

# Neue Ergebnisse zu regionalen Klimaänderungen

## Das statistische Regionalisierungsmodell WETTREG

### Inhalt

Inhalt.....	1
1. Einführung .....	1
1.1 Klare Ziele für den Klimawandel .....	1
1.2 Das Klimamodell WETTREG .....	2
1.3 Charakterisierung der SRES-Szenarios .....	4
1.4 Die Interpretation der Klimasimulationen .....	4
2. Ausgewählte Ergebnisse des Modells WETTREG .....	5
2.1 Temperatur .....	5
2.2 Niederschlag .....	9
2.2.1 Niederschlag im Sommer .....	10
2.2.2 Niederschlag im Winter .....	12
2.3 Ergebnisse für ausgewählte Gebiete und Naturräume Deutschlands .....	16
2.3.1 Nord- und Ostseeküste .....	17
2.3.2 Nordostdeutsches Tiefland .....	18
2.3.3 Zentrale Mittelgebirge und Harz .....	20
2.3.4 Links- und Rechtsrheinische Mittelgebirge .....	21
2.3.5 Oberrheingraben .....	22
2.3.6 Alpen .....	25
3. Literatur .....	27

## 1. Einführung

### 1.1 Klare Ziele für den Klimawandel

Der Klimawandel ist keine ferne Zukunft mehr, er findet bereits statt – weltweit, in Europa und auch in Deutschland. So beobachten wir eine Zunahme extremer Wetterereignisse wie Hitzeperioden und Überschwemmungen. Das Elbe-Hochwasser von 2002 beispielsweise verursachte in Deutschland Schäden von über 9 Milliarden Euro und forderte zudem 18 Menschenleben. Bekannt sind auch die Gegenüberstellungen historischer und aktueller Bilder der Alpengletscher, die von deren drastischem Rückgang in den letzten Dekaden zeugen.

Die Staatengemeinschaft hat auf die Zeichen des Klimawandels reagiert und bereits 1992 die UN-Klimarahmenkonvention beschlossen. Darin ist unter anderem festgelegt, die Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre auf einem Niveau zu stabilisieren, auf dem eine gefährliche Störung des Klimasystems durch den Menschen verhindert wird. Seitdem ist noch nicht genug dafür getan worden: Die aktuellen Projektionen der künftigen Klimaentwicklung sind alarmierend und zeigen enorme Risiken sowohl für die Volkswirtschaften, für die Stabilität der Ökosysteme und damit für eine dauerhaft tragfähige, das heißt nachhaltige Entwicklung auf. Um zumindest die unbeherrschbaren Wirkungen des Klimawandels zu vermeiden und die Gefahr abrupter, unumkehrbarer Klimaänderungen zu mindern, ist der Temperaturanstieg dauerhaft auf maximal 2 Grad Celsius (°C) gegenüber vorindustrieller Zeit zu begrenzen.

Dieses Ziel lässt sich nur erreichen, falls eine Trendwende bei den weltweiten Treibhausgasemissionen in den nächsten 10 bis 15 Jahren gelingt. Anschließend muss die Menschheit bis Mitte dieses Jahrhunderts die Treibhausgasemissionen insgesamt unter die Hälfte des Niveaus von 1990 senken. Deutschland sollte seine bisher eingenommene Vorreiterrolle im Klimaschutz weiterhin aktiv wahrnehmen und bis 2020 eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um 40 Prozent gegenüber 1990 anstreben.

## **1.2 Das Klimamodell WETTREG**

Zur Bewertung künftiger möglicher Klimaentwicklungen und damit als Grundlage für die Bewertung der Risiken und Chancen künftiger Klimaänderungen sowie notwendiger Anpassungsmaßnahmen in verschiedenen Sektoren benutzen Wissenschaft und Politik Klimamodelle. So lassen sich mögliche Entwicklungskorridore des künftigen Klimas – der Temperaturen und der Niederschläge – untersuchen. Grundlage dafür sind verschiedene Szenarien zu den möglichen Treibhausgasemissionen, die unter anderem auf Annahmen über die zukünftige wirtschaftliche Entwicklung und das Bevölkerungswachstum basieren. Es gibt globale Klimamodelle, die das Klima der gesamten Erdoberfläche simulieren und regionale Klimamodelle, die Berechnungen für bestimmte Gebiete liefern.

Globale, das heißt, die gesamte Erde abdeckende Klimamodelle können gegenwärtig Daten in einer horizontalen Auflösung von etwa 200 x 200 km zur Verfügung stellen. Da diese, für globale Modelle bereits sehr hohe Auflösung für viele Zwecke jedoch nicht ausreicht, wurden Regionalisierungsverfahren entwickelt. Grundsätzlich gibt es dabei zwei verschiedenen Methoden: dynamische und statistische Verfahren. Beispiele dafür sind die vom UBA genutzten Modelle REMO

und WETTREG: REMO ist ein dynamisches und WETTREG ein statistisches Verfahren.<sup>1</sup>

Dieses Papier basiert auf Ergebnissen des regionalen Klimamodells WETTREG – Wetterlagen-basierte Regionalisierungsmethode – der Firma Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH (CEC), die im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) rechnete. Mit diesen Klimaprojektionen lässt sich besser einschätzen, wie sich der Klimawandel in Deutschland regional auswirken kann und welche Regionen besonders betroffen sein könnten.

Bis zum Ende dieses Jahrhunderts könnte es danach in Deutschland insgesamt merklich wärmer werden. Die Modellrechnungen ergeben für den Zeitraum 2071 bis 2100 gegenüber den Jahren 1961 bis 1990 einen Anstieg der Temperaturen zwischen 1,8 und 2,3 Grad Celsius. Die stärkste Erwärmung könnte es im Norden Deutschlands (außerhalb des Küstenbereichs) sowie in den Voralpen geben. Bei den Niederschlägen ergibt sich ein weniger einheitliches Bild. Die regionalen Unterschiede dürften hier groß sein: Beispielsweise errechneten die Forscherinnen und Forscher für das ohnehin schon trockene norddeutsche Tiefland bis zu 50 Prozent weniger Niederschläge. In den Gebirgsregionen dürften dagegen vor allem im Winter die Niederschläge im Mittel zunehmen.

Mit WETTREG wurden regionale Klimaprojektionen für Deutschland ermittelt. WETTREG arbeitet mit Stationsdaten und liefert für diejenigen Stationen Ergebnisse, an denen auch Messreihen zur Verfügung stehen. Eingangsdaten des Modells sind meteorologische Daten von 282 Klimastationen und 1695 Niederschlagsstationen in ganz Deutschland.

Die globalen Klimasimulationen, auf denen WETTREG aufbaut, wurden mit dem am Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg vorhandenen Globalmodell ECHAM5/MPI-OM gerechnet. Konkret wurden die Simulationen für den Zeitraum 2010 bis 2100 durchgeführt. Die SRES-Emissionsszenarios<sup>2</sup> A1B, A2 und B1 des IPCC wurden zugrunde gelegt – die Annahmen der Szenarios A1B und B1, auf die in diesem Hintergrundpapier Bezug genommen wird, erläutert Punkt 1.2 unten (vgl. auch IPCC 2002, S. 30 – 31).

---

<sup>1</sup> Dynamische Verfahren simulieren mit einem höher aufgelösten dynamischen Modell Parameter für Teilgebiete des globalen Modellgebietes und nutzen dazu Eingangsdaten aus dem globalen Modell. Statistische Verfahren gehen davon aus, dass die globalen Modelle im großräumigen Maßstab in der Lage sind, die Muster der atmosphärischen Zirkulation treffend zu beschreiben. Bei den meisten dieser Verfahren werden statistische Beziehungen zwischen den großräumigen Mustern/Wetterlagen und den lokalen Auswirkungen identifiziert, wobei die aus der Vergangenheit oder Gegenwart gewonnenen Beziehungen auf die Projektionen der globalen Modelle angewendet werden. Das vom UBA genutzte statistische Modell WETTREG bestimmt das Klimasignal nicht direkt aus den Szenariorechnungen des globalen Klimamodells, sondern über die Kausalkette von sich ändernden Häufigkeiten der Wetterlagen in den täglichen Realisierungen des Klimamodells, die hohe oder tiefe Temperaturwerte und geringen oder starken Niederschlag verursachen.

<sup>2</sup> Special Report on Emission Scenarios

Die Simulationsrechnungen mit WETTREG waren Teil des Forschungsprojektes „Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland – Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland“.

Die detaillierten Ergebnisse der WETTREG-Modellläufe sind als Projektbericht auch unter [www.umweltbundesamt.de/klimaschutz](http://www.umweltbundesamt.de/klimaschutz) verfügbar.

### **1.3 Charakterisierung der SRES-Szenarios**

#### **A1B „Höheres Emissionsszenario“ geht aus von:**

- global orientierter Entwicklung mit starkem Wirtschaftswachstum;
- schneller Einführung neuer und effizienterer Techniken;
- der Nutzung fossiler und erneuerbarer Energien;
- einem Anstieg der Weltbevölkerung bis Mitte des 21. Jahrhunderts, gefolgt von einer Abnahme der Weltbevölkerung;
- einem Anstieg der CO<sub>2</sub>-Emissionen bis Mitte des 21. Jahrhunderts und einem leichten Rückgang bis 2100

#### **B1 „Niedrigeres Emissionsszenario“ geht aus von:**

- global orientierter Entwicklung und der Einführung von emissionsarmen und ressourcenschonenden Techniken;
- Schwerpunktlegung auf sozial- und umweltverträglicher Entwicklung, jedoch ohne zusätzliche Klimaschutzinitiativen;
- einem Bevölkerungswachstum bis Mitte des 21. Jahrhunderts, danach einer Abnahme der Weltbevölkerung;
- einem Anstieg der CO<sub>2</sub>-Emissionen bis etwa Mitte des 21. Jahrhunderts, gefolgt von einer deutlichen Abnahme bis 2100 (Emissionsniveau im Jahr 2100 niedriger als bei A1B)

### **1.4 Die Interpretation der Klimasimulationen**

Die Ergebnisse des ECHAM5-Globalmodells vom Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg und damit auch des WETTREG-Regionalmodells können **nicht** als Vorhersagen interpretiert werden, sondern als Klimaszenarien oder Klimaprojektionen. Klimaszenarien und -projektionen stellen im Unterschied zu Vorhersagen nur mögliche künftige Klimaentwicklungen oder Entwicklungskorridore dar. Klimamodelle sind nicht in der Lage, das Klima für einen bestimmten Zeitraum in der Zukunft vorherzusagen. Klimaprojektionen liefern zudem keinesfalls absolute

Wahrheiten, sondern es ist lediglich möglich, dass sie auf der Grundlage anderer Annahmen oder neuer Erkenntnisse modifiziert werden.

Die Gründe dafür, dass Klimasimulationen nicht als Prognosen (Vorhersagen) interpretiert werden können, liegen unter anderem darin, dass Klimamodelle bei ihren Berechnungen Informationen über die künftige Entwicklung von Faktoren benötigen, die nicht umfassend genug bekannt sind. Zu diesen – das Klima entscheidend beeinflussenden Faktoren – zählen zum Beispiel die Sonneneinstrahlung, die Stellung der Erde zur Sonne, die Treibhausgasemissionen (stark abhängig von der wirtschaftlichen Entwicklung und dem Wachstum der Weltbevölkerung) und die daraus resultierenden Konzentrationen der Klimagase in der Atmosphäre, der Vulkanismus oder die Beschaffenheit der Erdoberfläche. Diese Klimafaktoren sind für längere Zeiträume nicht ausreichend genug im Voraus bekannt. Deshalb sind die Klimaprojektionen keine Prognosen (Vorhersagen) des künftigen Klimas, sondern dienen der Simulation verschiedener möglicher Klimaentwicklungen (Klimatrends) in der Zukunft.

Darüber hinaus sind für eine detaillierte Interpretation der Ergebnisse des WETTREG-Modells folgende Punkte zu beachten: Eine Auswertung für ein bestimmtes Jahr in der Zukunft ist nicht möglich, und die Betrachtung der Ergebnisse für eine einzelne meteorologische Station ist nicht immer sinnvoll. Die Auswertung sollte wegen der Repräsentativität vornehmlich gebietsweise und mindestens für Dekaden, besser noch für 30-Jahreszeiträume erfolgen.

## 2. Ausgewählte Ergebnisse des Modells WETTREG

Die Darstellung der Ergebnisse bezieht sich auf die Emissionsszenarios A1B und B1. Zur besseren Veranschaulichung sind sie im weiteren Text A1B als „**Höheres Emissionsszenario**“ und B1 als „**Niedrigeres Emissionsszenario**“ bezeichnet.

### 2.1 Temperatur

Als Parameter, der der Auswertung zugrunde liegt, wird die Tagesmitteltemperatur gewählt. Das Papier betrachtet erstens die Tagesmitteltemperaturwerte des Zeitabschnittes 1961 bis 1990, die auf WETTREG-Simulationen auf Basis der ECHAM5-Kontrolllaufdaten beruhen. Zweitens wird die mit WETTREG simulierte Tagesmitteltemperatur im Zeitabschnitt 2071 – 2100 betrachtet. Die Abbildung 1 zeigt den Kontrolllauf. Die Abbildungen 2 und 3 veranschaulichen die Differenz zwischen dem Zeitbereich 2071 – 2100 und dem Kontrolllauf für das höhere Emissionsszenario (A1B) und das niedrigere Emissionsszenario (B1).

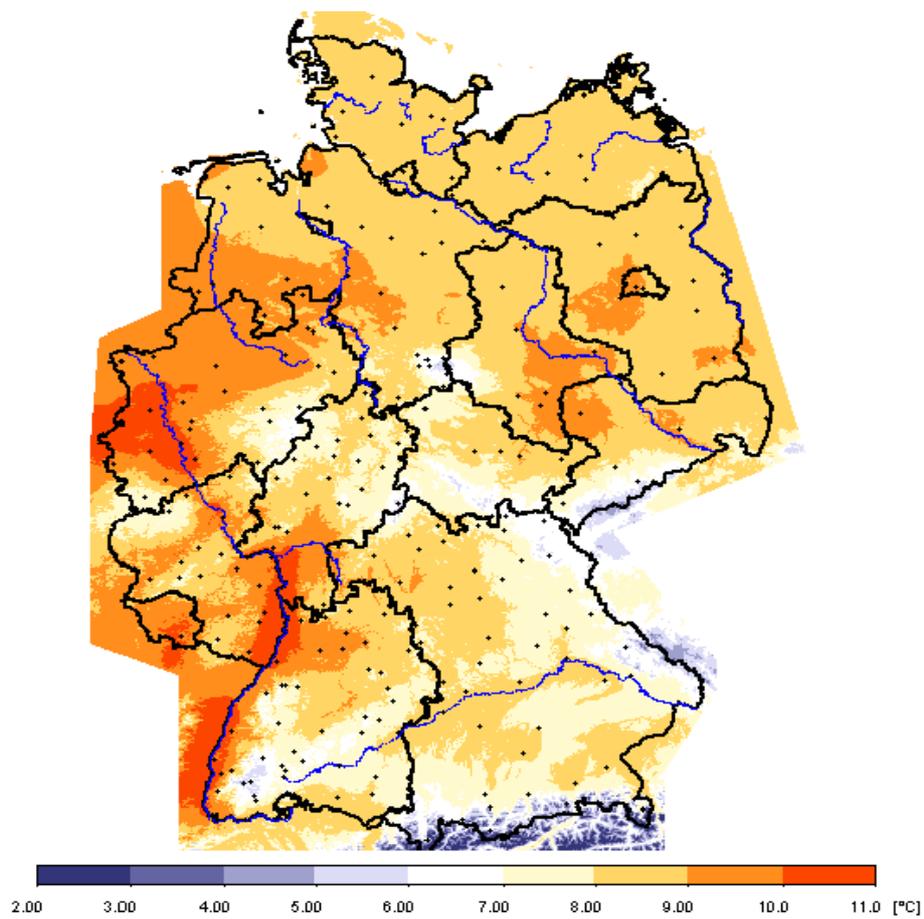


Abbildung 1: Tagesmitteltemperatur über den Zeitraum 1961 – 1990 (ECHAM5 – Kontrolllauf) gemittelt; blau: niedrige Temperatur, rot: hohe Temperatur; Flächenmittel: 8,2°C; die schwarzen Punkte sind die Klimastationen

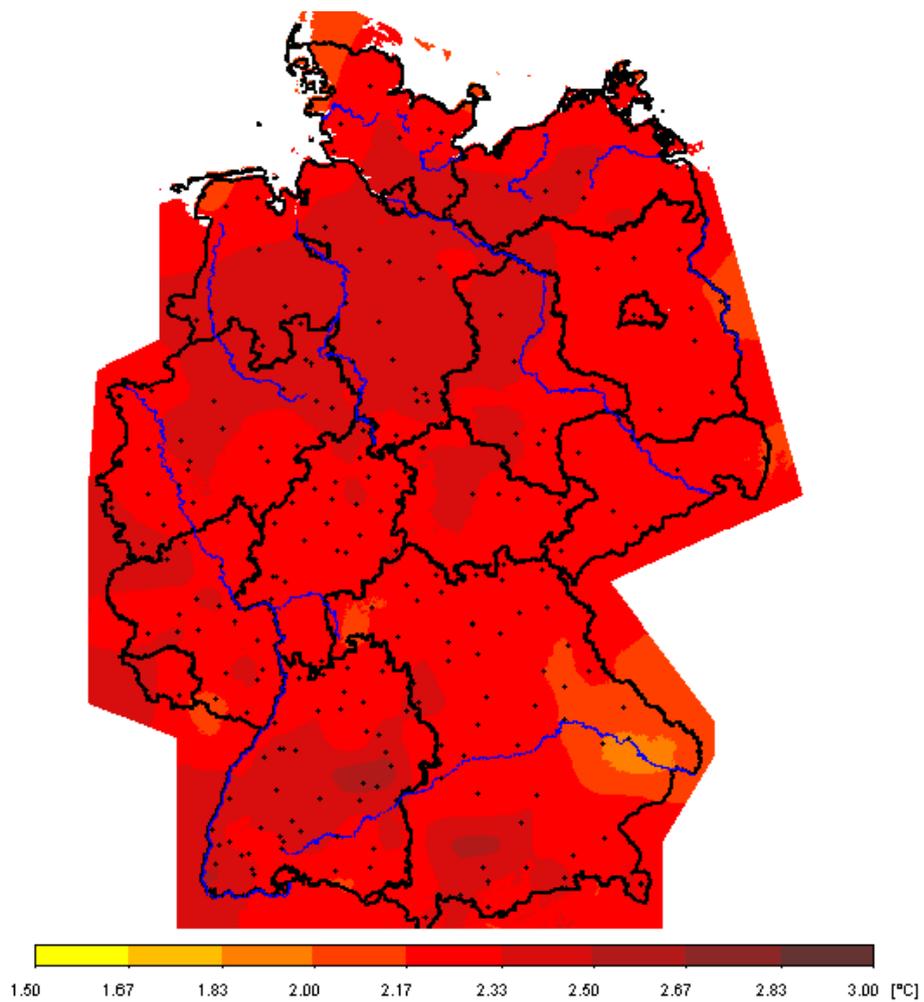


Abbildung 2: Tagesmitteltemperatur: Differenz zwischen dem Zeitraum 2071 – 2100 und dem Zeitraum 1961 – 1990 für das höhere Emissionsszenario (A1B); gelb: geringe Temperaturzunahme bis Ende des 21. Jahrhunderts, dunkelrot: starke Temperaturzunahme bis Ende des 21. Jahrhunderts; Flächenmittel: 2,3°C

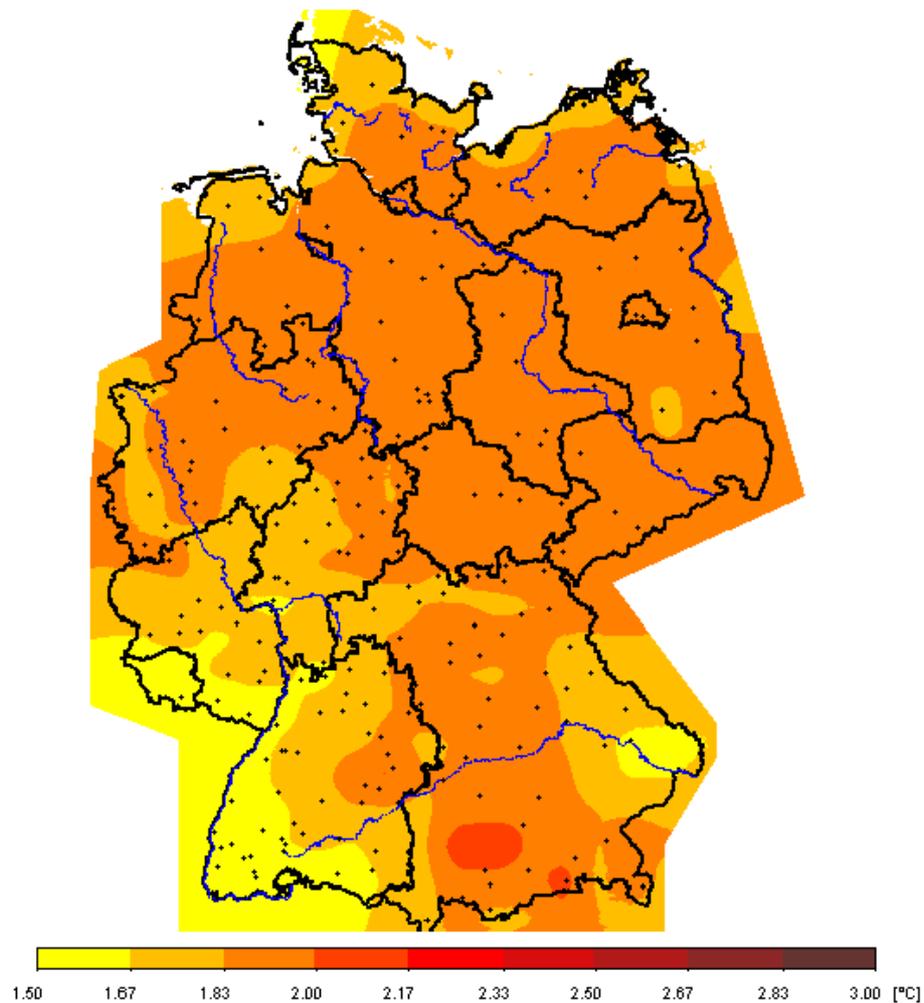


Abbildung 3: Tagesmitteltemperatur: Differenz zwischen dem Zeitraum 2071 – 2100 und dem Zeitraum 1961 – 1990 für das niedrigere Emissionsszenario (B1); gelb: geringe Temperaturzunahme bis Ende des 21. Jahrhunderts, dunkelrot: starke Temperaturzunahme bis Ende des 21. Jahrhunderts; Flächenmittel: 1,8°C

Im Kontrolllauf 1961-1990 (Abbildung 1) sind die relativ hohen Temperaturwerte in den Tälern von Rhein und Mosel sowie der Kölner Bucht bis zum südwestlichen Niedersachsen zu erkennen. Auch Teile Brandenburgs, Sachsen-Anhalts und

Niedersachsens weisen höhere Temperaturwerte auf. Dagegen sind die niedrigeren Temperaturwerte in den Gebirgsregionen zu finden.

Die WETTREG-Simulationen für den 30-Jahreszeitraum 2071 – 2100 zeigen in Abhängigkeit von den Emissionsszenarios folgende Muster:

- stärkste Erwärmung im gesamten Norden Deutschlands (mit Ausnahme der Küstenregionen) und im Voralpenraum
- vergleichsweise geringe Erwärmung an der Nord- und Ostseeküste, in den zentralen Mittelgebirgen und im Osten Bayerns
- über ganz Deutschland gemittelte Temperaturzunahme ergibt für das höhere Emissionsszenario (A1B) einen Wert von 2,3°C und für das niedrigere Emissionsszenario (B1) einen Wert von 1,8°C
- Maxima der Erwärmung werden mit 2,5°C und Minima mit Werten um 1,5°C simuliert
- Im Südwesten Deutschlands zeigen die Simulationsergebnisse von beiden Emissionsszenarios die deutlichsten Unterschiede im gesamten Simulationsgebiet; das höhere Emissionsszenario (A1B) resultiert in starker Erwärmung und das niedrigere Emissionsszenario (B1) in geringer Temperaturzunahme.

Die Abbildungen 2 und 3 veranschaulichen die deutlichen Unterschiede zwischen den Ergebnissen der Emissionsszenarios A1B und B1.

## **2.2 Niederschlag**

Auch die Auswertung des Niederschlags erfolgt im Vergleich der Zeiträume 1961 – 1990 (Kontrolllauf) und 2071 – 2100. Bei der Bewertung der Ergebnisse ist zu beachten, dass der Niederschlag eine meteorologische Größe ist, die sich im Vergleich zur Temperatur deutlich weniger genau modellieren lässt. Der Parameter Niederschlag ist äußerst variabel, so dass eine repräsentative Auswertung vornehmlich als Mittelung über 3 Jahrzehnte erfolgen sollte.

Die WETTREG-Simulationen des Niederschlags zeigen klare, jedoch gegenläufige Tendenzen für die Jahreszeiten Sommer und Winter und somit wenig Änderung im Hinblick auf den Jahresniederschlag. Deshalb und wegen der Bedeutung sommerlicher Niederschläge für die Vegetation ist es sinnvoll, die Auswertung für Sommer und Winter getrennt vorzunehmen.

### 2.2.1 Niederschlag im Sommer

Die Abbildung 4 verdeutlicht die mittleren sommerlichen Niederschlagsverhältnisse in Deutschland in Form der mit ECHAM5-Daten des Kontrolllaufs angetriebenen WETTREG-Regionalisierung. Gebiete mit relativ niedrigem Niederschlag erstrecken sich im Nordosten und Osten Deutschlands sowie am Niederrhein, hohe Niederschläge werden besonders im Südwesten, dem Voralpenraum und den Alpen erkennbar. Die Validierung von WETTREG ergab, dass das Modell im Zeitraum 1971 – 2000 den Sommer-Niederschlag im Südwesten leicht über- und im Nordwesten leicht unterschätzt.

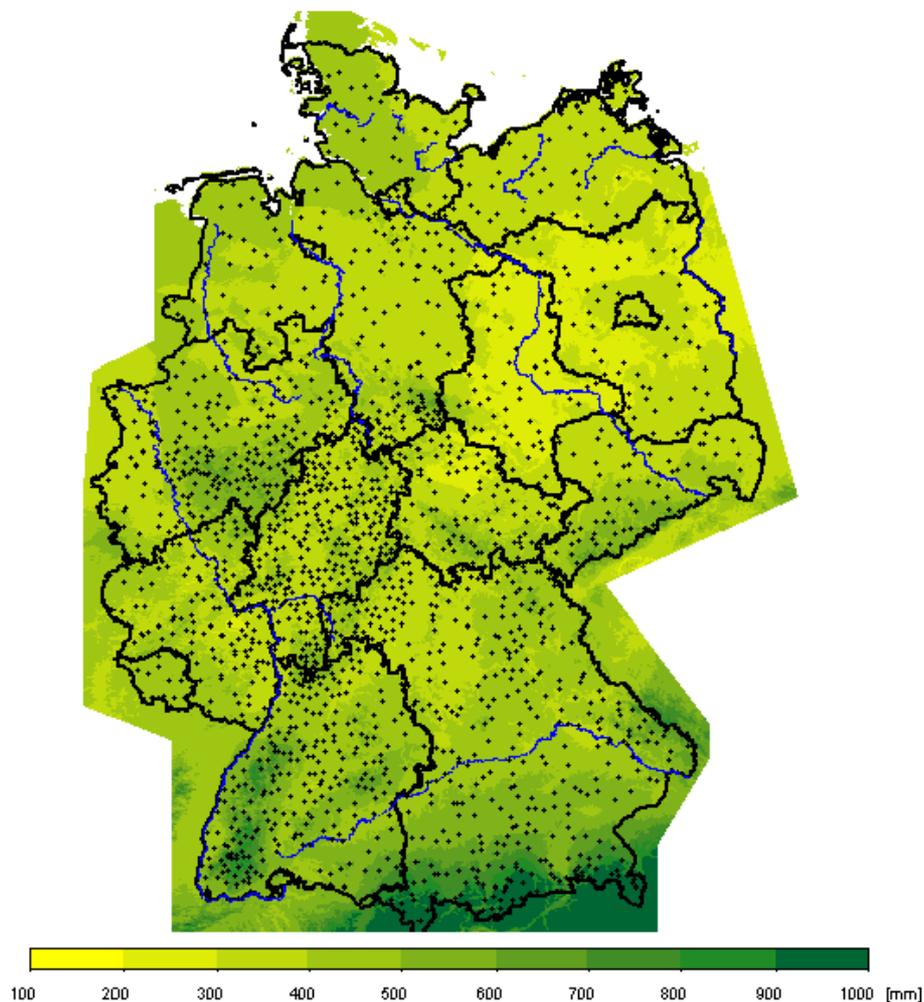


Abbildung 4: Niederschlag im Sommer, über den Zeitraum 1961 – 1990 (ECHAM5 – Kontrolllauf) gemittelt; gelb: geringer sommerlicher Niederschlag, grün: hoher sommerlicher Niederschlag; Flächenmittel: 462,3 mm; die Punkte auf der Darstellung sind die Klimastationen und die Niederschlagsstationen

In den Abbildungen 5 und 6 sind die prozentualen Änderungen des sommerlichen Niederschlags zwischen dem Zeitraum 2071 – 2100 und dem Kontrolllauf 1961 – 1990 für das höhere Emissionsszenario (A1B) und das niedrigere Emissionsszenario (B1) dargestellt. WETTREG simuliert eine deutliche Abnahme des mittleren sommerlichen Niederschlags bis zum Ende des 21. Jahrhunderts in der Größenordnung von 20%. Der stärkste Rückgang ist im Nordosten Deutschlands erkennbar und beträgt gemäß höherem Emissionsszenario in Vorpommern verbreitet mehr als 40 Prozent. Das niedrigere Emissionsszenario ergibt eine geringere Abnahme: Hier liegt der Rückgang in Mecklenburg-Vorpommern bei etwa 25 Prozent. Damit projiziert das Modell einen Rückgang der mittleren sommerlichen Niederschläge für Gebiete, in denen bereits der Kontrolllauf relativ geringe Niederschläge aufweist.

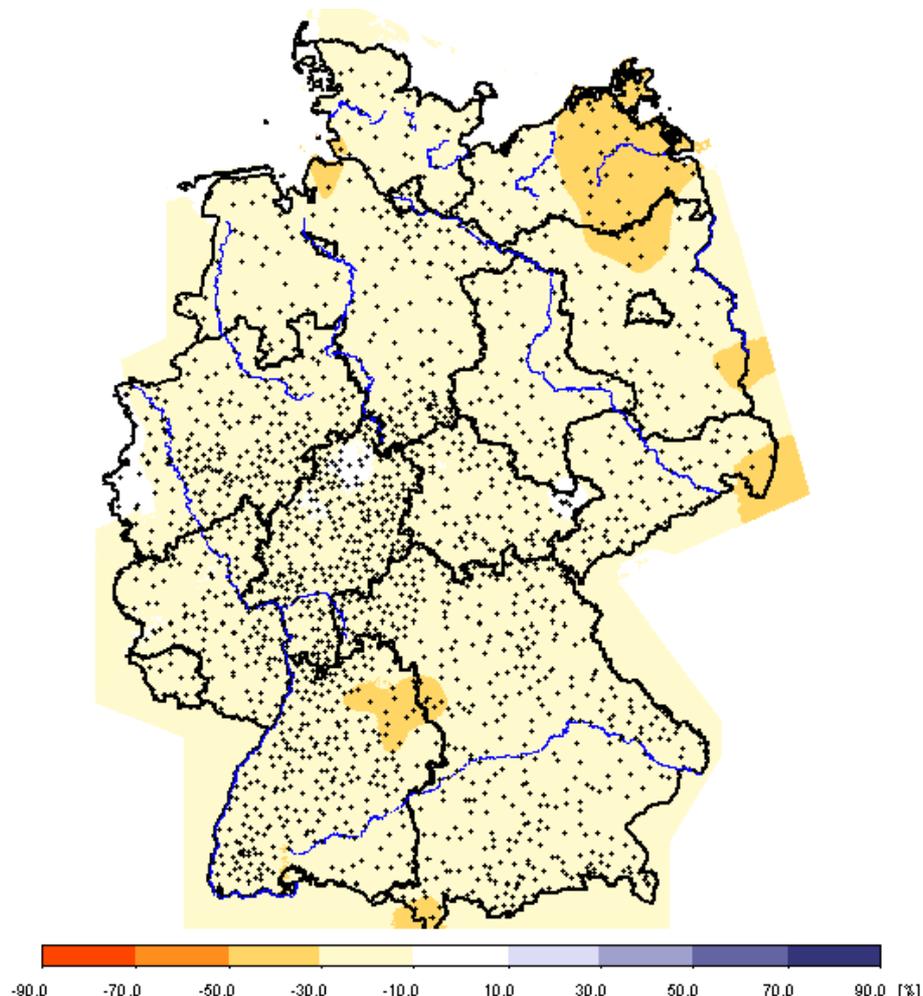


Abbildung 5: Niederschlag im Sommer; prozentuale Änderung zwischen dem Zeitraum 2071 – 2100 und dem Zeitraum 1961 – 1990 für das höhere Emissionsszenario (A1B); rot: Abnahme des sommerlichen Niederschlags bis Ende des 21. Jahrhunderts, blau: Zunahme des sommerlichen Niederschlags bis Ende des 21. Jahrhunderts; Flächenmittel: -22%

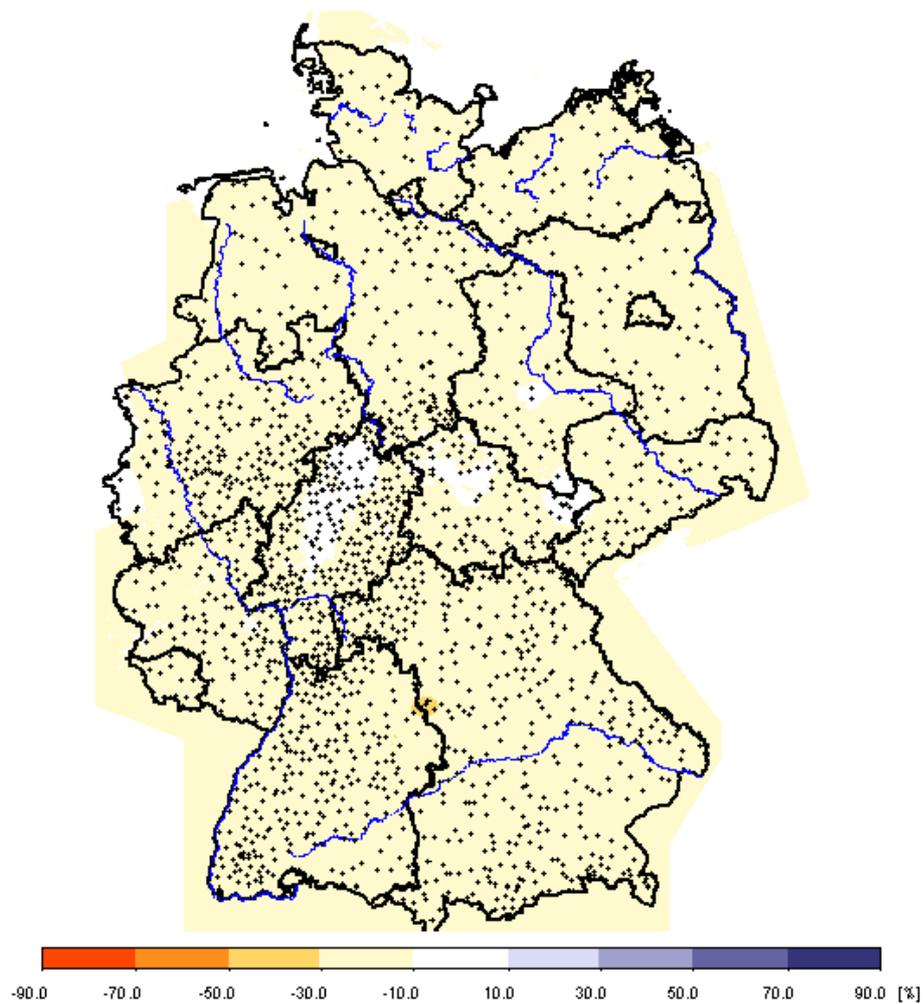


Abbildung 6: Niederschlag im Sommer; prozentuale Änderung zwischen dem Zeitraum 2071 – 2100 und dem Zeitraum 1961 – 1990 für das niedrigere Emissionsszenario (B1); rot: Abnahme des sommerlichen Niederschlags bis Ende des 21. Jahrhunderts, blau: Zunahme des sommerlichen Niederschlags bis Ende des 21. Jahrhunderts; Flächenmittel: -17,7%

### 2.2.2 Niederschlag im Winter

Abbildung 7 zeigt die mit WETTREG auf der Basis des ECHAM5-Kontrolllaufs (1961 – 1990) erzeugten mittleren winterlichen Niederschlagsverhältnisse. Höhere mittlere

Niederschläge sind auf den Nordseiten von Harz, Rheinischem Schiefergebirge, Thüringer Wald, Erzgebirge, Spessart, Odenwald und der Schwäbischen Alb sowie im gesamten Schwarzwald und dem Alpenbereich zu erkennen. Die Validierung ergab, dass WETTREG die winterlichen Niederschläge im westlichen Teil Deutschlands und an der Nordseeküste leicht unterschätzt und im Nordosten leicht überschätzt.

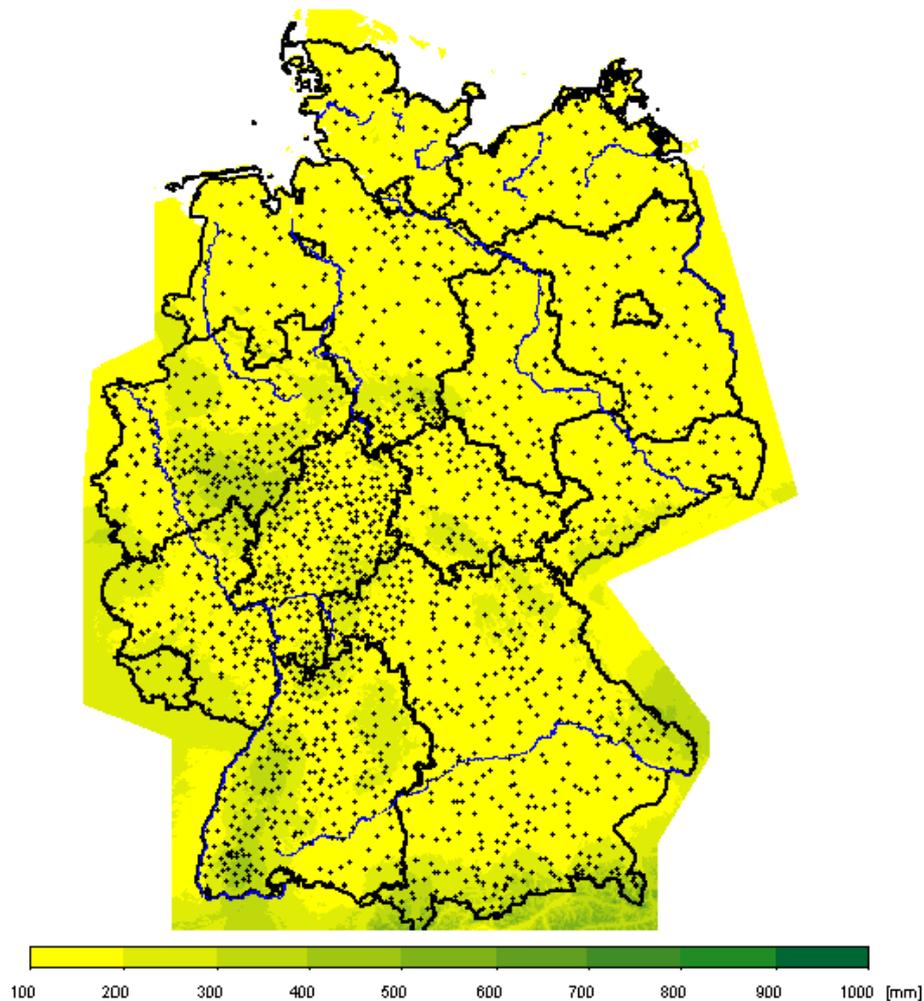


Abbildung 7: Niederschlag im Winter, über den Zeitraum 1961 – 1990 (ECHAM5 – Kontrolllauf) gemittelt; gelb: geringer winterlicher Niederschlag, grün: hoher winterlicher Niederschlag; Flächenmittel: 192,4 mm

Die Änderung des winterlichen Niederschlags bis zum Zeitraum 2071 – 2100 wird – je nach Emissionsszenario – mit einer Zunahme im Mittel von 20 bis 30 Prozent simuliert (siehe Abbildungen 8 und 9, zur besseren Vergleichbarkeit liegt den Darstellungen für Sommer und Winter der selbe Wertebereich zugrunde). Für das höhere Emissionsszenario (A1B) ist das Änderungssignal deutlich stärker

ausgeprägt als für das niedrigere Emissionsszenario (B1). Die A1B-Abbildung 8 zeigt die stärkste Zunahme in der Westhälfte Deutschlands, besonders im Bereich von Eifel und Hunsrück (bis zu 80 Prozent), Odenwald, Spessart und Rhön sowie Unterfranken (stellenweise über 70 Prozent). Auch eine Zunahme an der Schleswig-Holsteinischen Nordseeküste und im Donautal ist erkennbar. Relativ geringe Änderungen werden für die winterlichen Niederschläge im Osten Deutschlands, besonders in Brandenburg und Sachsen sowie für den Alpenraum projiziert.

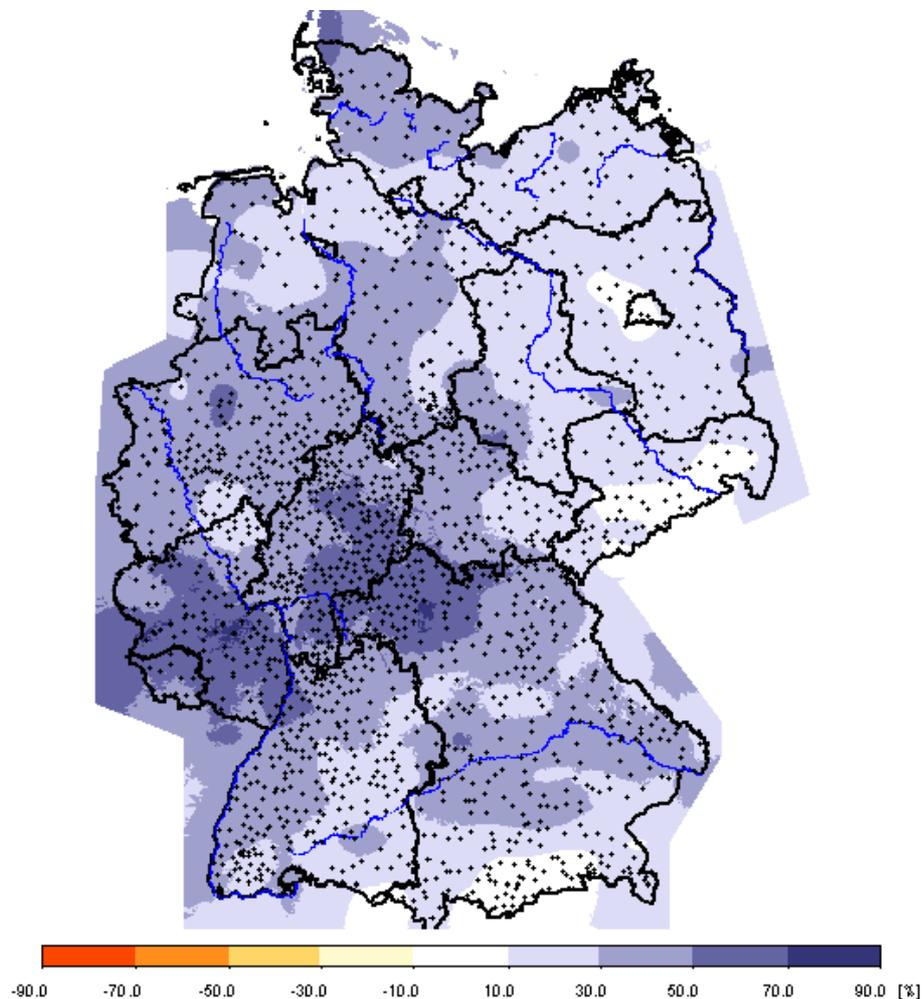


Abbildung 8: Niederschlag im Winter; prozentuale Änderung zwischen dem Zeitraum 2071 – 2100 und dem Zeitraum 1961 – 1990 für das höhere Emissionsszenario (A1B); rot: Abnahme des winterlichen Niederschlags bis Ende des 21. Jahrhunderts, blau: Zunahme des winterlichen Niederschlags bis Ende des 21. Jahrhunderts; Flächenmittel: 30,3%

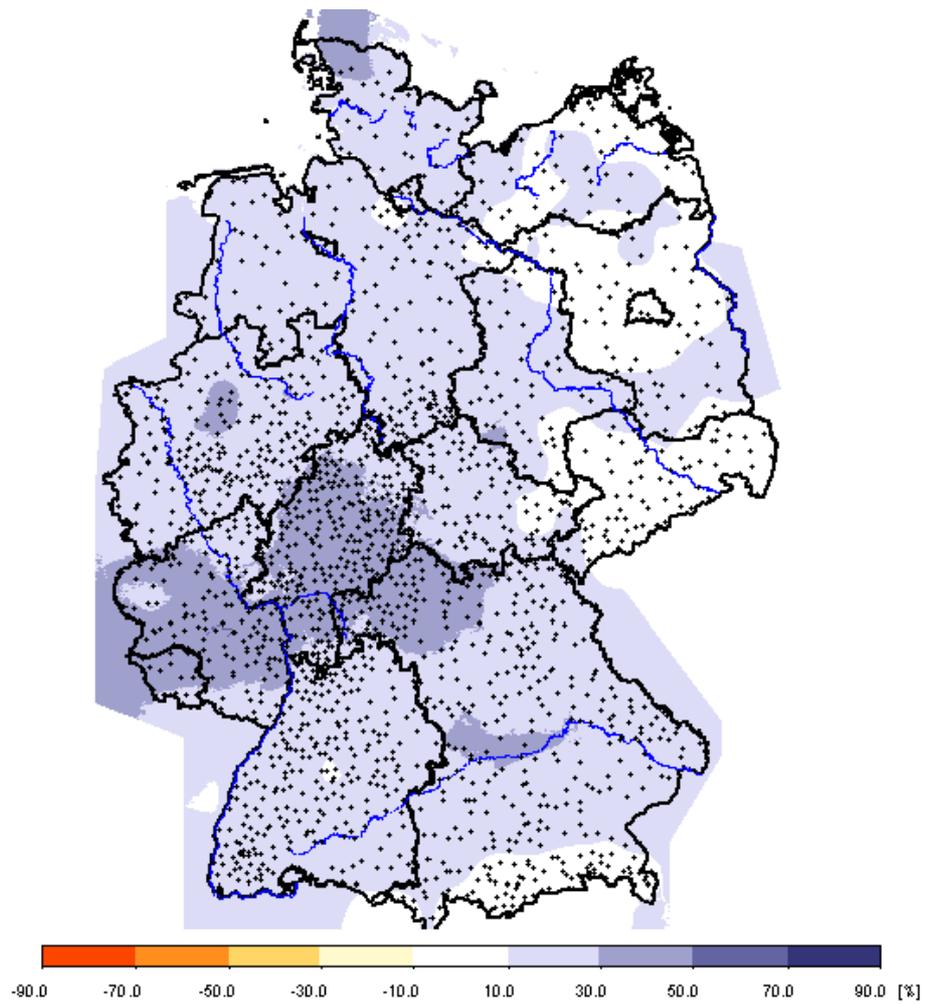


Abbildung 9: Niederschlag im Winter; prozentuale Änderung zwischen dem Zeitraum 2071 – 2100 und dem Zeitraum 1961 – 1990 für das niedrigere Emissionsszenario (B1); rot: Abnahme des winterlichen Niederschlags bis Ende des 21. Jahrhunderts, blau: Zunahme des winterlichen Niederschlags bis Ende des 21. Jahrhunderts; Flächenmittel: 19,0%

### 2.3 Ergebnisse für ausgewählte Gebiete und Naturräume Deutschlands

In den folgenden Kapiteln zeigen wir WETTREG-Ergebnisse für ausgewählte Gebiete und Naturräume (Abgrenzung der Naturräume in Abbildung 10), die besondere Merkmale aufweisen oder für die starke Änderungen atmosphärischer Parameter projiziert werden.



Abbildung 10: Naturräume in Deutschland

Diese Auswertung für Naturräume berücksichtigt auch so genannte Kenntage. Unter Kenntagen werden Tage verstanden, an denen die Temperatur bestimmte Schwellenwerte über- oder unterschreitet. Die Tabelle 1 enthält die Definitionen der Kenntage.

Kenntag	Definition
Eistag	Maximumtemperatur $\leq 0^{\circ}\text{C}$

Frosttag	Minimumtemperatur $\leq 0^{\circ}\text{C}$
Sommertag	Maximumtemperatur $\geq 25^{\circ}\text{C}$
Heißer Tag	Maximumtemperatur $\geq 30^{\circ}\text{C}$
Tropennacht	Minimumtemperatur $\geq 20^{\circ}\text{C}$

**Tabelle 1:** Definition der Kenntage

### 2.3.1 Nord- und Ostseeküste

Für die Küstenregion wird bis zum Ende des 21. Jahrhunderts ein vergleichsweise geringer Temperaturanstieg simuliert. Ursache dafür ist die Nähe zum Meer und das relativ ausgeglichene und gemäßigte Küstenklima. Auch die absoluten Häufigkeiten der Kenntage sind an den Küstenstationen geringer als in anderen Gebieten. Auffällig ist hingegen, dass die Änderung der Kenntage in der Dekade 2091 – 2100 im Vergleich zur Dekade 1981 – 1990 deutlicher ist als in anderen Naturräumen. Die Abbildung 11 zeigt die berechneten Kenntage für die Station Arkona an der Ostseeküste und das höhere Emissionsszenario (A1B).

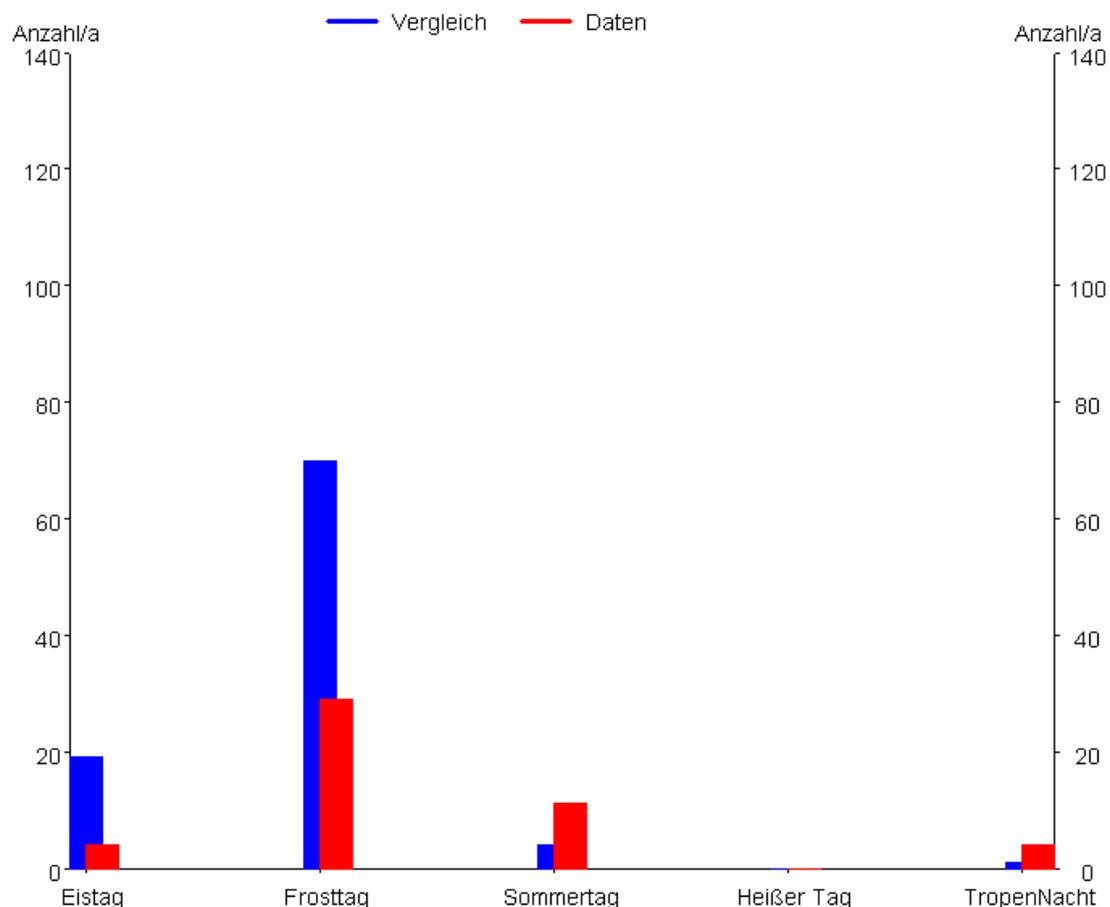


Abbildung 11: Kenntage der Dekade 1981 – 1990 (blaue Balken) und der Dekade 2091 – 2100 (rote Balken) für die Station Arkona und das höhere Emissionsszenario (A1B); die Abbildung verdeutlicht für diese Küstenstation eine starke Abnahme der Eis- und Frosttage sowie eine starke Zunahme der Sommertage und Tropennächte bis Ende des 21. Jahrhunderts

Aus der Abbildung für Arkona wird ersichtlich, dass die Zahl der Frosttage um mehr als das Doppelte zurückgeht und die Zahl der Sommertage um mehr als das Doppelte zunimmt. Heiße Tage werden auch für das Ende des 21. Jahrhunderts kaum simuliert, allerdings eine Zunahme der Tropennächte um über das Doppelte.

Im Hinblick auf den Niederschlag wird bis zum Zeitraum 2071 – 2100 für die Nordseeküste eine überdurchschnittliche Zunahme im Winter von bis zu 50 Prozent (gemäß des höheren Emissionsszenarios A1B) und für die Ostseeküste in Vorpommern eine besonders starke Abnahme der sommerlichen Niederschläge berechnet, wie die Abbildungen 8 und 5 (siehe oben) zeigen.

### 2.3.2 Nordostdeutsches Tiefland

Die markante Änderung im Nordostdeutschen Tiefland betrifft das Niederschlagssignal.

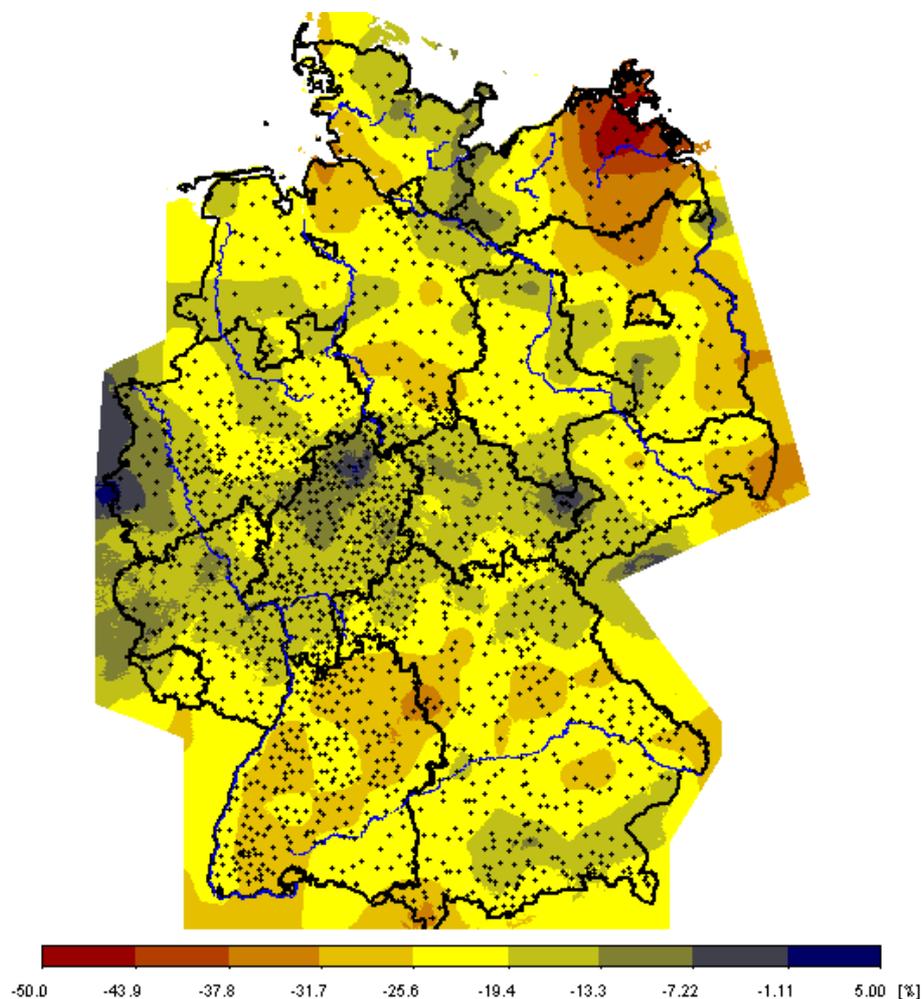


Abbildung 12: Niederschlag im Sommer; prozentuale Änderung zwischen dem Zeitraum 2071 – 2100 und dem Zeitraum 1961 – 1990 für das höhere Emissionsszenario (A1B); rot: Abnahme des sommerlichen Niederschlags bis Ende des 21. Jahrhunderts, dunkelblau: Zunahme des sommerlichen Niederschlags bis Ende des 21. Jahrhunderts; Flächenmittel: -22% (wie Abbildung 5, jedoch mit verändertem Wertebereich, um die Änderungen deutlicher herauszuarbeiten)

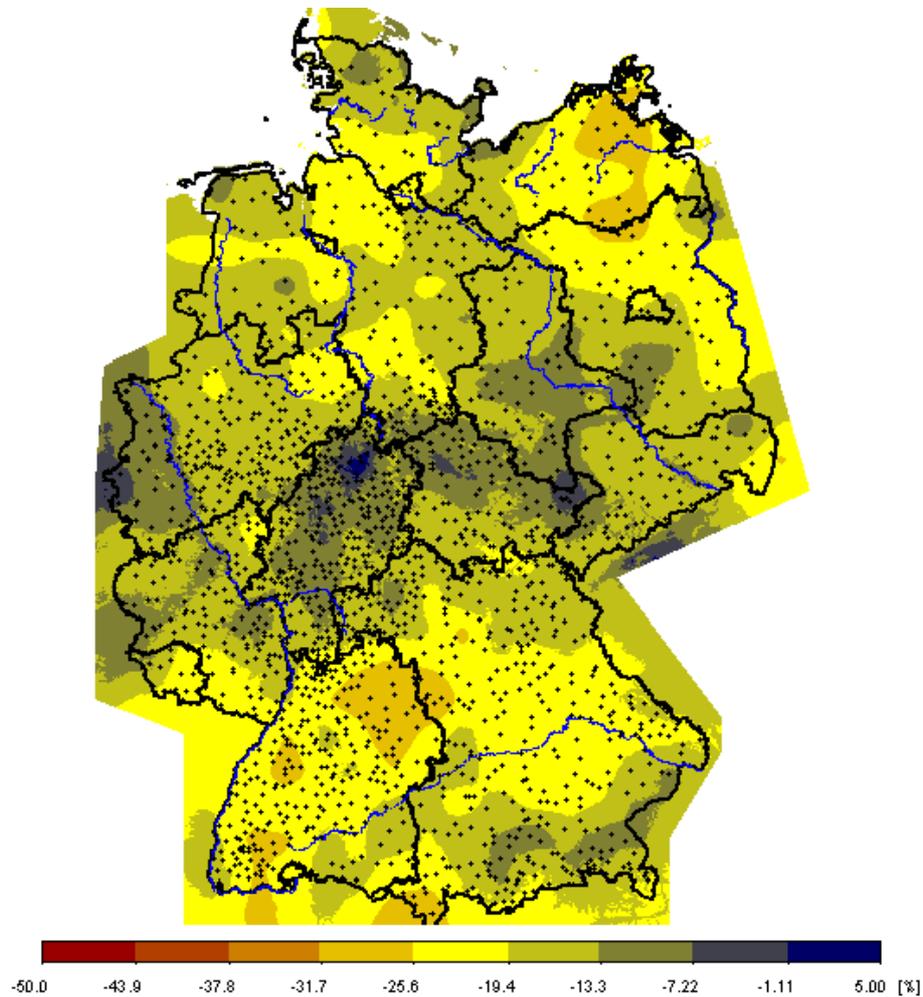


Abbildung 13: Niederschlag im Sommer; prozentuale Änderung zwischen dem Zeitraum 2071 – 2100 und dem Zeitraum 1961 – 1990 für das niedrigere Emissionsszenario (B1); rot: Abnahme des sommerlichen Niederschlags bis Ende des 21. Jahrhunderts, dunkelblau: Zunahme des sommerlichen Niederschlags bis Ende des 21. Jahrhunderts; Flächenmittel: -17,7% (wie Abbildung 6, jedoch mit verändertem Wertebereich, um die Änderungen deutlicher herauszuarbeiten)

Die Auswertung des mittleren sommerlichen Niederschlags in dieser Region verdeutlicht zum Ende des 21. Jahrhunderts im Vergleich zum Kontrolllauf (1961 – 1990) verbreitet den stärksten Rückgang in ganz Deutschland. Nach dem höheren Emissionsszenario (A1B) beträgt der Rückgang bis nahe 50 Prozent während das niedrigere Emissionsszenario (B1) etwa 30 Prozent ergibt (siehe Abbildungen 12 und 13; um die Änderungen deutlicher herauszuarbeiten, wurde für diese Abbildungen

ein anderer Wertebereich als für die Abbildungen 5 und 6 gewählt). Die winterlichen Niederschläge nehmen nur unterdurchschnittlich zu: um 20 Prozent nach höherem Emissionsszenario A1B und um 10 Prozent nach niedrigerem Emissionsszenario B1 (Abbildungen 8 und 9, siehe oben).

Das Nordostdeutsche Tiefland weist gegenwärtig, also am Ausgangspunkt der Modellrechnung, bereits eine niedrige mittlere Niederschlagsmenge auf. Sollten die Projektionen von WETTREG eintreten, würde sich die Situation dort erheblich verschärfen.

### 2.3.3 Zentrale Mittelgebirge und Harz

Nach den Projektionen von WETTREG für 2071 - 2100 behält die Region um die Zentralen Mittelgebirge und den Harz das im Vergleich zu anderen Teilen Deutschlands kühlere Klima bei. Die Zahl der Frosttage ändert sich in dieser Region weniger stark als in tiefer gelegenen Gebieten. Allerdings wird laut WETTREG - Simulationen die Zahl der Sommertage verbreitet mehr als verdoppelt und ändert sich damit stärker als in tiefer gelegenen Regionen.

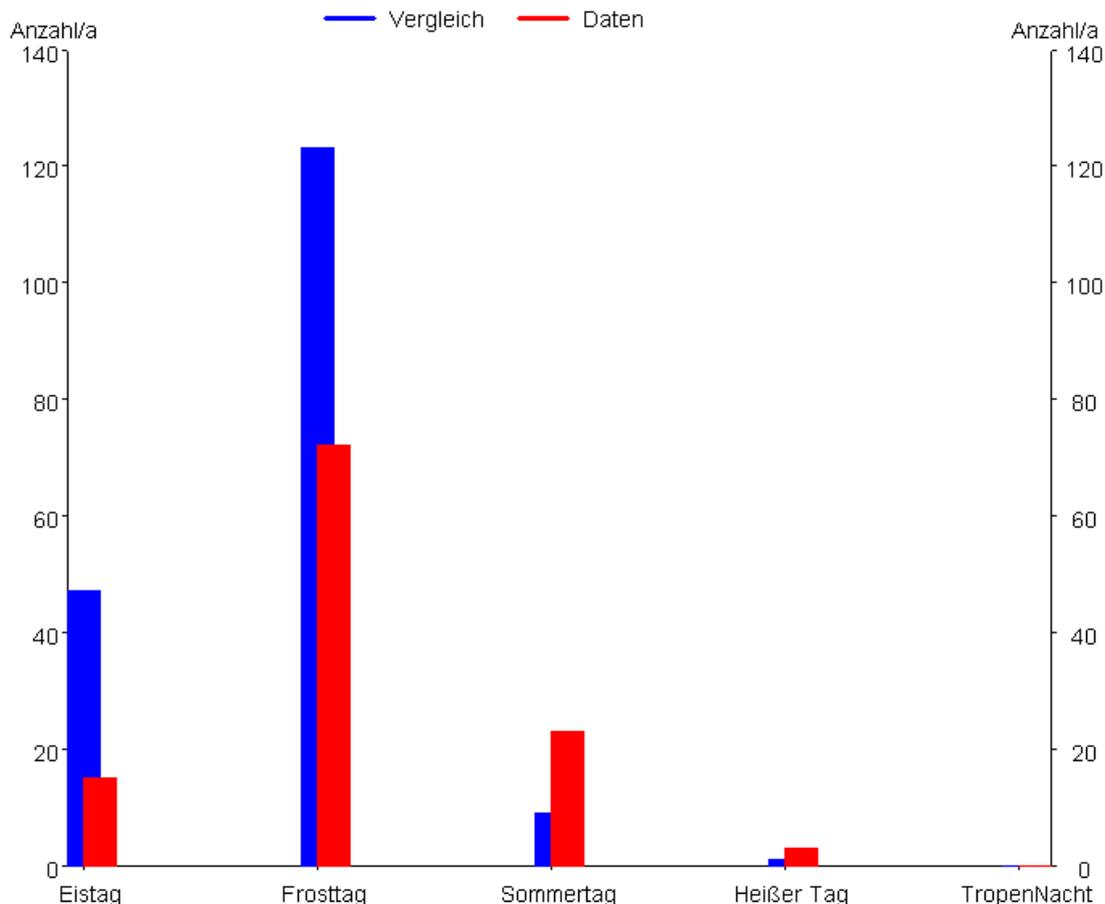


Abbildung 14: Kenntage der Dekade 1981 – 1990 (blaue Balken) und der Dekade 2091 – 2100 (rote Balken) für die Station Braunlage im Harz und das höhere Emissionsszenario (A1B); die Abbildung verdeutlicht für Braunlage eine Abnahme der Eis- und Frosttage sowie eine Zunahme der Sommertage, heißen Tage und Tropennächte bis Ende des 21. Jahrhunderts

Erwähnenswert ist, dass im Harz auch für höher gelegene Stationen heiße Tage und Tropennächte simuliert werden, was unter den gegenwärtigen klimatischen Verhältnissen in diesem Gebiet nicht typisch ist (siehe Abbildung 14).

Das Niederschlagsniveau in dieser Region ist gegenwärtig höher als in tiefer gelegenen Gebieten. Die Projektionen verdeutlichen eine überdurchschnittliche Abnahme der sommerlichen Niederschläge im Harz und Harzvorland, während für Nordhessen ein nahezu unverändertes Niederschlagsverhalten bis hin zu einer sommerlichen Niederschlagszunahme in der Umgebung von Kassel berechnet wird (siehe Abbildung 12 mit verändertem Wertebereich im Vergleich zu Abbildung 5). Die Winterniederschläge sind durch überdurchschnittliche Zunahme gekennzeichnet (siehe Abbildung 15 mit verändertem Wertebereich im Vergleich zu Abbildung 8), wobei die stärksten Zunahmen (bis zu 60 Prozent gemäß höherem Emissionsszenario A1B) zwischen Rothaargebirge und Vogelsberg simuliert werden.

#### **2.3.4 Links- und Rechtsrheinische Mittelgebirge**

Auffällig ist die Region der Links- und Rechtsrheinischen Mittelgebirge besonders durch das projizierte Niederschlagsverhalten. Das höhere Emissionsszenario A1B zeigt hinsichtlich der mittleren winterlichen Niederschläge bis Ende des 21. Jahrhunderts die für ganz Deutschland höchsten berechneten Zunahmen mit bis zu 80 Prozent im Hunsrück (siehe Abbildung 15). Auch in anderen Teilen der Linksrheinischen Gebirge resultieren verbreitet Zunahmen von über 50 Prozent. Im Bereich von Taunus bis zum Sauerland wird der Anstieg der winterlichen Niederschläge nur mit 20 bis 30 Prozent berechnet. Die sommerlichen Niederschläge nehmen hingegen mit etwa 15 Prozent unterdurchschnittlich ab. Daraus resultiert auch im projizierten Jahresniederschlag für die Linksrheinischen Mittelgebirge eine Verschiebung zu einem insgesamt feuchteren Klima.

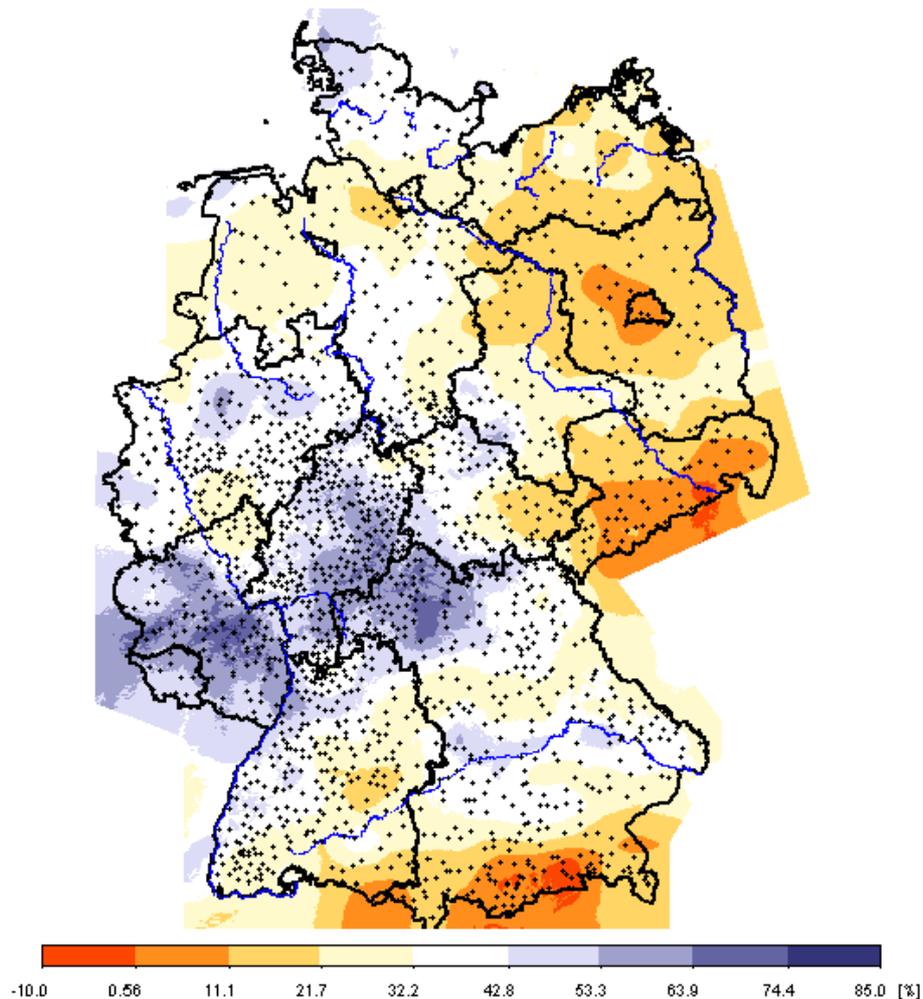


Abbildung 15: Niederschlag im Winter; prozentuale Änderung zwischen dem Zeitraum 2071 – 2100 und dem Zeitraum 1961 – 1990 für das höhere Emissionsszenario (A1B); dunkelrot: Abnahme des winterlichen Niederschlags bis Ende des 21. Jahrhunderts, orange bis dunkelblau: Zunahme des winterlichen Niederschlags bis Ende des 21. Jahrhunderts; Flächenmittel: 30,3% (wie Abbildung 8, jedoch mit verändertem Wertebereich, um die Änderungen deutlicher herauszuarbeiten)

### 2.3.5 Oberrheingraben

Diese, im gegenwärtigen Klimaregime warme Region weist in den Projektionen von WETTREG auf Basis des höheren Emissionsszenarios A1B bis Ende des 21. Jahrhunderts eine durchschnittliche Temperaturzunahme auf. Allerdings zeigt das

niedrigere Emissionsszenario B1 eine geringere Erwärmung. Die Differenz zwischen diesen beiden Emissionsszenarios ist in der Region Oberrheingraben so deutlich ausgeprägt wie in kaum einer anderen Region.

Das warme Klima im Oberrheingraben veranschaulicht unter anderem die Zahl der Tropennächte, die an einigen Stationen im Kontrolllauf 1981 – 1990 merklich häufiger als in anderen Regionen auftreten und in den Projektionen auf Durchschnittswerte von zum Teil mehr als 10 Tropennächte pro Jahr im Zeitraum 2091 – 2100 steigen. Die Kenntage für Freiburg im Breisgau sind auf der Abbildung 16 zu sehen.

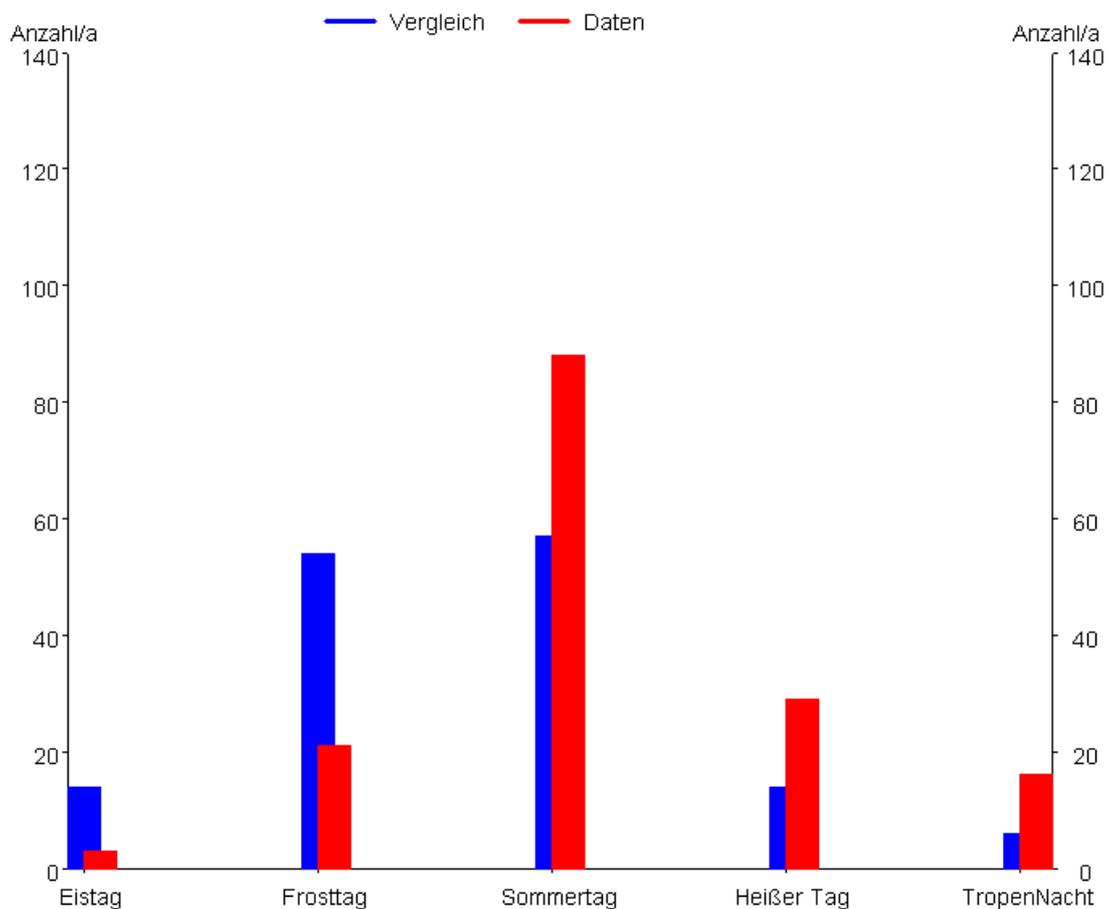


Abbildung 16: Kenntage der Dekade 1981 – 1990 (blaue Balken) und der Dekade 2091 – 2100 (rote Balken) für die Station Freiburg im Breisgau und das höhere Emissionsszenario (A1B); die Abbildung verdeutlicht für Freiburg eine Abnahme der Eis- und Frosttage sowie eine Zunahme der Sommertage, heißen Tage und Tropennächte bis Ende des 21. Jahrhunderts

Die Abbildung 17 veranschaulicht für die Station Heidelberg und das höhere Emissionsszenario A1B die Zahl der Tage mit Maximumtemperatur über 30°C sowie die Länge von Perioden, in denen an aufeinanderfolgenden Tagen die Maximumtemperatur im Sommer über 30°C (Hitzewellen) liegt. Die x-Achse gibt die Periodenlängen an, die das Überschreiten der 30°C – Marke andauert. Die y-Achse gibt an, wie häufig dieses Ereignis in der jeweiligen Dekade auftritt. Wir vergleichen wieder zwei Dekaden, 1981 – 1990 und 2091 – 2100.

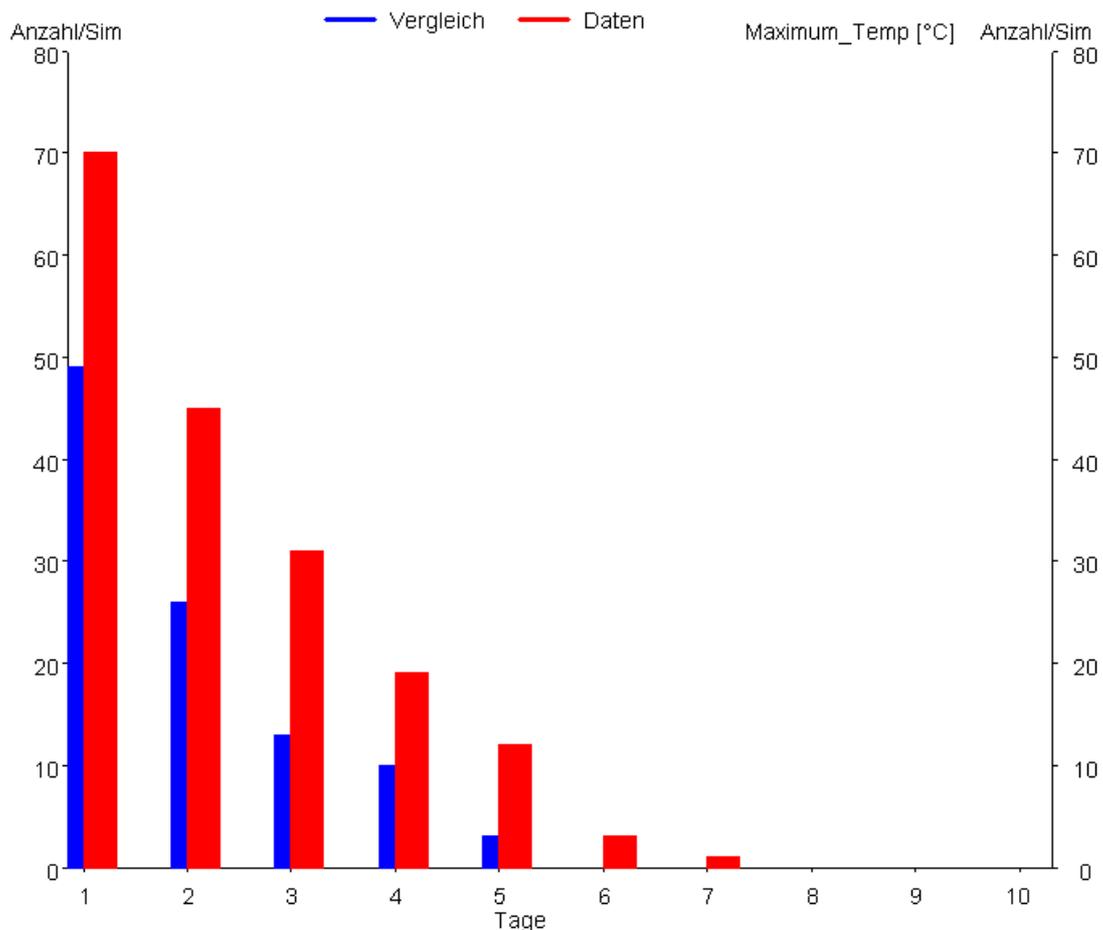


Abbildung 17: Darstellung der Andauer von Perioden, in denen die maximale Temperatur über 30°C liegt; Veranschaulichung der Dekade 1981 – 1990 (blaue Balken) und der Dekade 2091 – 2100 (rote Balken) für die Station Heidelberg und das höhere Emissionsszenario (A1B); die Abbildung verdeutlicht, dass für Ende des 21. Jahrhunderts und für diese Station mehr Hitzewellen simuliert werden und dass darüber hinaus längere Hitzewellen auftreten

Die Abbildung 17 für die Station Heidelberg zeigt zum Beispiel, dass von 1981 bis 1990 die Maximumtemperatur von 30°C etwa 25 mal an 2 aufeinanderfolgenden Tagen überschritten wurde, während dies für 2091 bis 2100 mit etwa 45 mal berechnet wird. Darüber hinaus verdeutlicht die Abbildung, dass für Ende des 21.

Jahrhunderts häufiger Hitzewellen simuliert werden (siehe Länge der roten Balken) und dass zudem längere Hitzewellen auftreten (siehe rote Balken bei 6 und 7 Tagen). Die Zunahme von Tropennächten und Hitzewellen ist besonders für medizinische Implikationen von Bedeutung, zum Beispiel wegen des erhöhten Risikos für Herz-Kreislaufkrankungen.

### **2.3.6 Alpen**

Die Alpen sind gegenwärtig durch ein kühles, niederschlagsreiches Klima gekennzeichnet. Bis Ende des 21. Jahrhunderts ergeben die WETTREG – Simulationen für das höhere Emissionsszenario A1B eine dem Durchschnitt für Deutschland entsprechende Temperaturzunahme von 2,3°C und für das niedrigere Emissionsszenario B1 eine Zunahme von 2°C (der über Deutschland gemittelte Wert für B1 beträgt 1,8°C). Erwähnenswert ist, dass der Rückgang von Eis- und Frosttagen im Vergleich zu anderen Regionen als besonders gering ermittelt wird. Abbildung 18 zeigt die Kenntage für die Station Garmisch-Partenkirchen und belegt eine Abnahme der Frosttage um etwa 30 Prozent, während in anderen Gebieten ein Rückgang von 50 Prozent und mehr typisch ist. Auch die Zunahme der Sommertage und der heißen Tage ist unterdurchschnittlich.

Die berechnete Abnahme des mittleren sommerlichen Niederschlags bis Ende des 21. Jahrhunderts liegt bei 20 Prozent, wie in anderen Regionen auch. Markant ist das Ergebnis im Hinblick auf den Niederschlag im Winter, für den nur eine sehr geringe Zunahme und verbreitet sogar eine Abnahme bis unter 5 Prozent simuliert wird. (siehe auch Abbildung 15).

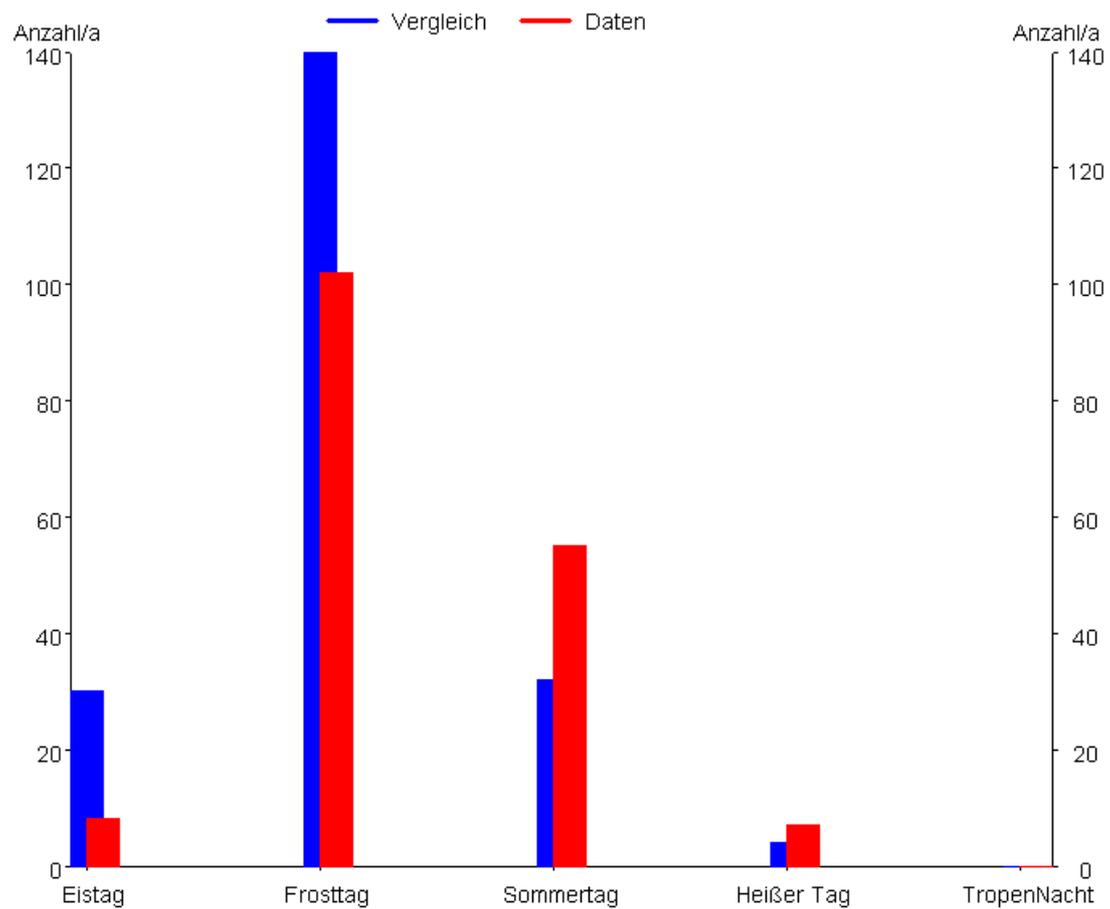


Abbildung 18: Kenntage der Dekade 1981 – 1990 (blaue Balken) und der Dekade 2091 – 2100 (rote Balken) für die Station Garmisch-Partenkirchen und das höhere Emissionsszenario (A1B); die Abbildung für diese Station verdeutlicht eine im Vergleich zu anderen Regionen geringere Abnahme der Frosttage sowie eine geringere Zunahme der Sommertage und der heißen Tage bis Ende des 21. Jahrhunderts

### 3. Literatur

Spekat, A., Enke, W., Kreienkamp, F., 2006: Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarien mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG 2005 auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI – OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES – Szenarien B1, A1B und A2. Projektbericht im Rahmen des F+E-Vorhabens 204 41 138 „Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland – Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland“, 94 S.

Kreienkamp, F., Spekat, A., 2006: IDP2006 – Ein Werkzeug zur explorativen Datenanalyse. Teilbericht zum Vorhaben „Ableitungen von Transwetterlagen und Entwicklung eines interaktiven Diagnose- und Präsentationstools. Vorhaben im Auftrag der Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern, Hessen, Rheinland-Pfalz, Sachsen und Thüringen. 52. S.

IPCC 2002: „Klimaänderung 2001“ Synthesebericht. Deutsche IPCC Koordinierungsstelle des BMBF und des BMU. 133 S.

Weiterführende Informationen zum Modell WETTREG sowie Modellergebnisse unter:

[http://www.smul.sachsen.de/de/wu/klimaschutz/index\\_1163.html](http://www.smul.sachsen.de/de/wu/klimaschutz/index_1163.html)

[http://www.hlug.de/medien/luft/inklim/berichte\\_II\\_wandel.htm](http://www.hlug.de/medien/luft/inklim/berichte_II_wandel.htm)