale Klimaprojektion, die nahezu in allen Jahreszeiten eher abnehmende Niederschläge anzeigt.

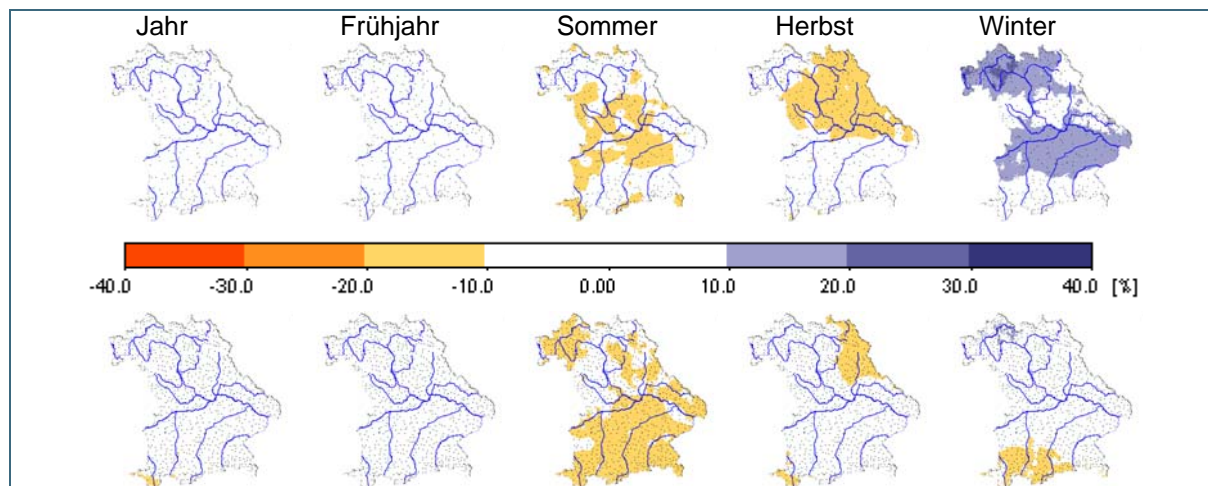


Abb. 17: Räumlich-zeitliche Variabilität der relativen Niederschlagsänderung 2021-2050 gegenüber 1971-2000 in [%]; WETTREG2006 (obere Reihe) und WETTREG2010 (untere Reihe).

6.4 Änderung weiterer Niederschlagskennwerte

Untersuchungen zu Veränderungen der Häufigkeit von Trockenperioden, Starkniederschlägen und Schneedeckenparametern in Bayern wurden im Rahmen von KLIWA für die Vergangenheit durchgeführt und teilweise publiziert. Für die Zukunft sind diese meteorologischen Größen derzeit noch nicht vollständig ausgewertet. Im Folgenden können daher nur allgemeine Hinweise auf Veränderungstendenzen gegeben werden.

Trockenperioden

Bei der Betrachtung des künftigen Niederschlagsverhaltens ist nicht nur das jahreszeitlich differenzierte Auftreten, sondern auch das mögliche verstärkte Ausbleiben von Niederschlägen ein wesentlicher Aspekt. Gerade länger anhaltende niederschlagsfreie Perioden in den warmen Sommermonaten können vielfältige Auswirkungen auf die Wasserqualität, die Wasserversorgung, die Landwirtschaft, die Stromproduktion und die Schifffahrt haben. Charakteristische Kenngrößen sind Trockentage und Trockenperioden. Dazu werden Tage mit weniger als 1 mm Gebietsniederschlag als Trockentage definiert. Als Trockenperioden werden hier Zeiträume aufeinanderfolgender Trockentage bezeichnet.

Die hier betrachteten zehn regionalen Klimaprojektionen zeigen weitgehend einheitliche Tendenzen, die sich im Allgemeinen bis zum Ende des Jahrhunderts bei zunehmender Bandbreite verstärken. Während sich im Jahresmittel kaum eine Änderung der Anzahl der Trockentage ergibt, kommen diese im hydrologischen Sommerhalbjahr deutlich häufiger vor. Dies betrifft vor allem die längeren Trockenperioden mit einer Andauer von mehr als 7 Tagen. Im hydrologischen Winterhalbjahr zeigt sich das gegenteilige Bild: die Zahl der Trockentage nimmt ab, längere Trockenphasen kommen seltener vor. Die Ergebnisse für den Winter sind jedoch aufgrund der geringeren Veränderungen weniger belastbar als für den Sommer.

Starkniederschläge

Bei der Charakterisierung von Starkniederschlägen ist allgemein neben der Höhe auch die Dauer der Niederschläge maßgebend (Niederschlagsintensität). Damit kann eine Einteilung als Starkniederschlag über die Jährlichkeit, also die statistische Auftretenswahrscheinlichkeit eines Niederschlagsereignisses oder über die Überschreitung bestimmter Schwellenwerte in Bezug auf die Dauer erfolgen. Für Fragestellungen der Siedlungswasserwirtschaft, z. B. bei der Bemessung von Entwässerungseinrichtungen, sind Niederschläge von hoher Intensität und kurzer Dauer (Minuten bis wenigen Stunden) relevant. Bei großen Flussgebieten hingegen sind lang anhaltende Niederschlagsereignisse von einem bis mehreren Tagen Dauer z. B. für die Hochwasserentstehung von Bedeutung.

Gerade die kurzzeitigen und kleinräumigen Starkregen aufgrund konvektiver Niederschlagsereignisse (v. a. Gewitter) lassen sich mit Klimamodellen bisher nur schwer abbilden. Selbst bei der kurzfristigen Wettervorhersage sind dazu kaum quantitative Prognosen möglich. In Klimamodellen sind aktuell lediglich Aussagen über die Zunahme längerer (advektiver) Niederschlagsereignisse und damit über die Gesamtniederschlagsmenge möglich; genaue Auswertungen hierzu sind in derzeit in Bearbeitung. Aufgrund physikalischer Zusammenhänge von meteorologischen Ereignissen sowie Erfahrungen aus der Vergangenheit lässt sich jedoch ableiten, dass der Energie- und Wassergehalt der Atmosphäre künftig zunimmt und dadurch vermehrt mit Extremereignissen wie Starkniederschlägen zu rechnen ist. Eine Reihe von derartigen Ereignissen in den zurückliegenden Jahren könnte dafür eine erste Bestätigung sein.

Schneeverhältnisse

Die deutliche Erwärmung im Winterhalbjahr führt zu weniger Tagen mit Schneebedeckung. Außerdem werden winterliche Niederschläge zukünftig zunehmend als Regen und weniger in Form von Schnee auftreten. Damit verbunden ist auch eine Zunahme der Tauvorgänge mit Auswirkungen auf das Hochwassergeschehen und den Bodenwasserhaushalt.

Die zu erwartenden Änderungen in den vorstehend genannten meteorologischen Bereichen können deutliche Auswirkungen auf verschiedene Bereiche der Gesellschaft haben. Weitere Auswertungen der Klimaprojektionen sind in Arbeit, um auch hierzu robustere Abschätzungen zu erhalten.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Grundsätzlich sollen zur Abschätzung der zukünftigen regionalen Klimaentwicklung möglichst viele der verfügbaren Klimaprojektionen, die auf unterschiedlichen Globalen und Regionalen Klimamodellen beruhen, betrachtet werden. Der Ensemble-Ansatz ermöglicht einen Überblick über die Schwankungsbreite und die Robustheit der Modellergebnisse.

Die Auswertung der möglichen zukünftigen Temperaturentwicklung ergibt bei den zehn hier ausgewerteten regionalen Klimaprojektionen einen weiteren deutlichen Anstieg, der durch die bisherige natürliche Variabilität der Temperatur nicht mehr erklärt werden kann. Für das Emissionsszenario A1B liegt der Temperaturanstieg bis 2050 im Mittel schon über +1 °C und bei einigen Projektionen bis 2 °C und verstärkt sich weiter bis Ende des Jahrhunderts. Allerdings nimmt dabei auch die durch die verschiedenen Modelle aufgespannte Bandbreite bis 2100 weiter zu. In der jahreszeitlichen Betrachtung ist die simulierte mittlere Temperaturzunahme im Winter von besonderer Bedeutung, da die Temperatur großen Einfluss auf die Form des Niederschlags (Regen \leftrightarrow Schnee) und somit auf den Wasserhaushalt, insbesondere den Abfluss hat. Vor allem für die niederen und mittleren Höhenlagen Bayerns bedeutet dies im Winter zunehmend Niederschläge in Form von Regen sowie eine Abnahme der Schneemenge. Auch der deutliche Rückgang der Eis- und Frosttage deutet auf diese Entwicklung hin.

Für den Niederschlag konnte anhand der Messdaten im Zeitraum 1931–2010 bereits eine deutliche Zunahme des Gebietsniederschlags im hydrologischen Winterhalbjahr in ganz Bayern festgestellt werden. Für die Entwicklung der Gebietsniederschläge im Sommerhalbjahr ist kein einheitliches Muster für Bayern zu erkennen, im Mittel blieb dieser nahezu unverändert. Hinsichtlich der zukünftig zu erwartenden jährlichen Niederschlagsmengen ist keine klare Tendenz für Bayern aus den Klimaprojektionen ersichtlich. Im hydrologischen Sommerhalbjahr ist langfristig mit einer deutlichen Abnahme zu rechnen, die allerdings bis 2050 nur schwach ausgeprägt ist. Die Entwicklung im hydrologischen Winterhalbjahr hingegen ist zweigeteilt. Ein Teil der Klimaprojektionen weist für die nächsten Jahrzehnte auf eine Niederschlagszunahme hin, wenn auch regional in unterschiedlicher Ausprägung. Andere Klimaprojektionen dagegen zeigen keine klare Veränderung auf. Somit ist die Entwicklung im hydrologischen Winterhalbjahr noch mit Unsicherheiten belastet. Aufgrund des in der Vergangenheit beobachteten Trends erscheint allerdings eine weitere Zunahme der Niederschläge eher plausibel.

Detailliertere Ergebnisse zur Klimaveränderung in Bayern sind in den Regionalberichten des LfU für einzelne Flussgebiete (analog den Planungsräumen der EG-WRRRL) dargestellt. Darüber hinaus wird das LfU neue Entwicklungen und Erkenntnisse zum regionalen Klimawandel weiter verfolgen und die bisher vorliegenden Auswertungen fortschreiben und ergänzen.

In der Wirkungsmodellierung am LfU wurden bisher vor allem die regionalisierten Klimaprojektionen WETTREG2006 und 2010 verwendet. Sie liefern bisher die meteorologischen Eingangsgrößen für die Wasserhaushaltsmodelle, mit deren Hilfe die zukünftigen Entwicklungen des Wasserhaushalts in den bayerischen Flussgebieten abgeschätzt werden. Eine Einbeziehung der Ergebnisse von dynamischen regionalen Klimaprojektionen ist derzeit in Arbeit.

Klimamodelle werden ständig weiterentwickelt, z. B. durch eine Verfeinerung der räumlichen Auflösung, sowie die Verbesserung von Prozessbeschreibungen und der Modellkopplung. Dies gilt sowohl für die Globalen wie auch für die Regionalen Klimamodelle. Ein weiterer Aspekt gegenwärtiger Forschung betrifft die Auswertung der Vielzahl derzeit verfügbarer Klimamodelle, bzw. die zusammenfassende Darstellung der Modell-Ensembles. Hier gilt es, den Ergebnis-Korridor durch zunehmende Verbesserung der Modelle zukünftig weiter einzugrenzen. Darüber hinaus ist im Zusammenhang mit der Vorbereitung des nächsten Sachstandsberichts des Weltklimarats IPCC eine neue „Generation“ von regionalen Klimaprojektionen zu erwarten, die voraussichtlich ab etwa 2013 zur Verfügung stehen.

8 Anhang – Zusammenstellung ausgewählter Datengrundlagen

8.1 Mittlere Jahrestemperaturen und mittlere jährliche Niederschlagssummen in Bayern 1971-2000

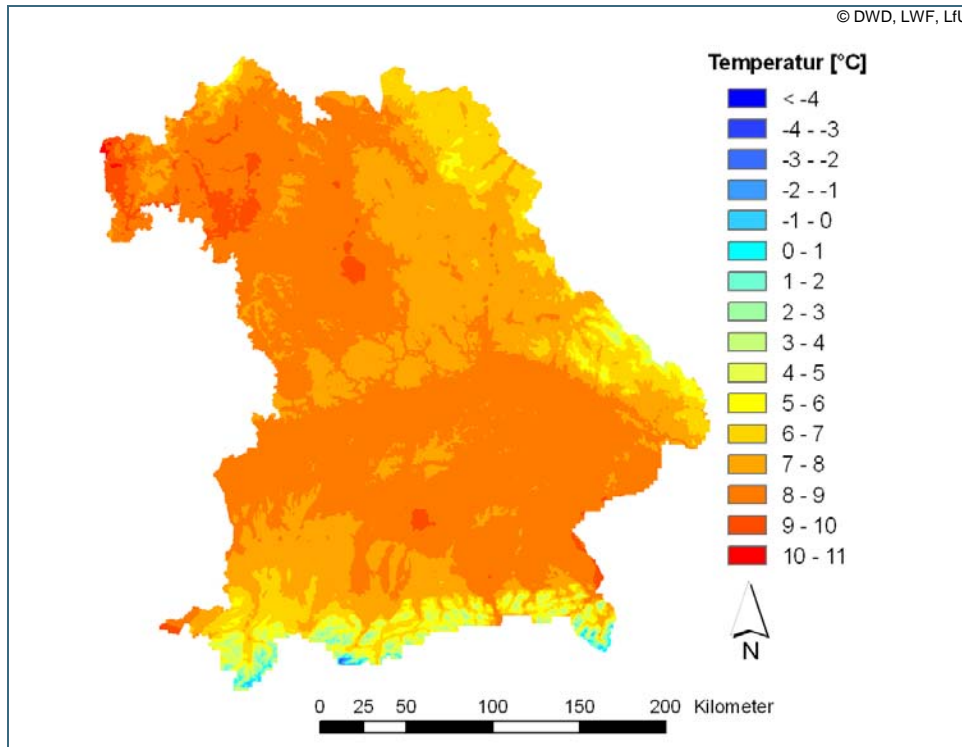


Abb. 18:
Mittlere jährliche
Lufttemperatur in [°C]
im Zeitraum 1971-2000

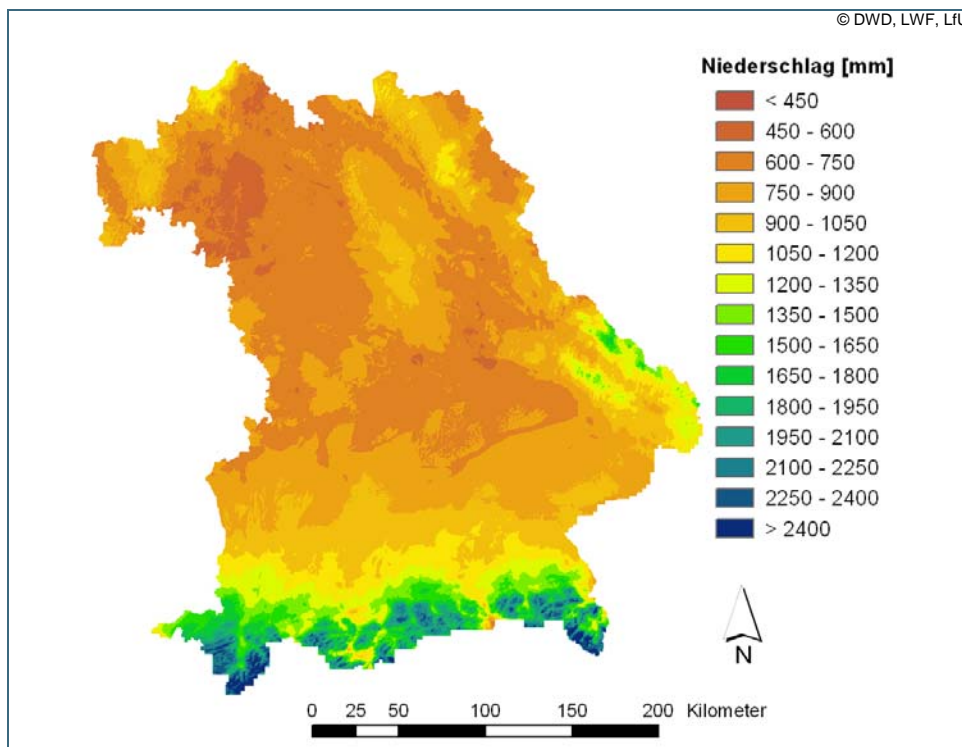


Abb. 19:
Mittlere Jahres-
niederschlagshöhe in
[mm]
im Zeitraum 1971-2000

8.2 Übersicht der verwendeten Globalen Klimamodelle

Tab. 3: Verwendete Globalmodelle als Randbedingungen/Antrieb der Regionalen Klimamodelle

Globalmodell - GCM	IPCC– Emissionsszenario	Herkunft	Bezug
ECHAM5/MPI-OM	A1B	Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg, Deutschland	World Data Center for Climate (WDCC); cera.wdc-climate.de
HADGEM2	A1B	Met Office, Hadley Centre, Großbritannien	World Data Center for Climate (WDCC); cera.wdc-climate.de
CNRM CM3.3	A1B	Centre National de Recherches Météorologiques, Frankreich	World Data Center for Climate (WDCC); cera.wdc-climate.de

8.3 Übersicht der verwendeten Regionalen Klimamodelle

Tab. 4: Verwendete Regionale Klimamodelle

Regionales Klimamodell RCM	Antreibende GCM (Randbedingungen)	Herkunft Jahr	Bezug
REMO2006	ECHAM5/MPI-OM, Lauf 1	MPI – Hamburg, Umweltbundesamt; 2006	World Data Center for Climate (WDCC); cera.wdc-climate.de
CLM 2.4.11 (2008)	ECHAM5/MPI-OM, Lauf 1 und Lauf 2	Gruppe Modelle & Daten, Konsortialläufe der CLM-Community; 2008	Service Gruppe Anpassung – SGA; World Data Center for Climate (WDCC); cera.wdc-climate.de
WETTREG2006	ECHAM5/MPI-OM, Lauf 1	Meteo-Research/CEC Potsdam GmbH Umweltbundesamt; 2006	World Data Center for Climate (WDCC); cera.wdc-climate.de
WETTREG2009	ECHAM5/MPI-OM, Lauf 1 METO HC HadGEM2, Lauf 1 CNRM CM3.3, Lauf 1	CEC Potsdam GmbH, Bayerisches Landesamt für Umwelt; 2009	Bayerisches Landesamt für Umwelt
WETTREG2010	ECHAM5/MPI-OM, Lauf 1 METO HC HadGEM2, Lauf 1	CEC Potsdam GmbH Umweltbundesamt; 2010	World Data Center for Climate (WDCC); cera.wdc-climate.de
STAR2	ECHAM5/MPI-OM, Lauf 1	PIK –Potsdam Institut für Klimafolgenforschung	World Data Center for Climate (WDCC); cera.wdc-climate.de

Tab. 4: Verwendete Regionale Klimamodelle (Fortsetzung)

Regionales Klimamodell RCM	Typ	Räumliche Auflösung	Gebietsabdeckung	Darstellung des Zeitverlaufs	verwendete Modellläufe, Realisationen
REMO2006	dynamisch	10 km x 10 km ca. 732 Gitterpunkte (Bayern)	Deutschland, Schweiz, Österreich	Transient (kontinuierlicher Zeitverlauf)	1
CLM 2.4.11 (2008)	dynamisch	18 km x 18 km ca. 220 Gitterpunkte (Bayern)	Europa	Transient (kontinuierlicher Zeitverlauf)	1 je GCM-Lauf
WETTREG2006	statistisch	Stationen 422 Stationen (Bayern)	Deutschland	nicht transient, Zeitscheiben (Dekaden)	10 je GCM
WETTREG2009	statistisch	Stationen 848 Stationen (Bayern)	Flusseinzugsgebiete Bayerns	Transient (kontinuierlicher Zeitverlauf)	10 je GCM
WETTREG2010	statistisch	Stationen 797 Stationen (Bayern)	Deutschland	Transient (kontinuierlicher Zeitverlauf)	10 je GCM
STAR2	statistisch	Stationen 661 Stationen (Bayern)	Deutschland	Transient (kontinuierlicher Zeitverlauf)	1 repräsentativer, mittlerer Lauf aus 100 Realisationen

8.4 Geographische Verteilung der Stations- und Rasterpunkte

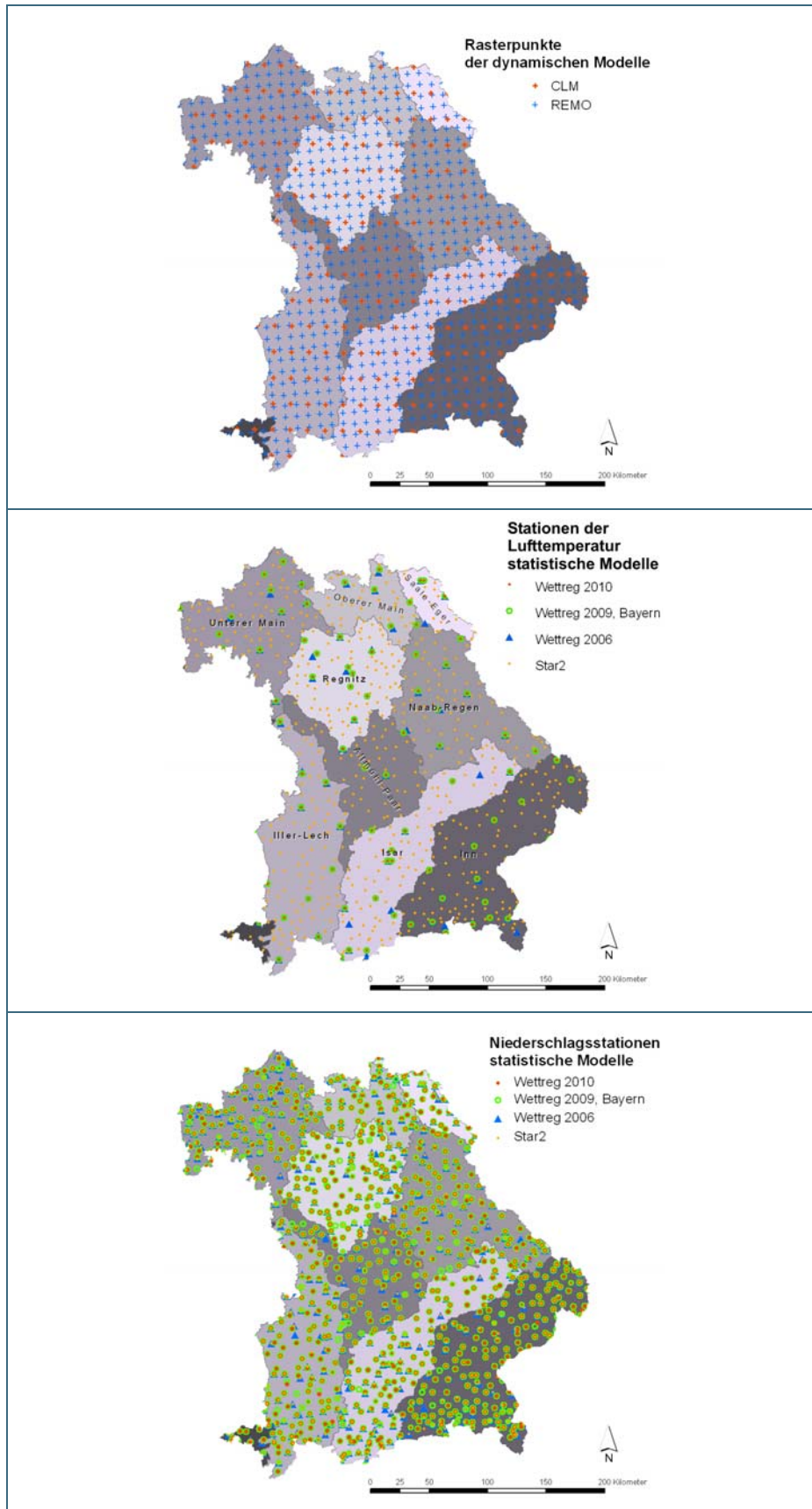


Abb. 20: Mittelpunktraster der dynamischen Regionalmodelle CLM und REMO für Lufttemperatur und Niederschlag

Abb. 21: Stationspunkte der statistischen Regionalmodelle WETTREG und STAR2 für die Lufttemperatur.

(Für die Darstellungen der Lufttemperatur in Kartenform erfolgte eine Interpolation der Stationswerte anhand der Methode der Inversen Distanzen (IDW) in Verbindung mit einer höhenabhängigen Regression.)

Abb. 22: Stationspunkte der statistischen Regionalmodelle WETTREG und STAR2 für den Niederschlag.

(Für die Darstellungen des Niederschlags in Kartenform erfolgte eine Interpolation der Stationswerte anhand der Methode der Inversen Distanzen (IDW) in Verbindung mit einer höhenabhängigen Regression.)

9 Literaturhinweise

Der Klimawandel in Bayern - Auswertung regionaler Klimaprojektionen; Regionalberichte:

Verfügbar unter: www.lfu.bayern.de

Kooperationsvorhaben KLIWA (Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft):

Die wesentlichen Berichte siehe: 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

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

Informationen zu den verwendeten regionalen Klimaprojektionen:

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, Endbericht, UMWELTBUNDESAMT (UBA)

WETTREG2010:

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

REMO2006:

JACOB, D. ET. AL. 2008; Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland – Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland, UMWELTBUNDESAMT

CLM2008:

Hollweg, H.-D. et al. 2008; Ensemble Simulations over Europe with the Regional Climate Model CLM forced with IPCC AR4 Global Scenarios; Gruppe Modelle & Daten, Hamburg; ISSN 1619-2257

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
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:
Titelbild, Emissionszenarien: Allianz Umweltstiftung,
2007

Stand:
07/2012

