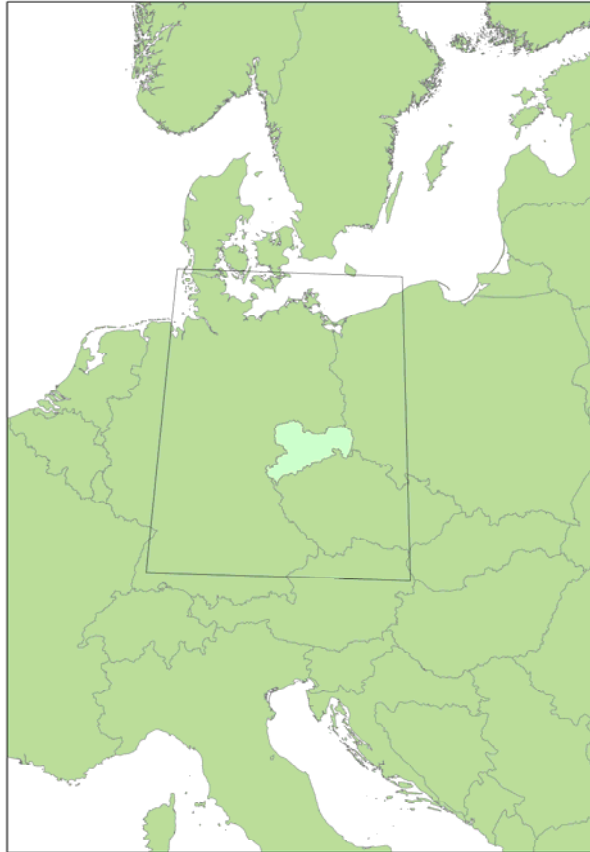




Das Lebensministerium



## Globale Klimamodellsimulationen

Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Heft 25/2009

Freistaat  Sachsen

Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

**Vergleichende Analyse globaler Klimamodellsimulationen  
für Mitteldeutschland und umliegende Gebiete**

Nils Feske

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Zielstellung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b> .....	<b>2</b>
2.1	Klimaveränderungen .....	2
2.1.1	Globaler Klimawandel .....	2
2.1.2	Regionaler Klimawandel.....	3
2.2	Klimamodelle .....	3
2.2.1	Globale Klimamodelle .....	3
2.2.2	Regionale Klimamodelle.....	7
2.2.3	Zusammenfassung: Stand der Szenarioentwicklung und Interpretation.....	9
<b>2</b>	<b>Methodik</b> .....	<b>10</b>
2.1	Datengrundlagen .....	10
2.1.1	Auswahl der Daten .....	10
2.1.2	Aufbereitung der Daten .....	10
2.2	Datenanalyse .....	13
2.2.1	Analyse der klimatische Verhältnisse der Kontroll-Läufe.....	13
2.2.2	Analyse der klimatischen Entwicklung im 21. Jahrhundert.....	13
2.3	Verwendete Software.....	14
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>14</b>
3.1	Kurzcharakteristika globaler Klimamodellergebnisse .....	14
3.1.1	Bergen Climate Model.....	17
3.1.2	CCSM3 - Community Climate System Model.....	24
3.1.3	CGCM 3.1 – Coupled Global Climate Model (medium resolution) .....	32
3.1.4	CSIRO-Mk3 – Mark 3 Coupled Climate Model .....	38
3.1.5	ECHAM5 – European Centre Hamburg Model.....	45
3.1.6	ECHO-G (ECHAM4 + HOPE-G) .....	54
3.1.7	GISS-ER – Model E20/Russel .....	61
3.1.8	HadCM3 – Hadley Centre Coupled Model 3 .....	68
3.1.9	HadGEM – Hadley Centre Global Environmental Model (version 1).....	77
3.1.10	INM-CM3 .....	84
3.1.11	IPSL-CM4 .....	92
3.1.12	MRI-CGCM2.3.2 – Coupled General Circulation Model .....	100
3.2	Vergleichende Analyse der Klimamodell-Ergebnisse.....	108
3.2.1	Charakterisierung der klimatischen Verhältnisse der Kontroll-Läufe .....	110
3.2.2	Entwicklungen der klimatischen Verhältnisse im 21. Jahrhundert.....	118
3.3	Erkenntnisse und Unsicherheiten .....	127
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>132</b>
<b>5</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>134</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Übersicht über die aus Klimamodellen abgeleitete mittlere globale Erwärmung (im Vergleich zu 1980 - 1999) für verschiedene Treibhausgas-Emissions-szenarios (IPCC 2007) .....	6
Abbildung 2:	Exemplarische Übersicht über ausgewählte globale bzw. daraus abgeleitete regionale Klimamodelle .....	9
Abbildung 3:	Schematische Darstellung der methodischen Vorgehensweise .....	12
Abbildung 4:	Gitterpunkte der Globalmodelle im Untersuchungsgebiet .....	109
Abbildung 5:	Vergleich der Kontroll-Läufe auf pre-industriellem Treibhausgasniveau (PICTL), Monatsmitteltemperaturen der Modelle, des Modellmittels und der BAUR'schen Reihe.....	113
Abbildung 6:	Vergleich der Kontroll-Läufe auf pre-industriellem Treibhausgasniveau (PICTL), Temperaturabweichungen zwischen den Modellen und der BAUR'schen Reihe.....	113
Abbildung 7:	Vergleich der Kontroll-Läufe auf pre-industriellem Treibhausgasniveau (PICTL), mittlere Monatsniederschläge der Modelle, des Modellmittels und der BAUR'schen Reihe .....	116
Abbildung 8:	Vergleich der Kontroll-Läufe auf pre-industriellem Treibhausgasniveau (PICTL), Niederschlagsabweichungen zwischen den Modellen und der BAUR'schen Reihe.....	116
Abbildung 9:	Simulierter Verlauf der Jahresmitteltemperaturen im pre-industriellen Kontroll-Lauf (PICTL) sowie in den Emissionsszenarios A2, A1B und B1.....	119
Abbildung 10:	Bandbreite der Niederschlagstrends aller Modelle .....	126
Abbildung 11:	Entwicklung der Wintertemperatur bis 2100 bzw. 2200 in den verschiedenen Emissionsszenarios, Simulation mit dem Modell ECHAM5.....	131

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht über die Emissionsszenarios nach IPCC (2000, 2001, 2007).....	5
Tabelle 2:	Übersicht über die meteorologischen Jahreszeiten .....	11
Tabelle 3:	Signifikanzgrenzen von Trends (Mann-Kendall-Trendwert Q, Vertrauensgrenze V, Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha$ ) .....	14
Tabelle 4:	Übersicht über die aufbereiteten Modellergebnisse (jeweils monatliche Temperatur- und Niederschlagswerte) .....	16
Tabelle 5:	Langjährige Mittelwerte der Referenzreihe (Temperatur in °C, Niederschlag in mm).....	110
Tabelle 6:	Differenzen zwischen wärmsten und kältesten Monat im Jahresgang.....	111
Tabelle 7:	Langjährige Mittelwerte der simulierten Temperaturen im pre-industriellen Kontroll-Lauf sowie zusammengefasste statistische Kennzahlen des Kontroll-Lauf-Ensembles .....	114
Tabelle 8:	Langjährige Mittelwerte der simulierten Niederschlagssummen im pre-industriellen .....	117
Tabelle 9:	Ensemble-Betrachtung: Temperaturtrends [K] im 21. Jahrhundert.....	120
Tabelle 10:	Bandbreite der Temperaturtrends [K] im 21. Jahrhundert (als Spannweite zwischen minimalen und maximalen projizierten Trends).....	120
Tabelle 11:	Ensemble-Betrachtung: Niederschlagstrends [%] im 21. Jahrhundert.....	121
Tabelle 12:	Absoluter, linearer Temperaturtrend [K] im 21. Jahrhundert sowie die Signifikanz nach Mann-Kendall (farblich abgestuft) .....	123
Tabelle 13:	Relativer, linearer Niederschlagstrend [%] im 21. Jahrhundert sowie die Signifikanz nach Mann-Kendall (farblich abgestuft) .....	124

## 1 Einleitung und Zielstellung

Der zu beobachtende globale Klimawandel stellt eine neuartige Herausforderung für Gesellschaft, Politik und Wirtschaft dar. Um diesem komplexen Aufgabenbereich begegnen zu können, ist die Erstellung und Verwendung wissenschaftlich fundierter Hilfsmittel zur Beurteilung potenziell möglicher Entwicklungen notwendig. Mit Hilfe von globalen Klimamodellen, die auf unterschiedlichen Treibhausgas-Emissionsszenarios beruhen, können mögliche zukünftige klimatische Entwicklungen abgeschätzt werden. Es existieren zahlreiche globale Modellansätze, die je nach Forschungsschwerpunkt eine Kombination der verschiedenen Klimamodell-Komponenten Atmosphäre, Ozean, Kryosphäre und Biosphäre abbilden können.

Im Zuge des 4. Sachstandsberichtes des *Intergovernmental Panel on Climate Change* IPCC (IPCC, 2007) kam eine Vielzahl globaler Klimamodelle für die Abschätzung künftiger Entwicklungen zur Anwendung. Wesentliche Ergebnisse dieser Modelle sind aus der CERA-Datenbank (<http://cera-www.dkrz.de/>) des *World Data Center for Climate Hamburg* (WDCC) abrufbar.

Im Hinblick auf die Bedeutung der projizierten klimatischen Entwicklungen für Klimafolgeabschätzungen bis hin zu konkreten Klimaanpassungsmaßnahmen im regionalen Maßstab ergeben sich zahlreiche Fragestellungen hinsichtlich der Aussagefähigkeit und Genauigkeit von Klimamodellen.

Zum einen ist von Interesse, inwieweit die durch verschiedene Modelle simulierten Ausgangsklimate (Kontroll-Klimate) Übereinstimmungen aufweisen bzw. in welchen Aspekten sich die Modelle unterscheiden. Die Beantwortung dieser Frage sowie auch ein einordnender Vergleich mit gegebenenfalls vorhandenen Beobachtungsdaten kann für die weitergehende Beurteilung der Übereinstimmungen und Unsicherheiten von Klimamodell-Ergebnissen herangezogen werden.

Für Fragestellungen hinsichtlich der klimatischen Entwicklung im Laufe des 21. Jahrhunderts gilt es näher zu untersuchen, ob die Klimatelemente in den einzelnen Jahreszeiten bzw. Monaten ein charakteristisches Trendverhalten aufweisen und welche Unterschiede hierbei einerseits zwischen den Modellen und andererseits in den einzelnen Treibhausgas-Emissionsszenarios bestehen.

Erst eine zusammenfassende Betrachtung möglichst vieler Modellsimulationen bzw. Modellvarianten ermöglicht es, die derzeit durch Modelle fassbare Bandbreite der potenziellen klimatischen Entwicklung abzuschätzen sowie für weiterführende Fragestellungen einzubeziehen.

Insbesondere für die Arbeit mit Ergebnissen aus regionalen Klimaprojektionen kann von Bedeutung sein, inwieweit sich der verwendete globale Antrieb in den regionalisierten Szenarios widerspiegelt. In diesem Zusammenhang lässt sich anhand des Modellvergleichs leichter beurteilen, ob bestimmte globale Antriebe für die konkrete Region plausible Ergebnisse aufweisen und als alternative Eingangsgrößen für Regionalmodelle geeignet sind.

Im Rahmen dieses Projektes sollen wesentliche Ergebnisse globaler Klimamodelle für das Gebiet des Freistaates Sachsens bzw. für die Region Mitteldeutschland beschafft, aufbereitet und analysiert werden. Der Schwerpunkt der Analysen liegt hierbei auf der vergleichenden Beschreibung der verschiedenen Modellklimate (Kontroll-Klimate) sowie auf der Berechnung und Darstellung der simulierten klimatischen Entwicklungen im 21. Jahrhundert. Durch den Einbezug einer Vielzahl von globalen Klimamodellen sowie auch verschiedener Treibhausgas-Emissionsszenarios soll eine möglichst weit reichende Beschreibung der Bandbreite der möglichen zukünftigen Entwicklungen gewährleistet werden.

## **2 Grundlagen**

### **2.1 Klimaveränderungen**

Natürliche Systeme wie das globale Klimasystem sind durch dynamische Gleichgewichtszustände gekennzeichnet. Bei der Einwirkung von Umweltfaktoren auf ein solches System kommt es zu Systemreaktionen, sogenannten Oszillationen, die um den Gleichgewichtszustand pendeln. Diese Veränderungen kennzeichnen die natürliche Variabilität des Klimasystems.

#### **2.1.1 Globaler Klimawandel**

Durch menschliche Aktivitäten, insbesondere seit dem Beginn der Industrialisierung, hat sich die globale atmosphärische Konzentration von Treibhausgasen deutlich erhöht (IPCC 2007). Vor allem die zunehmenden Emissionen von Kohlendioxid (Anstieg der atmosphärischen Konzentration von dem vorindustriellen Niveau von 280 ppm auf 380 ppm im Jahr 2005 [IPCC 2007]), Methan und Distickstoffoxid, schlagen sich in einer Verstärkung des anthropogenen Treibhauseffektes und einer damit einhergehenden Erhöhung der globalen Lufttemperatur nieder. So konnte für die vergangenen 100 Jahre ein Anstieg der mittleren globalen Lufttemperatur um ca. 0,7 K festgestellt werden. Im direkten Zusammenhang mit der Erwärmung steht auch der Anstieg der absoluten Luftfeuchte im Laufe der vergangenen drei Jahrzehnten um ca. 2,2 % (WILLETT et al. 2007).

Des Weiteren sind Veränderungen anderer klimatischer Indikatoren wie z. B. der Häufigkeiten von Hitzetagen und Frosttagen, der Niederschlagsmengen, -verteilungen und -intensitäten sowie Veränderungen der Häufigkeit und Andauer von Dürreperioden erkennbar. Weltweite geophysikalische Phänomene wie z. B. das Abschmelzen der nicht-polaren Gletscher im Laufe des 20. Jahrhunderts, der beobachtete Anstieg des Meeresspiegels um ein bis zwei mm pro Jahr, das vermehrte Auftauen der Permafrostböden (IPCC 2001) bis hin zum starken Rückgang der nordpolaren Eismassen während der Sommermonate (insbesondere in den Jahren 2007 und 2008) stellen weitere Kennzeichen der globalen Veränderungen dar.

Die bereits beobachteten, vielfältigen und komplexen Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf die belebte Umwelt, beispielsweise auf die Verbreitung von Pflanzen- und Tierarten (Migration, Aussterben) bzw. deren Verhaltensweisen (Brut- und Blütezeiten, Vitalität), machen die Sensitivität natürlicher Systeme bezüglich der vorherrschenden klimatischen Bedingungen deutlich (IPCC 2001).

### **2.1.2 Regionaler Klimawandel**

Der globale Klimawandel kommt im regionalen Maßstab nicht gleichförmig zum Ausdruck, sondern stellt sich stark differenziert dar. Zu- und Abnahmen von beispielsweise Temperatur und Niederschlag vollziehen sich in Abhängigkeit der jeweiligen regionalen Voraussetzungen.

Auch in der Klimaentwicklung Sachsens spiegeln sich die globalen Veränderungen bereits in spezifischer Art und Weise wider. So konnte im Zeitraum von 1901 bis 2006 bereits eine durchschnittliche Erhöhung der Jahresmitteltemperatur um 0,7 K festgestellt werden (DWD 2007). Eine räumlich und zeitlich differenziertere Betrachtung der Temperatur zeigt, dass zum Teil deutliche Unterschiede in der regionalen Ausprägung der Erwärmung bestehen. So nahm die Temperatur in der Elbtalniederung sowie in Gebieten des Lößhügellandes und Ostsachsen in den letzten Jahren (Zeitraum 1991 - 2005 im Vergleich zur Klimanormalperiode 1961 - 1990) am stärksten zu (IHM 2008), wobei die Temperaturzunahme insbesondere auf das Frühjahr sowie den Sommer (jeweils +1 K) bzw. Winter (+0,8 K) entfällt. Im Herbst ist für diesen Zeitraum keine nennenswerte Temperaturänderung feststellbar.

Bezüglich der Niederschlagssummen besteht ein Trend zu höheren Niederschlägen im Winter sowie deutlichen Niederschlagsabnahmen im Sommer, insbesondere im Norden Sachsens. Im Vergleich zu den anderen Bundesländern ergibt sich für Sachsen zusätzlich eine deutliche Sonderstellung bezüglich des Jahresniederschlagstrends. Im Gegensatz zu den anderen Ländern können die in Sachsen nur unwesentlich angestiegenen Winterniederschläge das Niederschlagsdefizit des restlichen Jahres nicht ausgleichen. Aus den Beobachtungsdaten ergibt sich somit ein markanter Abnahmetrend der Jahresniederschlagssummen in Sachsen (-5,7 %).

Des Weiteren zeichnen sich Veränderungen hinsichtlich des Auftretens von Extremereignissen ab. Die Häufigkeit und Dauer von Trockenperioden in den Monaten April bis Juni sowie das Auftreten von sommerlichem Starkregen haben zugenommen (LFUG 2005).

## **2.2 Klimamodelle**

In Anbetracht der sich abzeichnenden Entwicklungen wird die Dringlichkeit einer angemessenen Anpassungsstrategie offenbar. Allerdings wird die Erarbeitung solcher Strategien deutlich dadurch erschwert, dass exakte Vorhersagen zukünftiger Entwicklungen bzw. zukünftiger Verhaltensweisen der Menschen nicht zu treffen sind. Es besteht jedoch die Möglichkeit, die Bandbreite zukünftiger klimatischer Entwicklungen mit Hilfe von Modellen zu beurteilen. Hierbei wird unterschieden zwischen vergleichsweise grobmaschigen globalen Modellen und darauf basierenden, jedoch höher aufgelösten regionalen Modellansätzen.

### **2.2.1 Globale Klimamodelle**

Die zur Anwendung kommenden globalen Klimamodelle (*General Circulation Models* oder GCMs) basieren auf verschiedenen, potenziell möglichen Treibhausgas-Emissionsszenarios (IPCC 2000,



2001, 2007). Bei der Szenariobildung werden mögliche zukünftige gesellschaftliche bzw. energiepolitische Entwicklungen und daraus abgeleitete Emissionsentwicklungen abgeschätzt und in Form von Modellgeschichten („storylines“) beschrieben und schließlich als Randbedingung für den Antrieb globaler Klimamodelle berücksichtigt (z. B. Emissionsentwicklung bei ungebremstem Wirtschaftswachstum, Entwicklung bei verstärkter Substitution fossiler Energieträger durch regenerative Energiequellen, siehe **Tabelle 1**).

Im Laufe der letzten Jahre wurden umfangreiche Verbesserungen an den vorhandenen meteorologischen bzw. atmosphärischen Modellen vorgenommen. Insbesondere durch die Kopplung mit weiteren, klimatisch entscheidenden Teilsystemen wie dem Ozean, der Biosphäre oder der Kryosphäre, konnte eine erhöhte Aussagefähigkeit der Ergebnisse erzielt werden. Aufgrund verschiedener thematischer oder geografischer Forschungsschwerpunkte existiert derzeit eine Vielzahl verschiedener Modellansätze (vgl. DÉQUÉ 2004).

**Tabelle 1: Übersicht über die Emissionsszenarios nach IPCC (2000, 2001, 2007)**

**Die Emissionsszenarios des IPCC-Sonderberichtes über  
Emissionsszenarios (SRES )**

**A1.** Die A1-Modellgeschichte bzw. -Szenario-Familie beschreibt eine zukünftige Welt mit sehr raschem Wirtschaftswachstum, einer Mitte des 21. Jahrhunderts kulminierenden und danach rückläufigen Weltbevölkerung und rascher Einführung neuer und effizienterer Technologien. Wichtige grundlegende Themen sind Annäherung von Regionen, Entwicklung von Handlungskompetenz sowie zunehmende kulturelle und soziale Interaktion bei gleichzeitiger substanzieller Verringerung regionaler Unterschiede der Pro-Kopf-Einkommen. Die A1-Szenario-Familie teilt sich in drei Gruppen auf, die unterschiedliche Ausrichtungen technologischer Änderungen im Energiesystem beschreiben. Die drei A1-Gruppen unterscheiden sich in ihrer technologischen Hauptstoßrichtung: fossil-intensiv (A1FI), nichtfossile Energiequellen (A1T) oder eine ausgewogene Nutzung aller Quellen (A1B) (wobei ausgewogene Nutzung definiert ist als eine nicht allzu große Abhängigkeit von einer bestimmten Energiequelle und durch die Annahme eines ähnlichen Verbesserungspotenzials für alle Energieversorgungs- und -verbrauchstechnologien).

**A2.** Die A2-Modellgeschichte bzw. -Szenario-Familie beschreibt eine sehr heterogene Welt. Das Grundthema ist Autarkie und Bewahrung lokaler Identitäten. Regionale Fruchtbarkeitsmuster konvergieren nur sehr langsam, was eine stetig zunehmende Bevölkerung zur Folge hat. Die wirtschaftliche Entwicklung ist vorwiegend regional orientiert und das Pro-Kopf-Wirtschaftswachstum und technologische Veränderungen sind bruchstückhafter und langsamer als in anderen Modellgeschichten.

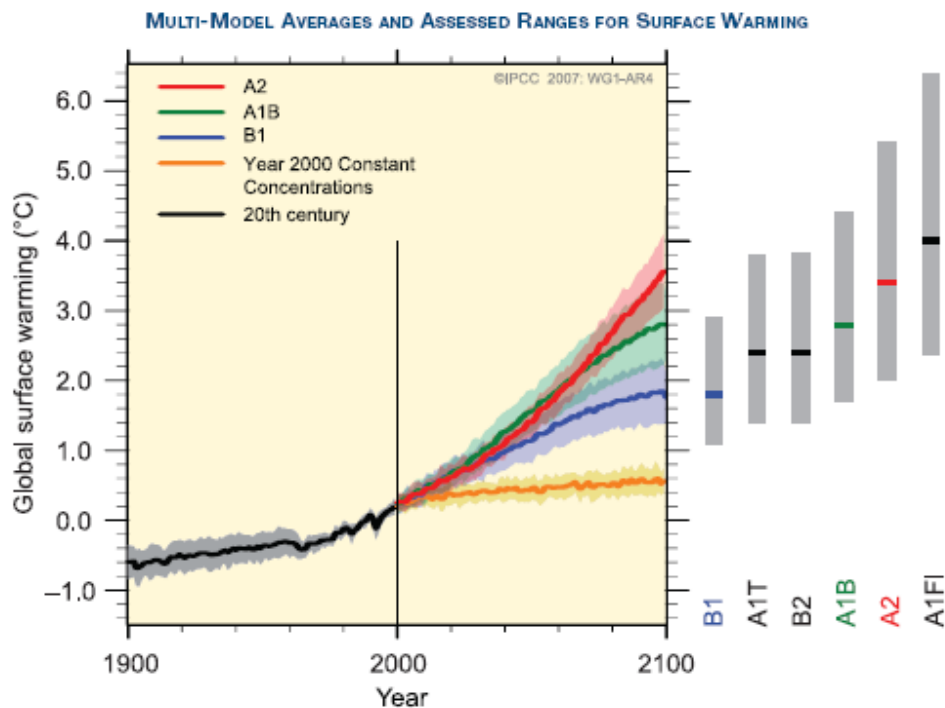
**B1.** Die B1-Modellgeschichte bzw. -Szenario-Familie beschreibt eine sich näher kommende Welt, mit der gleichen, Mitte des 21. Jahrhunderts kulminierenden und danach rückläufigen Weltbevölkerung wie in der A1-Modellgeschichte, jedoch mit raschen Änderungen der wirtschaftlichen Strukturen in Richtung einer Dienstleistungs- und Informationswirtschaft, bei gleichzeitigem Rückgang des Materialverbrauchs und Einführung von saubereren und ressourcen-effizienten Technologien. Das Schwergewicht liegt auf globalen Lösungen für eine wirtschaftliche, soziale und umweltgerechte Nachhaltigkeit, einschließlich erhöhter sozialer Gerechtigkeit, aber ohne zusätzliche Klimainitiativen.

**B2.** Die B2-Modellgeschichte bzw. -Szenario-Familie beschreibt eine Welt mit Schwerpunkt auf lokalen Lösungen für eine wirtschaftliche, soziale und umweltgerechte Nachhaltigkeit. Es ist eine Welt mit einer stetig, jedoch langsamer als in A2 ansteigenden Weltbevölkerung, wirtschaftlicher Entwicklung auf mittlerem Niveau und weniger raschem, dafür vielfältigerem technologischen Fortschritt als in den B1- und A1-Modellgeschichten. Obwohl das Szenario auch auf Umweltschutz und soziale Gerechtigkeit ausgerichtet ist, liegt der Schwerpunkt auf der lokalen und regionalen Ebene.

Für jede der sechs Szenario-Gruppen A1B, A1FI, A1T, A2, B1 und B2 wurde ein illustratives Szenario gewählt. Alle sollten als gleich stichhaltig betrachtet werden.

Die SRES-Szenarios beinhalten keine zusätzlichen Klimainitiativen, d.h. es sind keine Szenarios berücksichtigt, die ausdrücklich eine Umsetzung des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC) oder den Emissionszielsetzungen des Kyoto-Protokolls annehmen.

In Abhängigkeit der Beschaffenheit der Modelle sowie der zugrundeliegenden Randbedingungen variieren auch die Ergebnisse der globalen Klimamodelle. Dennoch macht ein Vergleich der verschiedenen Modellergebnisse wesentliche Grundaussagen hinsichtlich der zu erwartenden Klima-  
veränderung deutlich (vgl. CHRISTENSEN 2005).



**Abbildung 1: Übersicht über die aus Klimamodellen abgeleitete mittlere globale Erwärmung (im Vergleich zu 1980 - 1999) für verschiedene Treibhausgas-Emissionsszenarios (IPCC 2007)**

Die prognostizierte Erhöhung der globalen Mitteltemperatur bis zum Ende des Jahrhunderts bewegt sich je nach Treibhausgasemissionsszenario zwischen 1,8 und 4,0 Kelvin (Schwankungsbereich 1,1 – 6,4 K, vgl. Abbildung 1). Weiterhin zeigen die Modelle für den europäischen Raum eine zukünftige Zunahme der Variabilität der Sommertemperaturen, die in den vergangenen 150 Jahren so noch nicht beobachtet wurde (CHRISTENSEN 2005). Das Dürrejahr 2003 kann als ein Vorbote solcher zukünftigen klimatischen Verhältnisse angesehen werden.

Bezüglich der Niederschlagsverhältnisse wird im globalen Maßstab von einem durchschnittlichen Anstieg des Jahresniederschlags ausgegangen, wobei sich die regionalen Schwankungen der Zu- bzw. Abnahmen zwischen 5 und 20 % bewegen (IPCC, 2001). Für Mittel- und Südeuropa ergeben sich aus den verfügbaren Klimamodellen deutliche Rückgänge der Niederschlagssummen im Sommer sowie eine generelle Zunahme der Häufigkeit von Starkniederschlägen.

Diese grundsätzlichen Erkenntnisse bzw. Entwicklungen sollten jedoch stets vor dem Hintergrund der räumlichen Betrachtungsebene der jeweiligen Modelle beurteilt werden. Globale Klimamodelle können zwar die räumliche und zeitliche Entwicklung von Klimaparametern abbilden, weisen jedoch relativ grobe Maschenweiten von mitunter mehreren hundert Kilometern auf und sind somit nur eingeschränkt in der Lage, näher auf regionale Charakteristika des Klimas einzugehen.

### **2.2.2 Regionale Klimamodelle**

In diesem Zusammenhang kommt der Entwicklung regionaler Klimamodelle (*Regional Climate Models* oder RCMs) besondere Bedeutung zu. Insbesondere die aufgrund verschiedener geografischer Voraussetzungen vielfältigen, mitunter gegenläufigen Entwicklungstendenzen der Klimaelemente in den einzelnen Teilregionen Deutschlands können auf Grundlage dieser Modelle besser berücksichtigt werden.

Auch hierfür existieren verschiedene Modellansätze (statistische, dynamische und gemischte Verfahren, vgl. LFUG 2005). Als Antriebsgröße der Modelle finden in der Regel die Ergebnisse der oben beschriebenen, globalen Modellsimulationen Verwendung (vgl. Abbildung 2). Entsprechend können sich die Ergebnisse der regionalen Klimamodelle in einer Vielzahl von Aspekten unterscheiden. Neben den zugrunde gelegten Randbedingungen (verschiedene globale Modellantriebe bzw. Emissionsszenarios) und der verwendeten Modellierungsmethodik können Unterschiede hinsichtlich des Simulationsgebietes, des Simulationszeitraumes sowie Unterschiede im Hinblick auf die räumliche und zeitliche Auflösungsebene bestehen. Auf einige, wesentliche Aspekte der derzeit in Sachsen bzw. Deutschland verwendeten regionalen Klimamodelle soll im Folgenden näher eingegangen werden.

#### WEREX – wetterlagenbasierten Regionalisierungsmethode

*METEO-RESEARCH / CEC - Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH*

Bereits 1999 wurde am Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie ein Projekt zur Entwicklung regionaler Klimaprognosen initiiert (ENKE 2001; ENKE et al. 2001, 2003, 2005A, B; LFUG 2004). Durch eine kontinuierliche Weiterentwicklung des Modellansatzes konnte das speziell auf die sächsischen Verhältnisse zugeschnittene, statistische Regionalisierungsverfahren WEREX entwickelt werden.

Grundlage für die Regionalisierung bildet eine objektive Analyse der Wetterlagen und der meteorologischen Beobachtungswerte der vergangenen Jahrzehnte in Sachsen. Die Identifikation und Klassifizierung dieser typischen Zirkulationsmuster bilden den ersten Teilschritt des statistischen Modellansatzes (Klassifizierung). Im nächsten Teilschritt, dem Regressionsschritt, werden für die einzelnen Muster typische statistische Kenngrößen der Klimaelemente abgeleitet (vgl. ENKE et al. 2001, 2005A,B).

Auf Basis der durch globale Klimamodelle vorgegebenen Veränderungen der Häufigkeiten einzelner Wetterlagen, können auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse regionalklimatische Charak-

teristika abgeleitet werden. Als Eingangsgröße zur Herleitung von erwarteten Wetterlagenhäufigkeiten in der Zukunft finden hierbei die Ergebnisse des aktuellen globalen Klimamodells ECHAM5-MPI-OM des Max-Planck-Institutes Hamburg Verwendung (WEREX IV, Stand 2007)<sup>1</sup>. Derzeitig existieren Szenariodaten für die globalen Emissionsszenarios A1B, A2 und B1.

Die Ergebnisse der Projektionen liegen im LfULG in Form von simulierten Zeitreihen für meteorologische Messstationen vor (WEREX III: dekadenweise von 2001 - 2010 bis 2091 - 2100, WEREX IV: transient). Diese Zeitreihen sind jedoch nicht als konkrete Prognosen zu interpretieren, sondern repräsentieren statistische Kenngrößen, die den mittleren Zustand und die Variabilität des klimatischen Geschehens beschreiben (LFUG 2005).

Zusammenfassend ergeben sich aus der regionalisierten Klimaprojektion für Sachsen nachfolgende Tendenzen (LFUG 2005):

- Die erwartete globale Temperaturerhöhung ist auch im Land Sachsen deutlich erkennbar.
- Die Niederschlagsentwicklung verläuft ungleichmäßig. Auf trockenere Jahrzehnte folgen auch relativ feuchte Jahrzehnte. Innerhalb der Einzeljahre nehmen die Winterniederschläge tendenziell zu. In den Sommermonaten hingegen sind vor allem in Nord- und Nordostsachsen Niederschlagsabnahmen zu erwarten.
- Extreme, wie Starkniederschläge und Trockenperioden, treten tendenziell häufiger in Erscheinung.

#### CLM – Climate Local Model

*DWD, BTU Cottbus, Forschungszentrum GKSS, PIK*

Das Climate Local Model (CLM) ist eine Weiterentwicklung des für die Wettervorhersage verwendeten Lokalmodells LM (dynamisches Lokalmodell des Deutschen Wetterdienstes). In der aktuellen Version 2.0 wurde das ursprüngliche Modell modifiziert, um dem langfristigen Charakter des Klimas gerecht zu werden. Die aus zahlreichen Wissenschaftlern und Institutionen gebildete „CLM-Community“ zielt darauf ab, eine einheitliche und strategisch ausgerichtete Forschungsarbeit zu ermöglichen und stellt eine Besonderheit dieses Regionalmodells dar. Eine Vorstellung der Ergebnisse bzw. die Veröffentlichung der Daten ist für den Zeitraum 2007 - 2008 vorgesehen.

#### STAR – Statistisches Regionalisierungsmodell

*PIK-Potsdam/CEC-Potsdam*

Auf Grundlage statistischer Analysen von Beobachtungsdaten wird das Regionalklima auf kombinatorischem Wege „neu zusammengesetzt.“ Dabei wird dem generierten Klima ein angenommener Trend aufgeprägt.

---

<sup>1</sup> Für die Vorläufer-Variante WEREX III wurde das globale Modell ECHAM4-OPYC3 genutzt (ENKE et al. 2003).

## REMO – Regionalmodell

*Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg (MPI-M)*

Die durch das Umweltbundesamt für Gesamt-Deutschland in Auftrag gegebene Modellrechnung auf Basis des dynamischen Modells REMO verfügt über eine räumliche Auflösung von 10 x 10 km. Die Modellregion umfasst die Gesamtfläche der Bundesrepublik Deutschland sowie Österreich und die Schweiz (vgl. JACOB et al. 2008).

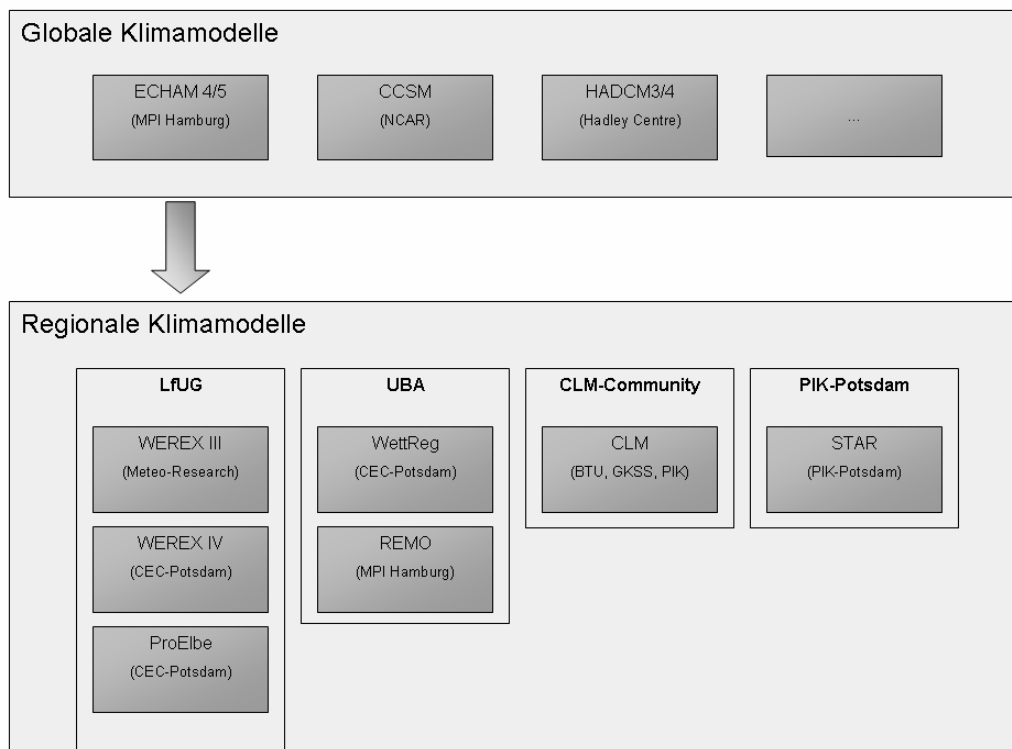
## WettReg -Wetterlagen-basierte Regionalisierungsmethode

*CEC-Potsdam*

WettReg basiert auf der Weiterentwicklung der Regionalisierungsmethodik des sächsischen Modells „WEREX“ und wurde vom Umweltbundesamt in Auftrag gegeben. Der statistische Modellansatz wurde hierbei auf die gesamte Fläche der Bundesrepublik Deutschland übertragen.

### **2.2.3 Zusammenfassung: Stand der Szenarioentwicklung und Interpretation**

Die in den vorangegangenen Abschnitten umschriebene Vielfalt von existierenden Modellvarianten sowie für den Modellbetrieb zugrunde gelegten Rahmenbedingungen macht deutlich, dass die Interpretation und Verwendung von Klimamodellergebnissen stets als eine Bandbreitenabschätzung möglicher zukünftiger Entwicklungen verstanden werden sollte. Ein Einbezug verschiedener Emissionsszenarios und Modellansätze ermöglicht es, die zukünftige Entwicklung auf Grundlage verschiedener Grundannahmen zu beurteilen.



**Abbildung 2: Exemplarische Übersicht über ausgewählte globale bzw. daraus abgeleitete regionale Klimamodelle**

Die derzeit in Deutschland bzw. Sachsen verfügbaren regionalen Klimamodellerggebnisse basieren auf den Antriebsdaten des deutschen Globalmodells ECHAM4 bzw. ECHAM5 des Max-Planck-Instituts für Meteorologie in Hamburg. Eine weitergehende Berücksichtigung verschiedener globaler Klimamodelle als Antriebsgröße für die regionalen Simulationen kann einen Beitrag für eine umfassendere Beurteilung der potenziellen Bandbreite klimatischer Entwicklungen leisten.

## **2 Methodik**

Die methodische Vorgehensweise für die vorliegende Untersuchung umfasst die Teilaspekte Recherche und Beschaffung verfügbarer Klimamodellerggebnisse sowie deren strukturelle Aufbereitung (vgl. Abbildung 3). Daran anknüpfend erfolgte die zeitlich und räumlich differenzierte Analyse der klimatischen Daten mittels einheitlicher statistischer Methoden. In den nachfolgenden Abschnitten soll näher auf die angewandten Kriterien und Methoden eingegangen werden.

### **2.1 Datengrundlagen**

Für die im Rahmen des 4. Sachstandsberichtes des IPCC (IPCC 2007) veröffentlichten Ergebnisse globaler Klimamodelle können wesentliche Parameter für ausgewählte Gebiete aus der CERA-Datenbank (<http://cera-www.dkrz.de>) des *World Data Center for Climate Hamburg* abgerufen werden. Dies betrifft insbesondere die Größen Temperatur und Niederschlag, welche für die Kontroll-Klimate bzw. die Zukunftsszenarios in monatlicher Auflösung vorliegen. Sowohl der Simulationszeitraum als auch die räumliche Auflösung der Zeitreihen variiert in Abhängigkeit des jeweiligen Modells.

#### **2.1.1 Auswahl der Daten**

Diese Untersuchung bezieht sich auf das Gebiet des Freistaates Sachsens bzw. Mitteldeutschlands sowie einen an der Aussagekraft von globalen Klimamodellen orientierten vergleichsweise weit umliegenden Bereich (8 – 17° östliche Länge, 48 – 55° nördliche Breite, vgl. Titelseite dieses Berichts).

Für die innerhalb dieses Gebietes befindlichen Modellgitterpunkte wurden die monatlichen Temperatur- und Niederschlagsdaten von zwölf globalen Klimamodellen extrahiert. Als Kontroll-Lauf wurde jeweils die Simulation auf pre-industriellem Treibhausgasniveau (PICTL – *Pre-industrial control run*) herangezogen. Des Weiteren wurden die Datensätze der simulierten zukünftigen Entwicklungen für die drei Treibhausgas-Emissionsszenarios A1B, A2 und B1 aus der CERA-Datenbank extrahiert. Im Falle von mehreren in der Datenbank aufgeführten Modell-Läufen wurde der jeweils erste Lauf verwendet.

#### **2.1.2 Aufbereitung der Daten**

Für nachfolgende Auswertungen war es erforderlich, die beschafften Daten aufzubereiten bzw. in eine auswertbare Form zu überführen. Dies umfasste die Teilschritte Konvertierung, Aggregation, Prüfung und Speicherung.

### Konvertierung

Hierbei wurden die monatlich aufgeführten Gitterpunkte (ASCII-Grids) unter Bildung eines Mittelwertes für das Untersuchungsgebiet in eine Listenform überführt (Zeitreihe). In die Mittelwertbildung ging jeweils die modellspezifische Anzahl an Gitterpunkten im Untersuchungsgebiet ein. Des Weiteren wurden die Maßeinheiten der Modelle in gängige meteorologische Größen umgerechnet (Temperaturen von Kelvin in °C, Niederschlagswerte von Liter/[m<sup>2</sup> \* Sekunde] in monatliche Niederschlagssummen).

### Aggregation

Aus den Monatswerten konnten anschließend Mittelwerte bzw. Summen für die einzelnen meteorologischen Jahreszeiten und das Gesamtjahr gebildet werden (Tabelle 2).

**Tabelle 2: Übersicht über die meteorologischen Jahreszeiten**

meteorologische Jahreszeit	Monate
Winter	Dezember bis Februar
Frühjahr	März bis Mai
Sommer	Juni bis August
Herbst	September bis November
Jahr	Januar bis Dezember

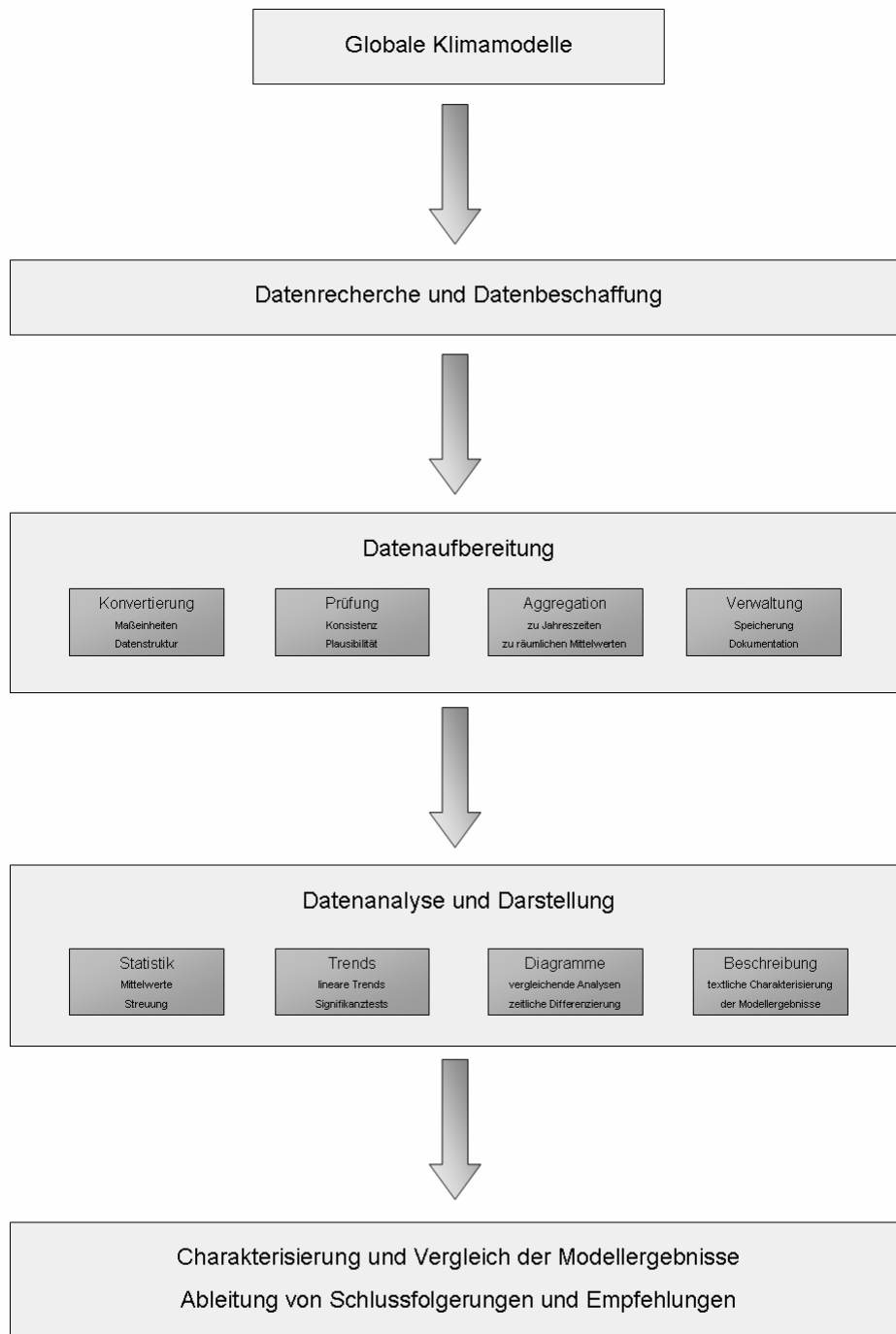
### Prüfung

Im Zuge der Bearbeitung wurden die Daten auf Plausibilität bzw. Vollständigkeit geprüft. Im Falle von fehlenden Monatswerten konnten entsprechend keine jahreszeitlichen bzw. Jahreswerte berechnet werden.

### Speicherung

Die Ergebnisse aus der Datenaufbereitung wurden in Form von Excel-Tabellen sowie im ASCII-Format gespeichert.





**Abbildung 3: Schematische Darstellung der methodischen Vorgehensweise**

## **2.2 Datenanalyse**

Für eine vergleichende Betrachtung der Modell-Klimate untereinander wurden die Ergebnisse der pre-industriellen Kontroll-Läufe herangezogen und einer statistischen Charakterisierung unterzogen. Eine weiterführende Beurteilung der projizierten, zeitlichen Entwicklung der Klimaelemente in den einzelnen Emissionsszenarios erfolgte auf der Grundlage von linearen Trend- bzw. Signifikanzanalysen.

### **2.2.1 Analyse der klimatische Verhältnisse der Kontroll-Läufe**

Die Beschreibung der verschiedenen Kontroll-Klimate der Modelle erfolgte anhand statistischer Kennzahlen für die Größen Temperatur und Niederschlag. So wurden für die einzelnen Monate, Jahreszeiten sowie für das Gesamtjahr Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Maximum, Spannweite sowie die modellspezifische Anzahl der Simulationsjahre im Kontroll-Lauf ermittelt. Für die Berechnung der Kenngrößen wurden alle verfügbaren Datensätze im Untersuchungsgebiet (also alle Simulationsjahre des Kontroll-Laufs und alle Gitterpunkte) mit einbezogen, um die regional differenzierte Schwankungsbreite der Modelle im Untersuchungsgebiet mit zu erfassen.

### **2.2.2 Analyse der klimatischen Entwicklung im 21. Jahrhundert**

Um die weitergehende Entwicklung von Temperatur und Niederschlag in den einzelnen Emissionsszenarios im Laufe des 21. Jahrhunderts näher beschreiben zu können, wurde das Klimaänderungssignal auf verschiedenen Wegen ermittelt. Der bei den Analysen zugrunde gelegte Zeitraum umfasst in Abhängigkeit der verfügbaren Modellergebnisse 100 Jahre (je nach Modell 2000 - 2099 bzw. 2001 - 2100, in einem Fall den Zeitraum 2004 - 2100 – also 97 Jahre) und wurde in den Ergebnissen entsprechend dokumentiert.

Als Maß der Veränderung zwischen simuliertem Ausgangszustand und den klimatischen Verhältnissen in den Emissionsszenarios erfolgte zum einen die Berechnung eines klimatischen Mittelwertes für das 21. Jahrhundert sowie die anschließende Ermittlung der absoluten Temperatur- bzw. relativen Niederschlagsänderungen im Vergleich zum pre-industriellen Ausgangsniveau (entspricht der Mittelwertdifferenz bzw. der prozentualen Änderung zwischen dem mittleren Klima des 21. Jahrhunderts und dem mittleren Kontroll-Lauf-Klima als Klimaänderungssignal).

Zur weiterführenden Charakterisierung der Modellergebnisse im 21. Jahrhundert wurde geprüft, ob und wie stark die Klimaelemente einem Trend unterliegen. So wurden die absoluten (Temperatur) bzw. relativen, linearen Trends (Niederschlag) ermittelt (vgl. RAPP & SCHÖNWIESE 1995, 1996). Der relative Trend entspricht hierbei dem auf den Mittelwert des Gesamtzeitraums bezogenen, absoluten Trend (vgl. auch IHM 2008).

Die abgeleitete Trendstatistik beinhaltet Beginn und Ende bzw. Länge und Mittelwert der betrachteten Datenreihe sowie die Schätzparameter der linearen Regressionsfunktion (Steigung  $m$ , Schnittpunkt mit der Ordinate  $c$ ) sowie das zugehörige Bestimmtheitsmaß  $R^2$ .

Zur Beurteilung der Signifikanz der klimatischen Entwicklungen wurde die Trendstatistik nach MANN (1945) und KENDALL (1970) berechnet. Dies beinhaltet eine Aussage über die Trendrichtung (positiv, negativ), den Mann-Kendall-Trendwert Q, die zugehörige Irrtumswahrscheinlichkeit sowie die entsprechende Bewertung der Signifikanz nach HÄNSEL (2008) bzw. Tabelle 3.

**Tabelle 3: Signifikanzgrenzen von Trends (Mann-Kendall-Trendwert Q, Vertrauensgrenze V, Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha$ )**

Q	V	$\alpha$	Bewertung
> 1.282	> 80 %	0.2	schwach signifikant
> 1.645	> 90 %	0.1	signifikant
> 1.960	> 95 %	0.05	
> 2.576	> 99 %	0.01	
> 3.290	> 99.9 %	0.001	hoch signifikant

Die oben umschriebenen Analysen wurden für die vorliegenden Modellergebnisse jeweils für die Parameter Temperatur und Niederschlag, die Emissionsszenarios A1B, A2 und B1 sowie für die einzelnen Monate, Jahreszeiten und das Gesamtjahr durchgeführt.

### 2.3 Verwendete Software

Die Aufbereitung und Auswertung der Daten erfolgte mit Hilfe der Programmpakete Microsoft Office 2003 (MICROSOFT CORPORATION 2003) und SPSS 14.0.1 (SPSS INC. 2005). Programmierarbeiten zur Datenverarbeitung und -analyse wurden mit Microsoft Visual Basic 6.0 (MICROSOFT CORPORATION 1999) durchgeführt. Weitere Abbildungen und Kartendarstellungen entstanden unter Verwendung von ArcMap 9.1 (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, INC. (2005)).

## 3 Ergebnisse

Auf Grundlage der erhobenen Daten (vgl. Tabelle 4) konnten umfangreiche Auswertungen vorgenommen werden. In dieser Arbeit wird unterschieden zwischen der separaten Analyse bzw. Beschreibung der verschiedenen Modellergebnisse und einer vergleichenden Betrachtung der verschiedenen Modelle untereinander.

Während die Betrachtung der einzelnen Modelle eher einordnenden Charakter besitzt und Auskunft darüber geben kann, inwiefern die Modellergebnisse für das Gebiet Mitteldeutschlands nachvollziehbare Klimate produzieren, ist die vergleichende Untersuchung verschiedener Modelle auf eine Abschätzung der Bandbreiten klimatischer Entwicklungen ausgelegt und kann weitergehende Informationen über bestehende Übereinstimmungen, aber auch Unsicherheiten, liefern.

### 3.1 Kurzcharakteristika globaler Klimamodellergebnisse

Um eine systematische Beschreibung der verschiedenen Modellergebnisse zu ermöglichen, wurde für jedes Modell eine Kurzcharakteristik nach einem einheitlichen Grundmuster erstellt. Diese umfasst neben allgemeinen Informationen zum betrachteten Modell (Modellbezeichnung, Modell betreibende Institution, Angaben zur Datenquelle, zum Untersuchungsgebiet und zur Modellauflö-

sung) eine Darstellung des jeweiligen Kontroll-Klimas in Form eines Klimadiagramms bzw. der entsprechenden Kennzahlen in Tabellenform.

Weiterhin sind die monatlichen bzw. jahreszeitlichen Klimaänderungssignale von Temperatur und Niederschlag für jedes Modell getrennt in Form von Balkendiagrammen zusammengefasst dargestellt. Dies betrifft sowohl die Mittelwertdifferenzen der verschiedenen (emissionsszenario-bedingten) Klimate im 21. Jahrhundert im Vergleich zum Kontroll-Klima als auch die abgeleiteten linearen Trends der Klimaelemente in ihrer zeitlichen Entwicklung in den verschiedenen Emissionsszenarios. Die berechneten Kennzahlen der Trendstatistik können für das jeweilige Modell und Emissionsszenario aus separaten Tabellen entnommen werden.

Die Kurzcharakteristik des jeweiligen Modells schließt mit einer textlichen Zusammenfassung der erarbeiteten Ergebnisse ab. Neben einer Beschreibung wesentlicher klimatischer Charakteristika des Kontroll-Laufs, finden sich Aussagen über bedeutende klimatische Entwicklungstendenzen von Temperatur und Niederschlag im 21. Jahrhundert sowie in den einzelnen Emissionsszenarios. In einem letzten Abschnitt wird schließlich auf Gemeinsamkeiten bzw. Unterschiede der klimatischen Entwicklungen in den Emissionsszenarios eingegangen.

**Tabelle 4: Übersicht über die aufbereiteten Modellergebnisse (jeweils monatliche Temperatur- und Niederschlagswerte)**

Modell	ausführliche Bezeichnung	modellbetreibende Institution	Land	Gitterpunkte	Kontroll-Lauf (Länge in Jahren)	Zeitraum für Trendanalysen	Emissionsszenarios
BCM2.0	Bergen Climate Model	Bjerknes Centre for Climate Research (BCCR)	Norwegen	12	250	2000-2099	A1B, B1
CCSM3	Community Climate System Model	National Center for Atmospheric Research (NCAR)	USA	35	230	2000-2099	A1B, A2, B1
CGCM3.1-T47_(med-res)	Coupled Global Climate Model (Medium Resolution)	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (CCCma)	Kanada	4	1001	2001-2100	A1B
CSIRO-Mk3.0	Mark 3 Coupled Climate Model	Commonwealth Scientific & Industrial Research Organisation (CSIRO)	Australien	15	380	2001-2100	A2, B1
ECHAM5/MPI-OM	European Centre Hamburg Model	Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M)	Deutschland	15	506	2001-2100	A1B, A2, B1
ECHO-G	ECHAM4 + HOPE-G	University of Bonn (UNI_BN-MI)	Deutschland	4	341	2001-2100	A1B, A2
GISS-ER	ModelE20/Russel	Goddard Institute for Space Studies / NASA (NASA/GISS)	USA	2	500	2004-2100	A2, B1
HadCM3	Hadley Centre Coupled Model 3	Met Office (METO)	Großbritannien	6	341	2000-2099	A1B, A2, B1
HadGEM	Hadley Centre Global Environmental Model (version 1)	Met Office (METO)	Großbritannien	30	240	2000-2099	A1B, A2
INM-CM3.0		Institute for Numerical Mathematics (INM)	Russland	4	330	2001-2100	A1B, A2, B1
IPSL-CM4		Institut Pierre Simon Laplace (IPSL)	Frankreich	6	500	2000-2099	A1B, A2, B1
MRI-CGCM2.3.2	Coupled General Circulation Model	Meteorological Research Institute (MRI)	Japan	12	350	2001-2100	A1B, A2, B1

### 3.1.1 Bergen Climate Model

Modellbetreibende Institution:

Bjerknes Centre for Climate Research (BCCR), Norwegen

**Datenquellen/Datensätze:** CERA-Datenbank (DKRZ)

IPCC DDC AR4 BCCR-BCM2.0 PICNTRL run 1

IPCC DDC AR4 BCCR-BCM2.0 SRESA1B run 1

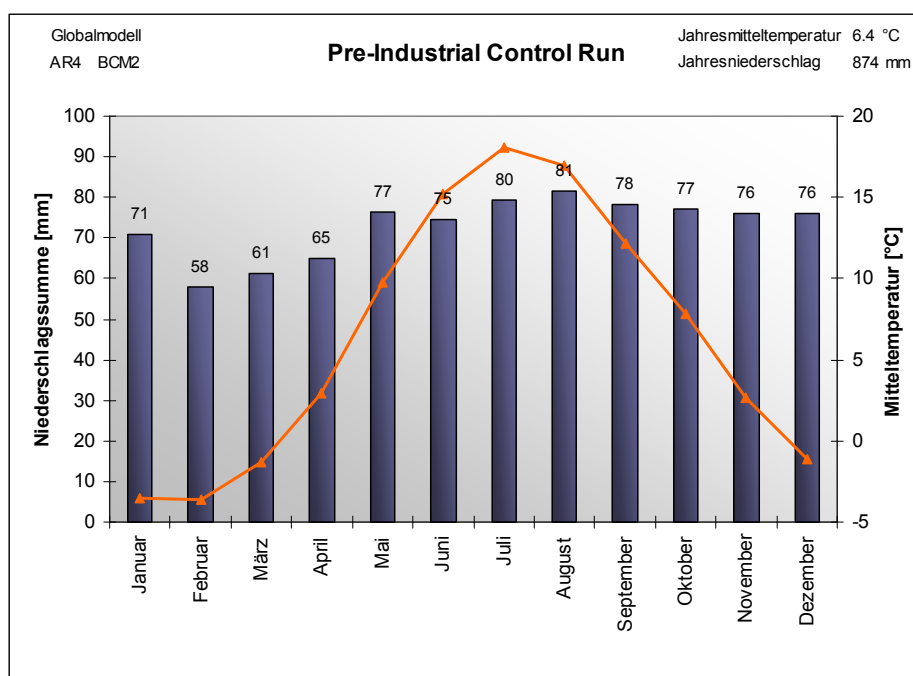
IPCC DDC AR4 BCCR-BCM2.0 SRESB1 run 1

**Untersuchungsgebiet:** 8-17° ö. L./48-55° n. Br.



**Anzahl der Gitterpunkte:** 12 (4 x 3)

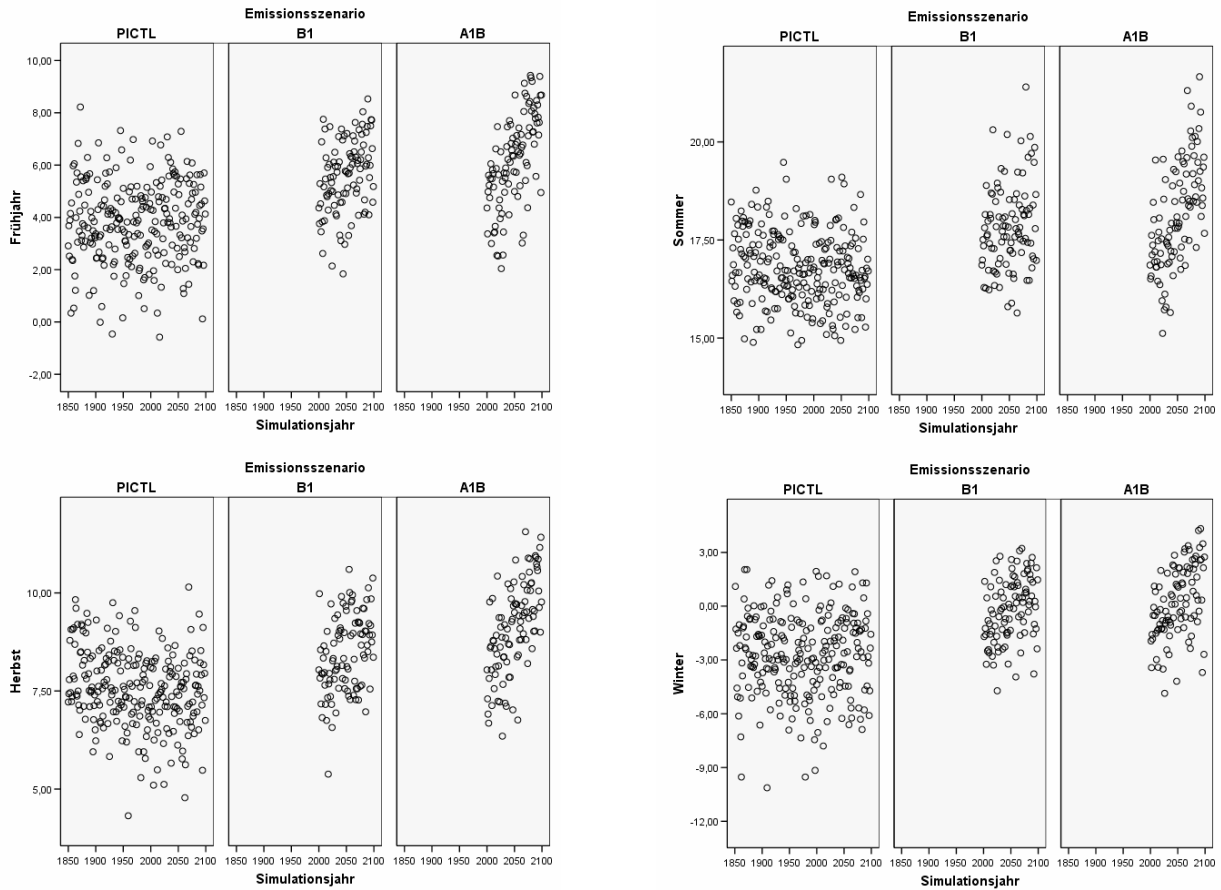
**Statistische Kennzahlen Kontroll-Lauf (PICTL):** für 12 Gitterpunkte x 250 Simulationsjahre



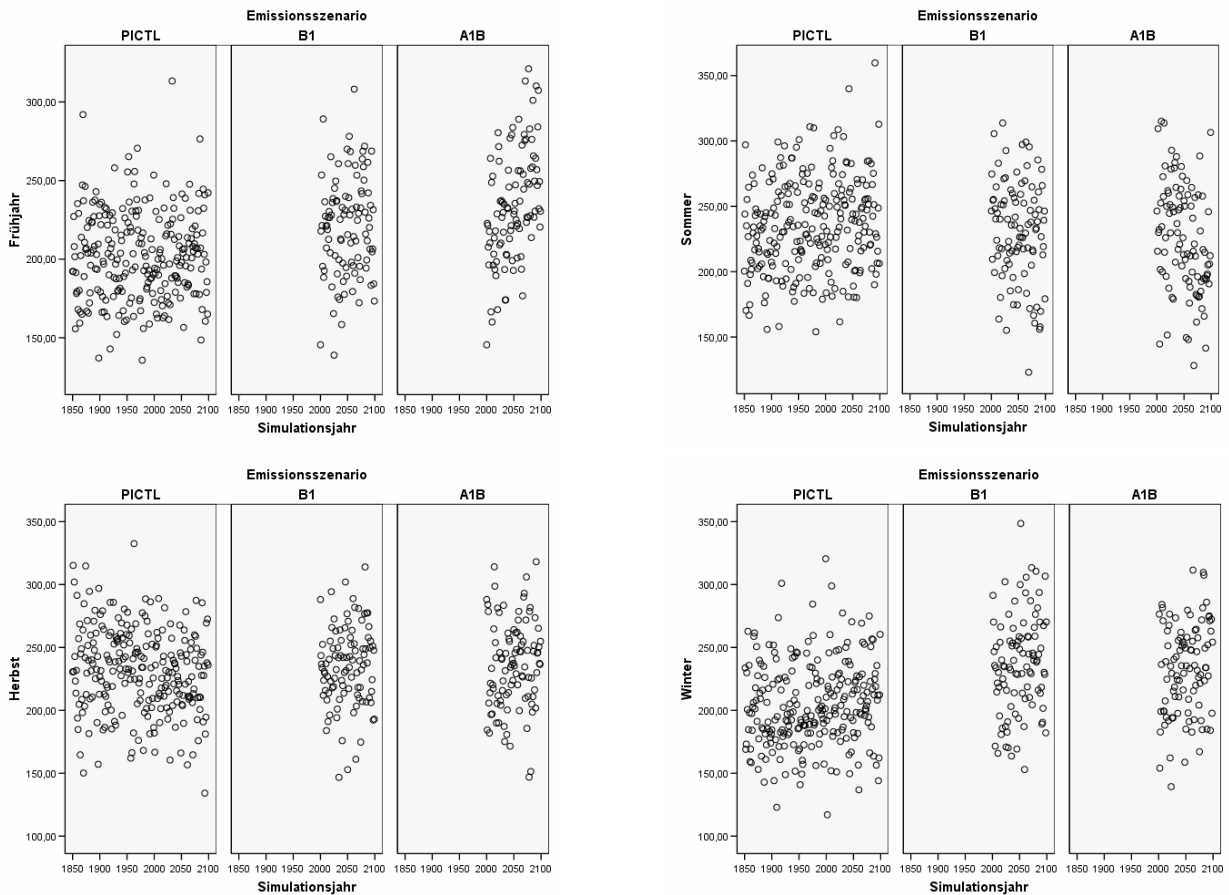
Temperatur	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	FJ	SO	HE	WI
Mittelwert	-3.5	-3.6	-1.3	2.9	9.8	15.2	18.1	17.0	12.2	7.8	2.7	-1.1	6.4	3.8	16.8	7.6	-2.7
Std.abw.	4.3	3.9	2.8	2.5	2.6	3.4	3.5	2.6	1.6	1.9	2.5	3.2	1.4	2.0	2.9	1.5	3.2
Minimum	-22.6	-19.1	-12.5	-5.4	0.5	2.3	5.1	7.6	7.1	0.8	-7.1	-13.5	0.1	-3.4	5.0	2.8	-15.8
Maximum	6.4	6.3	6.8	9.9	17.9	21.9	26.6	26.1	17.9	13.0	10.0	8.1	10.9	9.9	23.7	12.0	5.9
Spannweite	29.0	25.4	19.3	15.3	17.5	19.7	21.5	18.5	10.8	12.2	17.1	21.6	10.8	13.3	18.8	9.3	21.8
N	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	2988

Niederschlag	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	FJ	SO	HE	WI
Mittelwert	70.8	57.8	61.1	64.9	76.5	74.6	79.5	81.4	78.2	77.0	76.0	75.9	873.5	202.4	235.4	231.2	204.5
Std.abw.	29.2	24.3	24.6	27.5	40.6	46.1	50.9	44.6	34.7	32.2	33.1	31.9	241.2	70.1	123.7	73.9	63.5
Minimum	5.4	3.9	8.5	11.8	2.2	0.4	0.7	1.8	0.1	12.7	2.9	10.4	348.5	59.2	32.6	73.3	60.8
Maximum	211.4	156.9	192.3	161.5	213.9	242.6	311.7	288.2	254.8	209.6	300.1	275.9	1502.1	436.0	660.7	569.6	542.9
Spannweite	206.0	153.0	183.8	149.8	211.7	242.2	311.0	286.4	254.8	196.9	297.2	265.5	1153.5	376.8	628.0	496.4	482.1
N	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	2988

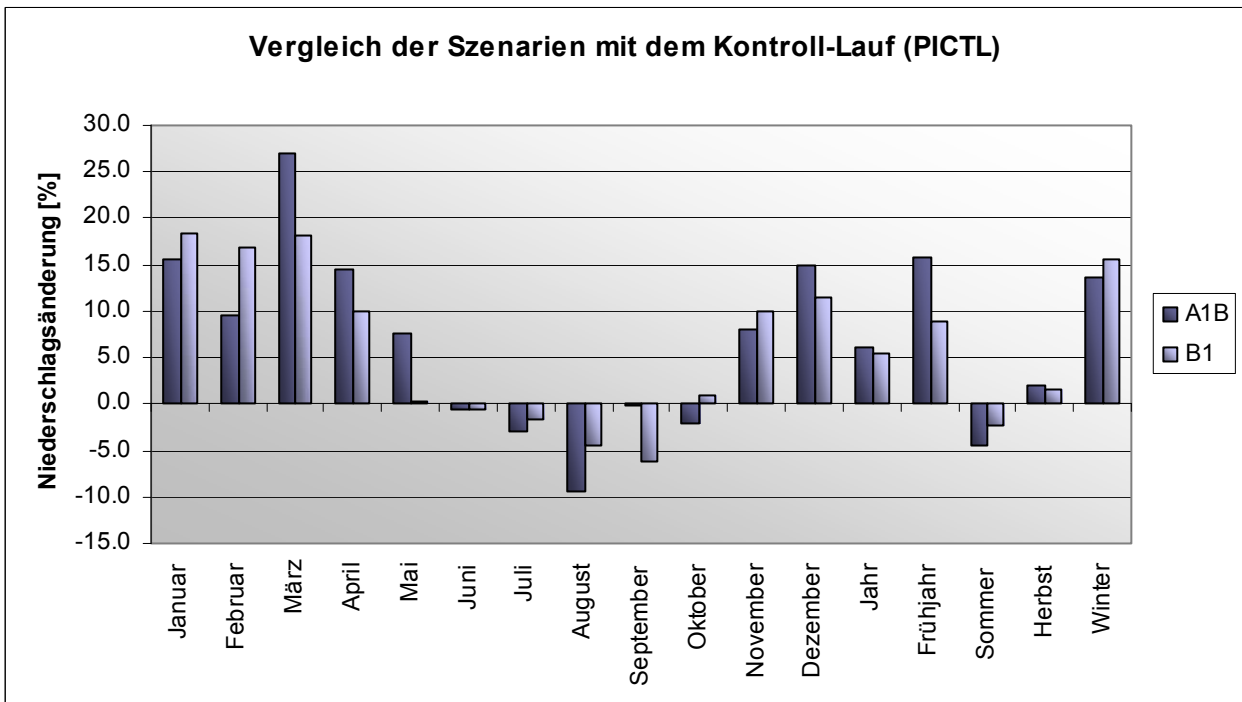
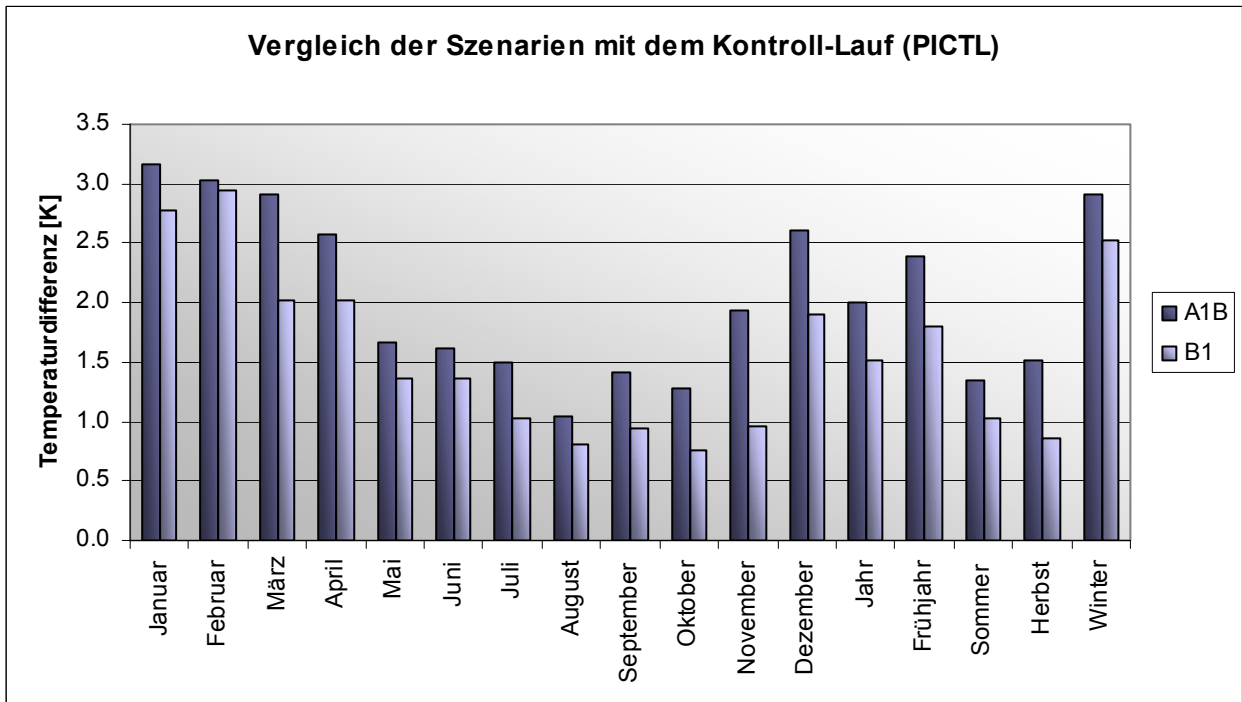
**Projizierter Verlauf der mittleren Temperaturen [°C] im Untersuchungsgebiet:**



**Projizierter Verlauf der mittleren Niederschlagssummen [mm] im Untersuchungsgebiet:**

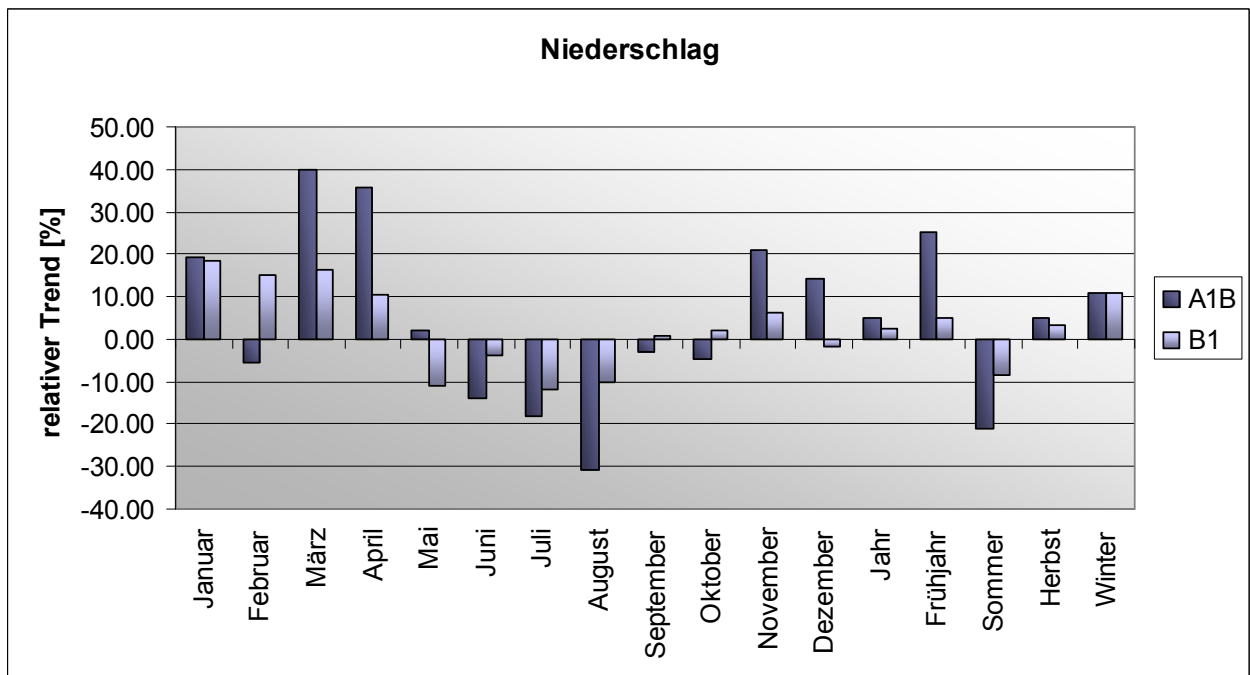
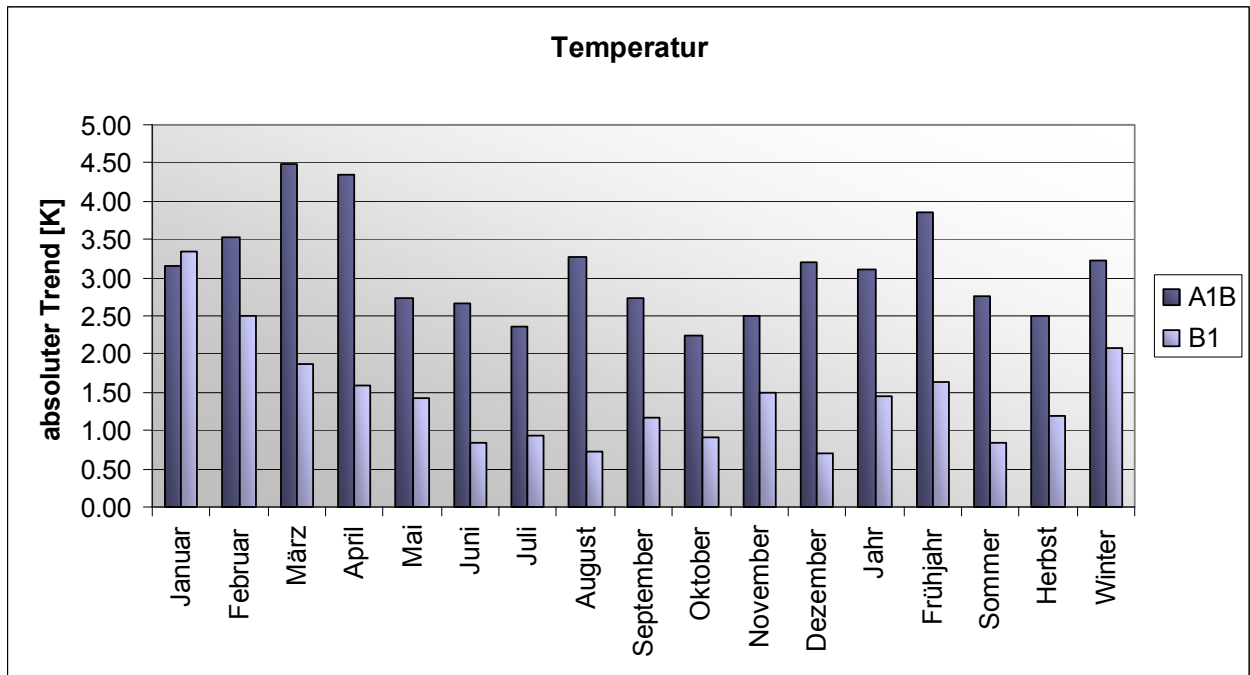


Klimaänderungssignale des Modells (Emissionsszenarios im 21. Jahrhundert/Kontroll-Lauf):





Temperatur- und Niederschlagstrends im 21. Jahrhundert:



## Trendstatistik

## BCM2

## A1B

Temperatur	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter
Beginn	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2001
Ende	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Mittelwert	-0.34	-0.58	1.61	5.47	11.46	16.81	19.60	18.04	13.61	9.08	4.64	1.50	8.41	6.18	18.15	9.11	0.22
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																	
m	0.03	0.04	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03
c	-65.51	-73.77	-91.47	-84.43	-45.34	-38.45	-29.29	-49.71	-42.99	-37.17	-47.26	-64.62	-55.84	-73.75	-39.15	-42.48	-67.04
R <sup>2</sup>	0.10	0.17	0.31	0.30	0.32	0.23	0.18	0.37	0.33	0.17	0.15	0.19	0.56	0.41	0.37	0.39	0.22
absoluter Trend	3.15	3.54	4.50	4.34	2.74	2.67	2.36	3.27	2.73	2.23	2.51	3.19	3.10	3.86	2.77	2.49	3.22
relativer Trend	-925.00	-611.19	279.68	79.34	23.93	15.88	12.05	18.14	20.09	24.60	54.02	212.64	36.90	62.46	15.25	27.35	1489.22
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																	
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	3.91	4.05	6.03	6.14	5.85	4.71	4.18	6.38	5.99	4.10	3.85	4.40	8.13	6.93	6.43	6.60	5.19
Irrtumswahrscheinlichkeit	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Bewertung	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.
<b>Niederschlag</b>																	
Beginn	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2001
Ende	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Mittelwert	81.85	63.30	77.59	74.24	82.35	74.14	77.19	73.73	78.15	75.46	82.16	87.19	927.34	234.18	225.06	235.76	232.44
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																	
m	0.16	-0.04	0.31	0.27	0.02	-0.10	-0.14	-0.23	-0.02	-0.04	0.17	0.13	0.48	0.60	-0.48	0.11	0.26
c	-245.15	136.70	-560.54	-474.80	45.58	288.17	370.17	545.16	125.11	151.17	-274.93	-169.31	-62.66	-989.76	1203.51	1.35	-296.94
R <sup>2</sup>	0.05	0.00	0.19	0.19	0.00	0.02	0.04	0.10	0.00	0.00	0.05	0.03	0.04	0.24	0.11	0.01	0.04
absoluter Trend	15.80	-3.55	30.82	26.52	1.78	-10.34	-14.15	-22.77	-2.27	-3.66	17.25	12.39	47.82	59.12	-47.26	11.32	25.31
relativer Trend	19.30	-5.60	39.73	35.72	2.16	-13.94	-18.33	-30.89	-2.90	-4.85	20.99	14.21	5.16	25.25	-21.00	4.80	10.89
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																	
Trendrichtung	positiv	negativ	positiv	positiv	negativ	negativ	negativ	negativ	negativ	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	negativ	positiv	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	2.29	-0.80	4.24	4.48	-0.21	-1.22	-1.97	-3.28	-0.63	0.07	2.36	1.26	1.77	4.85	-3.46	1.44	1.82
Irrtumswahrscheinlichkeit	0.05		0.001	0.001			0.05	0.01			0.05		0.1	0.001	0.001	0.2	0.1
Bewertung	signifikant	nicht signif.	hoch signif.	hoch signif.	nicht signif.	nicht signif.	signifikant	signifikant	nicht signif.	nicht signif.	signifikant	nicht signif.	signifikant	hoch signif.	hoch signif.	schwach signif.	signifikant



## **Zusammenfassung:**

### Kontroll-Lauf

Aus den Modellergebnissen ergibt sich für das Untersuchungsgebiet eine Jahresmitteltemperatur von 6,4 °C. Der Februar ist mit einer Mitteltemperatur von -3,6 °C der kälteste, der Juli mit 18,1 °C der wärmste Monat.

Der mittlere Jahresniederschlag beträgt 874 mm wobei sich die modellinternen bzw. regionalen Schwankungen zwischen 349 und 1502 mm bewegen. Die höchsten Niederschlagssummen fallen im Sommerhalbjahr, vor allem in den Monaten Juli bis September (> 78 mm), die geringsten im Februar, März und April (jeweils < 65 mm).

### Klimatrends im 21. Jahrhundert

*A1B - Szenario:* Es ergibt sich eine hoch signifikante Temperaturzunahme, insbesondere während der Frühjahrs und Wintermonate (März +4,5 K, April +4,3 K). Im Jahresmittel ist ein Erwärmungstrend von +3,1 K zu verzeichnen.

Die Niederschlagsentwicklung ist durch eine hoch signifikante Abnahme der Sommerniederschläge um 21 % gekennzeichnet. Hierbei fallen die höchsten Abnahmen auf die Monate Juli mit -18 % und August mit -31 %. In den Monaten März und April sind hoch signifikante Niederschlagszunahmen (über 35 %) zu verzeichnen, sodass die stärksten Änderungen auf das Frühjahr entfallen (+25 %). Auch im Herbst und Winter sind leicht ansteigende Niederschlagssummen zu verzeichnen, jedoch weniger deutlich – vor allem in den einzelnen Monaten ergeben sich zum Teil gegenläufige Niederschlagsentwicklungen.

*B1 - Szenario:* Im Jahresmittel besteht ein Erwärmungstrend von +1,5 K. Die stärkste Erwärmung zeichnet sich für die Wintermonate Januar und Februar ab (+3,3 bzw. +2,5 K). Hinsichtlich der Niederschläge ist ein signifikanter Zunahmetrend im Winter festzustellen (+11 %). Auch für den Herbst ergeben sich leichte, jedoch nicht signifikante Zunahmen. Aufgrund der abnehmenden Niederschläge im Mai (-11 %) sowie während der Sommermonate (im Mittel -9 %) kann für den Jahresniederschlag insgesamt nur eine geringe Zunahme der Niederschlagssummen beobachtet werden.

### Vergleichende Beschreibung der Emissionsszenarios

Die Temperaturerhöhung sowie die Zu- und Abnahmen der Niederschläge in den Einzelmonaten und Jahreszeiten können für das A1B-Szenario als weit deutlicher ausgeprägt umschrieben werden, als für das B1-Szenario. Unterschiede bestehen hinsichtlich der Zeiträume der stärksten Erwärmung. Im A1B-Szenario ergeben sich die stärksten Erwärmungstrends während der Frühjahrsmonate, im B1-Szenario tritt die Erwärmung im Winter am deutlichsten zu Tage. Bezüglich der Niederschlagsverteilung besteht eine grundsätzliche Übereinstimmung des Trendverhaltens in den Jahreszeiten. In den Einzelmonaten sind jedoch teils gegenläufige Trends festzustellen (Mai, September und Oktober).

### 3.1.2 CCSM3 - Community Climate System Model

#### Modellbetreibende Institution:

National Center for Atmospheric Research (NCAR), USA

**Datenquellen/Datensätze:** CERA-Datenbank (DKRZ)

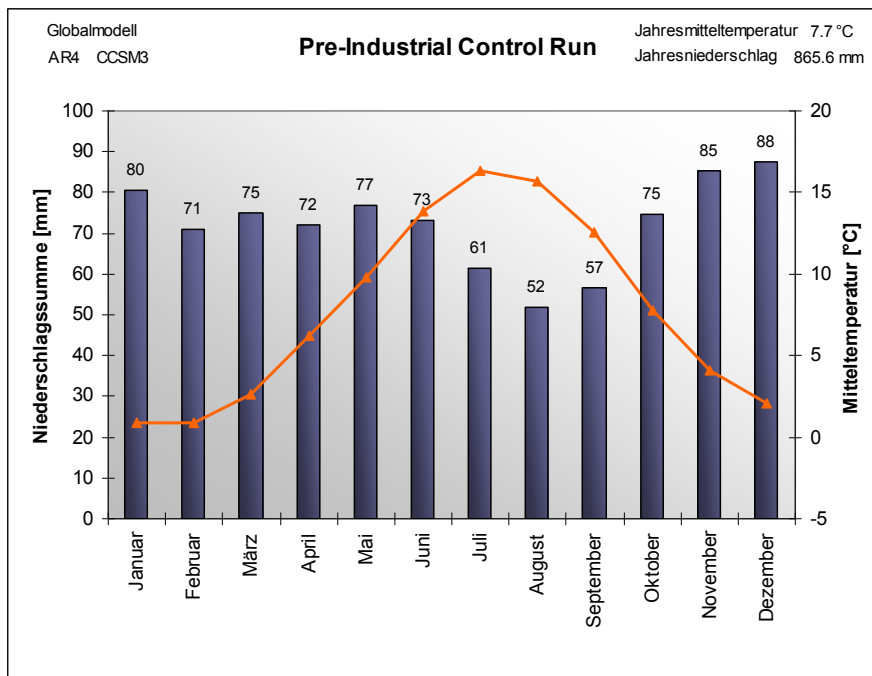
- IPCC DDC AR4 NCAR-CCSM3 PICNTRL run 1
- IPCC DDC AR4 NCAR-CCSM3 SRESA1B run 1
- IPCC DDC AR4 NCAR-CCSM3 SRESA2 run 1
- IPCC DDC AR4 NCAR-CCSM3 SRESB1 run 1

**Untersuchungsgebiet:** 8-17° ö. L./48-55° n. Br.

**Anzahl der Gitterpunkte:** 35 (7 x 5)



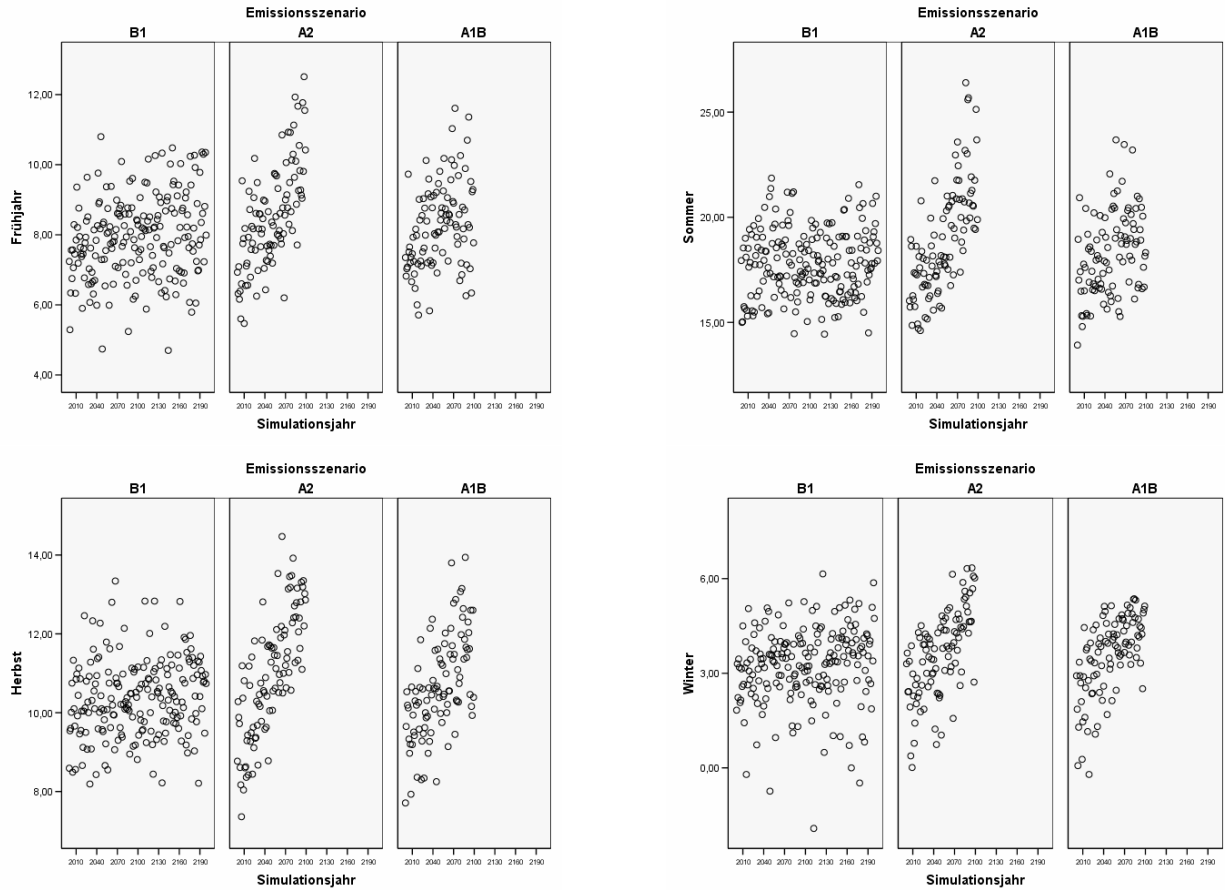
**Statistische Kennzahlen Kontroll-Lauf (PICTL):** für 35 Gitterpunkte x 230 Simulationsjahre



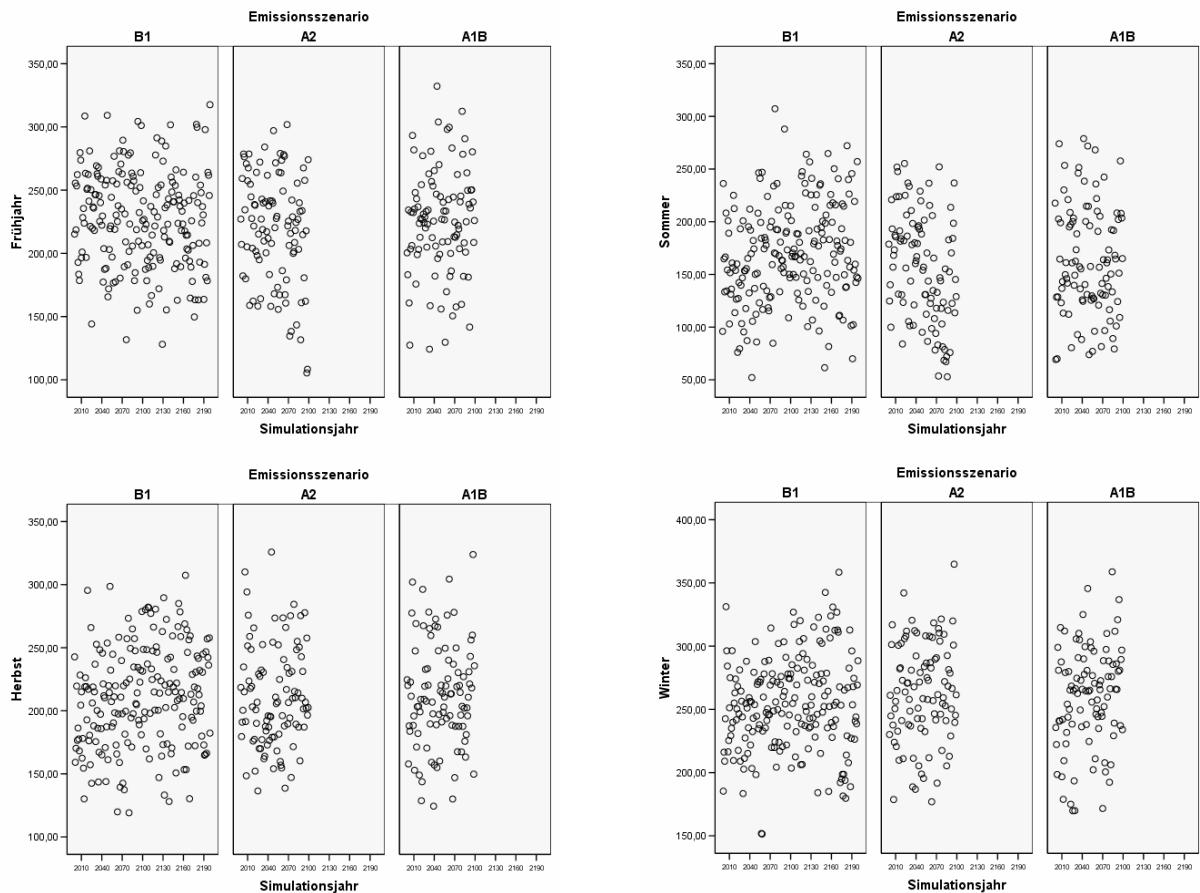
Temperatur	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	FJ	SO	HE	WI
Mittelwert	0.9	0.8	2.6	6.2	9.8	13.9	16.3	15.7	12.5	7.8	4.1	2.1	7.7	6.2	15.3	8.1	1.3
Std.abw.	2.5	2.5	2.1	1.9	2.0	2.3	2.4	2.3	2.1	1.6	1.7	2.1	1.0	1.4	1.8	1.3	1.8
Minimum	-11.8	-8.4	-5.8	-0.9	3.9	7.6	9.5	9.0	6.7	2.2	-2.0	-8.1	4.1	0.0	10.2	4.0	-5.5
Maximum	6.3	8.2	8.4	16.4	19.3	24.1	26.7	25.2	21.4	12.8	9.6	7.1	11.1	11.8	23.3	13.3	5.6
Spannweite	18.1	16.5	14.2	17.3	15.4	16.5	17.2	16.3	14.7	10.5	11.6	15.2	7.1	11.8	13.1	9.3	11.1
N	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8015

Nieder-schlag	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	FJ	SO	HE	WI
Mittelwert	80.4	70.9	75.0	72.2	76.7	73.1	61.4	51.8	56.6	74.7	85.3	87.5	865.6	223.9	186.3	216.6	239.0
Std.abw.	26.5	24.6	25.2	27.1	29.7	33.7	30.9	27.9	29.1	29.5	27.6	28.0	139.7	54.5	61.1	57.3	54.7
Minimum	18.8	10.3	13.3	8.8	1.5	0.5	0.7	0.2	0.2	3.0	17.3	21.6	417.4	51.3	12.7	70.8	95.4
Maximum	192.9	212.3	181.2	184.8	201.1	251.8	205.4	194.4	209.0	233.7	230.8	191.6	1503.0	419.4	425.2	468.6	465.5
Spannweite	174.1	202.0	167.9	176.0	199.6	251.2	204.7	194.3	208.8	230.8	213.5	170.1	1085.6	368.2	412.5	397.8	370.0
N	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8050	8015

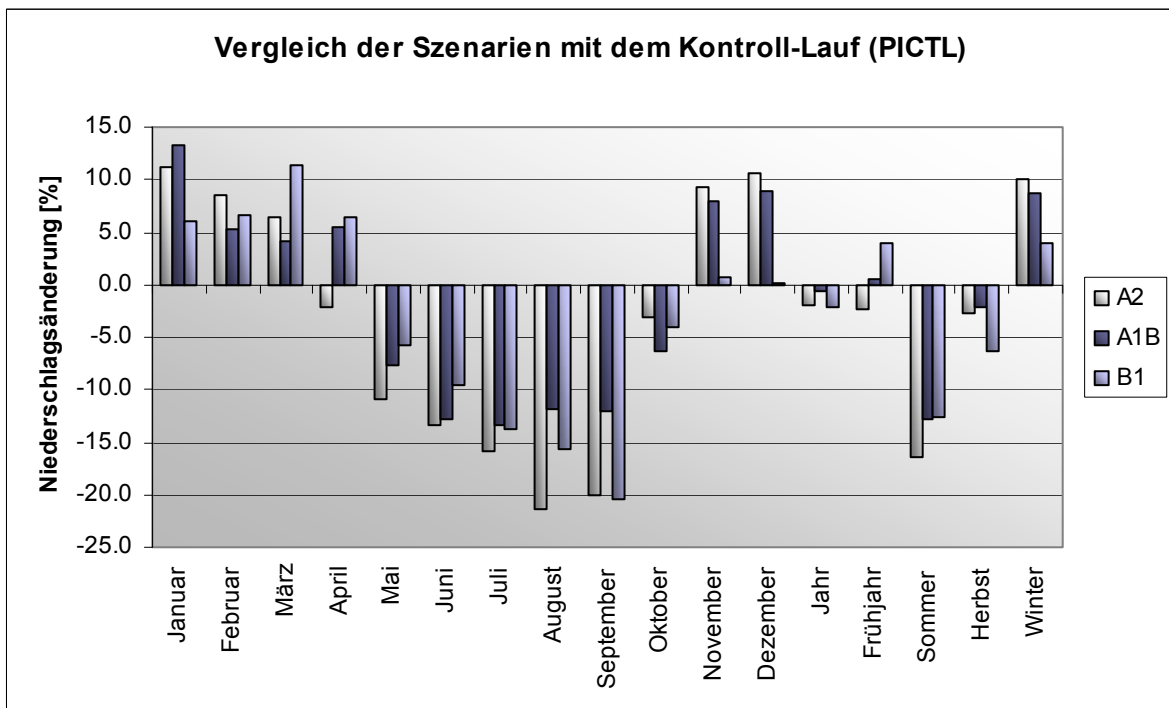
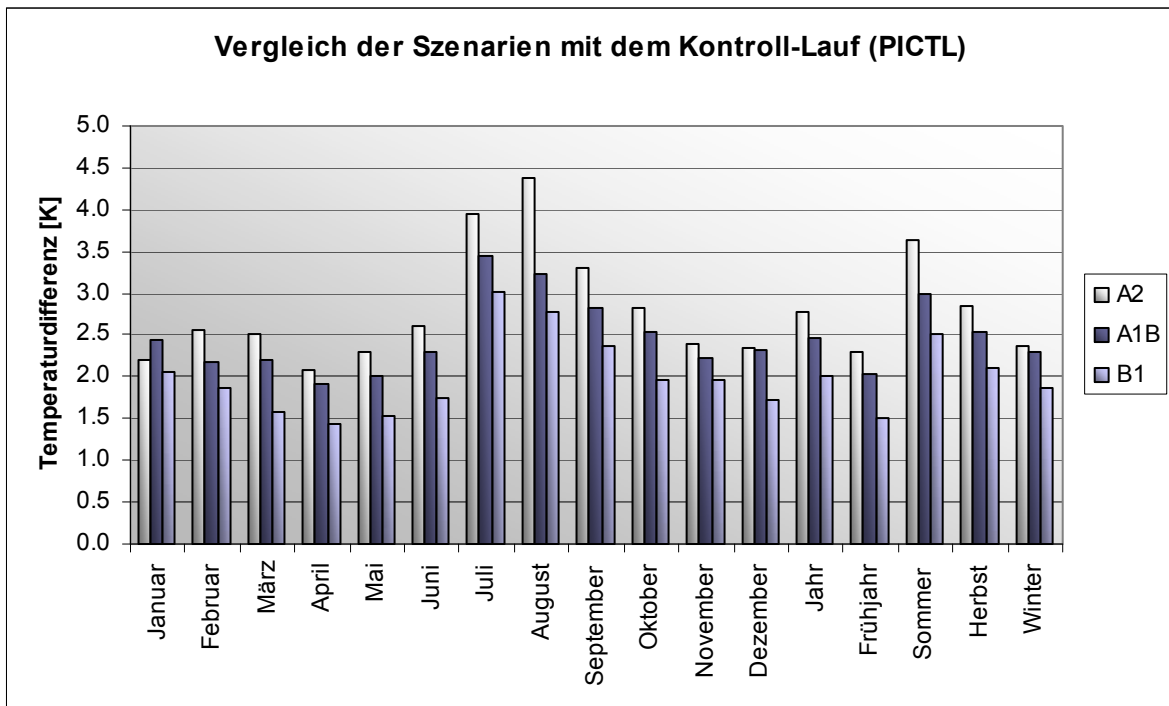
**Projizierter Verlauf der mittleren Temperaturen [°C] im Untersuchungsgebiet:**



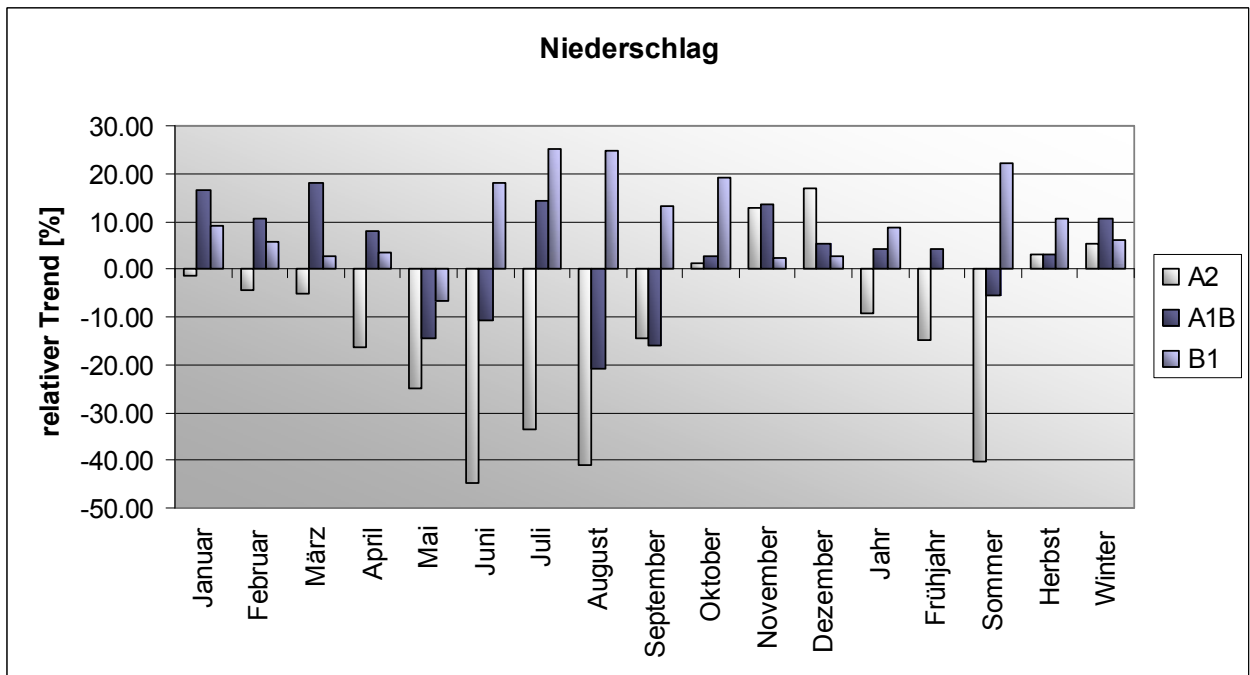
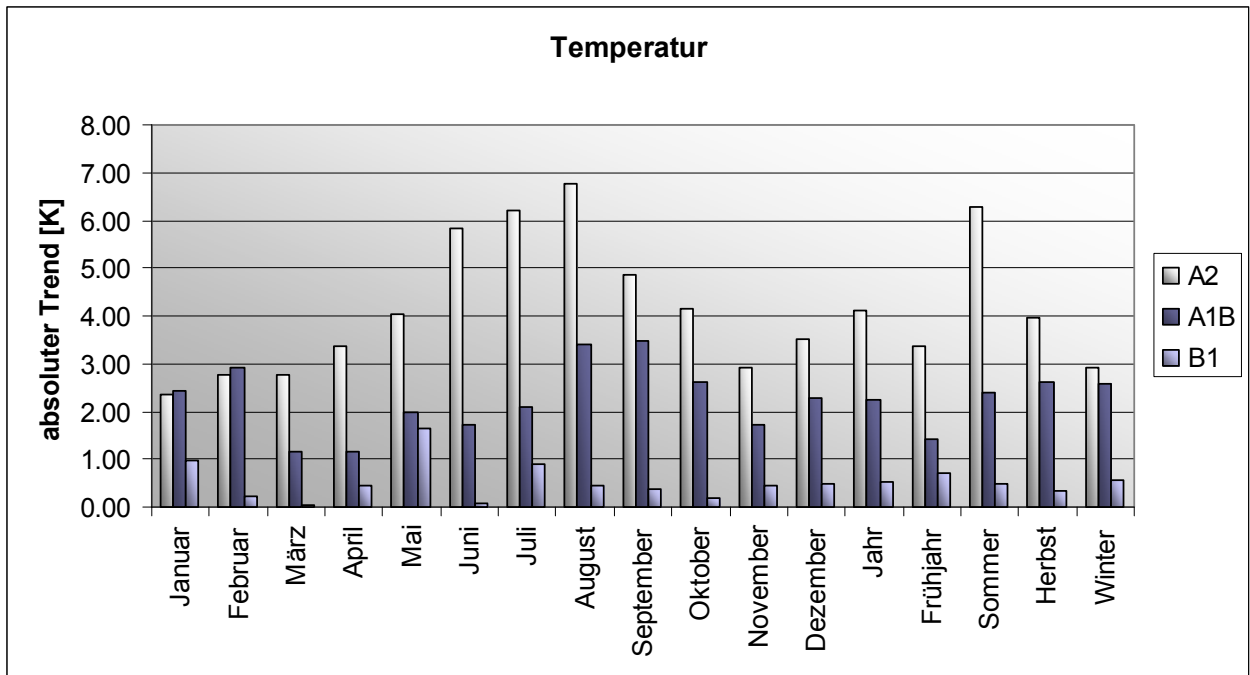
**Projizierter Verlauf der mittleren Niederschlagssummen [mm] im Untersuchungsgebiet:**



Klimaänderungssignale des Modells (Emissionsszenarios im 21. Jahrhundert / Kontroll-Lauf):



**Temperatur- und Niederschlagstrends im 21. Jahrhundert:**





## Trendstatistik

CCSM3

A1B

Temperatur	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter	
Beginn	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2001
Ende	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Mittelwert	3.31	3.02	4.84	8.10	11.82	16.16	19.79	18.94	15.35	10.34	6.31	4.41	10.20	8.25	18.30	10.67	3.57	
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																		
m	0.02	0.03	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03
c	-46.85	-57.50	-19.16	-15.95	-29.38	-19.64	-23.64	-51.31	-56.74	-44.07	-29.42	-42.69	-36.36	-21.50	-31.53	-43.41	-50.03	-50.03
R <sup>2</sup>	0.15	0.18	0.04	0.04	0.11	0.04	0.06	0.15	0.22	0.24	0.15	0.17	0.41	0.12	0.13	0.36	0.37	0.37
absoluter Trend	2.42	2.92	1.16	1.16	1.99	1.73	2.10	3.39	3.48	2.63	1.73	2.28	2.25	1.44	2.41	2.61	2.56	2.56
relativer Trend	73.21	96.66	23.95	14.34	16.84	10.70	10.60	17.92	22.68	25.41	27.35	51.62	22.05	17.41	13.15	24.49	71.73	71.73
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																		
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	3.68	3.92	1.95	2.09	3.15	1.86	2.20	3.79	4.73	4.79	3.88	4.53	6.70	3.57	3.48	6.21	6.30	6.30
Irrtumswahrscheinlichkeit	0.001	0.001	0.1	0.05	0.01	0.1	0.05	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
Bewertung	signif.	hoch signif.	signifikant	signifikant	signifikant	signifikant	signifikant	signif.	hoch signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.

Niederschlag	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter	
Beginn	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2001	
Ende	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	
Mittelwert	90.95	74.62	78.07	76.12	70.82	63.81	53.21	45.57	49.77	69.95	92.06	95.25	860.19	225.01	162.58	211.77	259.98	
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																		
m	0.15	0.08	0.14	0.06	-0.10	-0.07	0.08	-0.10	-0.08	0.02	0.12	0.05	0.36	0.10	-0.09	0.06	0.28	
c	-219.40	-87.72	-215.77	-46.20	284.01	205.18	-102.86	243.33	214.91	29.36	-163.13	-9.39	132.31	22.04	345.64	81.14	-322.85	
R <sup>2</sup>	0.04	0.02	0.04	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	
absoluter Trend	14.99	7.84	14.19	5.91	-10.30	-6.83	7.54	-9.55	-7.98	1.96	12.33	5.05	35.16	9.80	-8.84	6.31	27.86	
relativer Trend	16.48	10.51	18.18	7.76	-14.54	-10.70	14.17	-20.96	-16.03	2.80	13.39	5.31	4.09	4.36	-5.44	2.98	10.72	
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																		
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	negativ	negativ	positiv	negativ	negativ	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	negativ	positiv	positiv	
Mann-Kendall-Trendwert Q	2.01	1.19	1.84	0.96	-1.23	-0.76	1.02	-1.01	-0.90	0.41	1.81	0.95	1.18	0.75	-0.38	0.52	1.86	
Irrtumswahrscheinlichkeit	0.05		0.1								0.1						0.1	
				nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	signifikant	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	signifikant	
Bewertung	signifikant	nicht signif.	signifikant	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	nicht signif.	signif.	signifikant	signif.	signif.	signif.	signif.	signifikant	

## Trendstatistik CCSM3 A2

Temperatur	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter	
Beginn	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2001
Ende	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Mittelwert	3.06	3.41	5.16	8.27	12.11	16.46	20.30	20.08	15.84	10.61	6.47	4.44	10.52	8.51	18.95	10.98	3.63	
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																		
m	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.06	0.06	0.07	0.05	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.06	0.04	0.04	0.03
c	-45.32	-53.66	-52.15	-61.13	-71.14	-104.53	-108.43	-120.37	-84.60	-75.15	-54.23	-68.48	-74.93	-61.47	-111.11	-71.32	-57.69	
R <sup>2</sup>	0.13	0.20	0.21	0.26	0.30	0.35	0.39	0.38	0.37	0.46	0.31	0.29	0.71	0.46	0.51	0.58	0.40	
absoluter Trend	2.34	2.76	2.77	3.35	4.02	5.84	6.22	6.78	4.85	4.14	2.93	3.52	4.13	3.38	6.28	3.98	2.93	
relativer Trend	76.27	80.83	53.65	40.52	33.21	35.51	30.64	33.78	30.63	39.04	45.29	79.36	39.24	39.70	33.16	36.22	80.78	
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																		
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	3.94	4.80	4.63	5.43	5.56	6.11	6.57	6.44	6.48	7.24	5.65	5.41	9.68	7.21	7.56	8.38	6.79	
Irrtumswahrscheinlichkeit	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	
Bewertung	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	

Niederschlag	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter	
Beginn	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2001	
Ende	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	
Mittelwert	89.37	76.97	79.78	70.66	68.37	63.40	51.63	40.73	45.28	72.44	93.21	96.85	848.68	218.80	155.75	210.93	262.98	
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																		
m	-0.01	-0.03	-0.04	-0.12	-0.17	-0.29	-0.18	-0.17	-0.07	0.01	0.12	0.17	-0.78	-0.33	-0.63	0.06	0.14	
c	118.10	146.35	162.01	312.39	420.62	648.50	412.19	388.11	180.95	54.38	-152.23	-243.08	2448.28	895.02	1448.80	83.10	-23.21	
R <sup>2</sup>	0.00	0.00	0.00	0.03	0.04	0.10	0.04	0.04	0.01	0.00	0.03	0.05	0.07	0.05	0.13	0.00	0.01	
absoluter Trend	-1.39	-3.35	-3.97	-11.68	-17.02	-28.26	-17.42	-16.78	-6.55	0.87	11.86	16.42	-77.27	-32.66	-62.46	6.17	13.68	
relativer Trend	-1.55	-4.35	-4.98	-16.53	-24.89	-44.58	-33.74	-41.20	-14.47	1.20	12.72	16.95	-9.10	-14.93	-40.10	2.93	5.20	
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																		
Trendrichtung	negativ	negativ	negativ	negativ	negativ	negativ	negativ	negativ	negativ	negativ	positiv	positiv	negativ	negativ	negativ	positiv	positiv	
Mann-Kendall-Trendwert Q	-0.38	-0.52	-0.66	-1.52	-1.89	-3.30	-2.94	-2.55	-1.01	-0.05	2.03	2.11	-2.64	-1.83	-3.59	0.67	0.97	
Irrtumswahrscheinlichkeit				0.2	0.1	0.001	0.01	0.05			0.05	0.05	0.01	0.1	0.001	hoch signif.	nicht signif.	
Bewertung	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	schwach signif.	signifikant	hoch signif.	signifikant	signifikant	signifikant	nicht signif.	nicht signif.	signifikant	signifikant	signifikant	signifikant	hoch signif.	nicht signif.	

## Trendstatistik

## CCSM3

## B1

Temperatur	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter
Beginn	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2001
Ende	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Mittelwert	2.92	2.71	4.22	7.63	11.33	15.60	19.37	18.48	14.91	9.76	6.04	3.81	9.73	7.73	17.82	10.24	3.14
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																	
m	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01
c	-17.25	-2.32	3.50	-1.88	-22.42	14.21	1.09	9.09	7.28	5.98	-3.20	-6.53	-1.04	-6.93	8.13	3.35	-8.93
R <sup>2</sup>	0.03	0.00	0.00	0.01	0.08	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.04	0.04	0.01	0.01	0.02
absoluter Trend	0.97	0.24	0.03	0.46	1.63	0.07	0.88	0.45	0.37	0.18	0.45	0.50	0.52	0.71	0.47	0.33	0.58
relativer Trend	33.37	8.98	0.83	6.02	14.39	0.43	4.56	2.45	2.47	1.87	7.38	13.11	5.35	9.17	2.63	3.25	18.36
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																	
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	negativ	positiv	positiv	positiv	negativ	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	1.39	0.46	0.55	0.40	2.67	-0.26	1.15	0.88	0.29	-0.07	1.28	0.83	1.74	2.23	0.63	1.07	1.72
Irrtumswahrscheinlichkeit	0.2				0.01								0.1	0.05			0.1
Bewertung	schwach signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	signifikant	nicht signif.	nicht signif.	signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	signifikant	signifikant	nicht signif.	nicht signif.	signifikant
<b>Niederschlag</b>																	
Beginn	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2001
Ende	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Mittelwert	85.16	75.62	83.60	76.77	72.27	66.13	52.97	43.61	44.99	71.74	85.97	87.70	846.53	232.64	162.71	202.69	248.48
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																	
m	0.08	0.04	0.02	0.03	-0.05	0.12	0.13	0.11	0.06	0.14	0.02	0.02	0.73	0.00	0.36	0.22	0.15
c	-77.08	-11.36	39.07	20.24	171.09	-182.64	-222.07	-180.08	-78.70	-211.04	41.68	39.23	-651.64	230.40	-584.79	-248.05	-58.87
R <sup>2</sup>	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.02	0.01	0.03	0.00	0.00	0.06	0.00	0.05	0.03	0.02
absoluter Trend	7.84	4.20	2.15	2.73	-4.77	12.02	13.29	10.81	5.97	13.66	2.14	2.34	72.37	0.11	36.11	21.77	14.69
relativer Trend	9.20	5.56	2.57	3.56	-6.60	18.17	25.08	24.78	13.28	19.04	2.49	2.67	8.55	0.05	22.19	10.74	5.91
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																	
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	negativ	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	1.39	0.72	0.49	0.71	-0.35	1.43	1.49	1.09	0.77	1.81	0.32	0.67	2.38	0.18	2.00	1.80	1.69
Irrtumswahrscheinlichkeit	0.2					0.2	0.2			0.1			0.05		0.05	0.1	0.1
Bewertung	schwach signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	schwach signif.	schwach signif.	nicht signif.	nicht signif.	signifikant	nicht signif.	nicht signif.	signifikant	nicht signif.	signifikant	signifikant	signifikant

## **Zusammenfassung:**

### Kontroll-Lauf

Die Jahresmitteltemperatur für das Untersuchungsgebiet beträgt 7,7 °C. In den Monaten Januar und Februar gehen die Mitteltemperaturen auf 0,9 bzw. 0,8 °C zurück, wärmster Monat ist der Juli mit 16,3 °C. Unter Berücksichtigung der räumlichen Komponente variieren die Temperaturen an den Gitterpunkten zwischen -11,8 °C im Januar und 26,7 °C im Juli. Im langjährigen Mittel fallen 866 mm Jahresniederschlag, davon der größte Teil im Winter und Frühjahr, vor allem von November bis Januar (> 80 mm). Während der Sommermonate beträgt die Niederschlagssumme lediglich 186 mm. Regional begrenzt können während dieser Monate sehr geringe Niederschlagsmengen (unter 1 mm pro Monat) auftreten.

### Klimatrends im 21. Jahrhundert

*A1B - Szenario:* Es ergibt sich ein hoch signifikanter Temperaturanstieg, im Mittel um 2,25 K. Dabei entfallen die stärksten Zunahmen auf die Sommer-, Herbst- (August und September ca. + 3,4 K) und Wintermonate – für das Frühjahr ergibt sich ein vergleichsweise geringer Zunahmetrend von +1,4 K.

Die Jahresniederschlagssumme weist einen schwachen Zunahmetrend um 4 % auf. Am signifikantesten treten die Zunahmen im Winter mit + 11 % zu Tage. Im Gegensatz dazu unterliegen die Sommermonate einem Abnahmetrend (- 5 %). In den einzelnen Sommermonaten ist die Entwicklung jedoch zum Teil gegenläufig: Den starken Abnahmen im Juni (-11 %) bzw. August (-21 %) stehen Zunahmen im Juli (14 %) gegenüber.

*A2 - Szenario:* Die Temperaturen nehmen in allen Jahreszeiten deutlich zu (im Jahresmittel um +4,1 K), wobei die extremste Änderung in den Sommermonaten erfolgt (+ 6,3 K). Für den Jahresniederschlag ist eine signifikante Abnahme um -9 % zu verzeichnen. Die leichten Niederschlagszunahmen im Herbst und Winter fallen im Hinblick auf die signifikanten Abnahmen im Frühjahr (-15 %) und Sommer (-40 %) kaum ins Gewicht. Auffällig ist die Tendenz zu einem durchgehenden und sich im Jahresverlauf verstärkenden Abnahmetrend im Zeitraum von Januar bis September.

*B1 – Szenario:* Für das Jahresmittel ergibt sich ein signifikanter Erwärmungstrend von +0,5 K. Die stärksten Zunahmen entfallen auf die Monate Januar (+1 K) und Mai (+1,6 K). Der Jahresniederschlag nimmt signifikant um 9 % zu. Mit Ausnahme des Monats Mai (-7 %) sind alle Monate durch zunehmende Niederschläge gekennzeichnet, insbesondere die Sommermonate (im Mittel +22 %).

### Vergleichende Beschreibung der Emissionsszenarios

Die Emissionsszenarios unterscheiden sich deutlich hinsichtlich des Ausmaßes der Temperaturzunahmen ( $A2 > A1B > B1$ ). Für B1 ergibt sich der stärkste Temperaturanstieg im Frühjahr. Mit ansteigenden Treibhausgasemissionen (A2) verstärkt sich die Erwärmung insbesondere während der Sommermonate. Hinsichtlich der Niederschläge ergeben sich für alle Szenarios Niederschlagszunahmen im Herbst und Winter. Im Frühjahr und Sommer variiert das Trendverhalten in Abhängigkeit vom Emissionsszenario: Während für A1B und B1 in diesem Zeitraum teilweise auch Zunahmen zu verzeichnen sind, ist für A2 eine bemerkenswert deutliche Abnahme festzustellen.

### 3.1.3 CGCM 3.1 – Coupled Global Climate Model (medium resolution)

**Modellbetreibende Institution:**

Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (CCCma), Kanada

**Datenquellen/Datensätze:** CERA-Datenbank (DKRZ)

IPCC DDC AR4 CGCM3.1-T47 (med-res) PICNTRL run 1

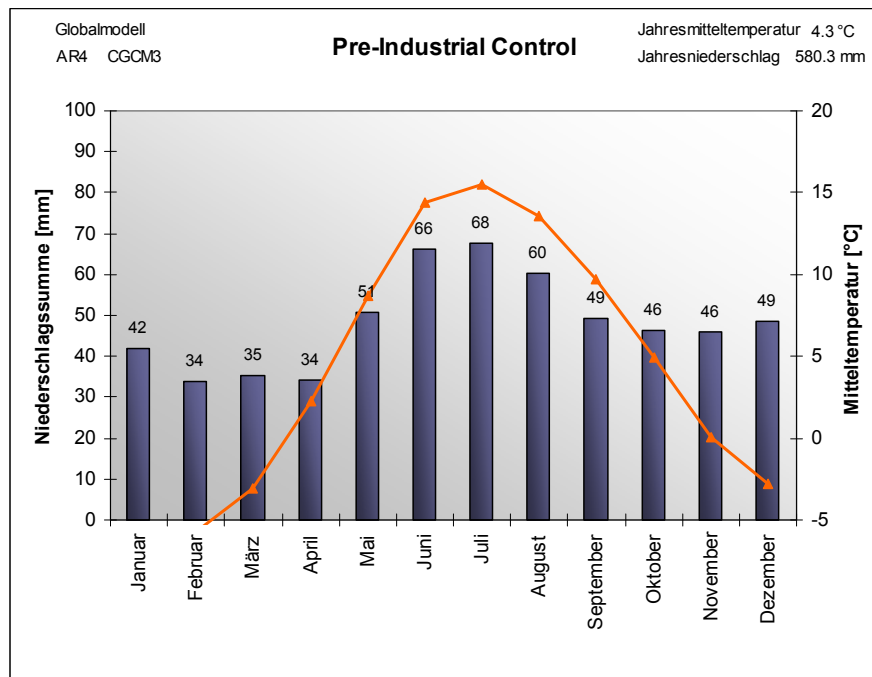
IPCC DDC AR4 CGCM3.1-T47 (med-res) SRESA1B run 1

**Untersuchungsgebiet:** 8-17° ö. L./48-55° n. Br.

**Anzahl der Gitterpunkte:** 4 (2 x 2)



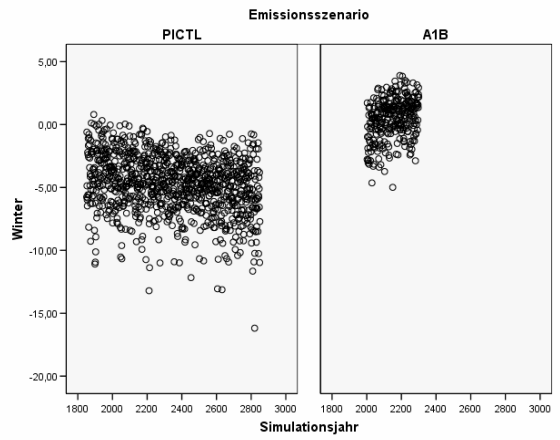
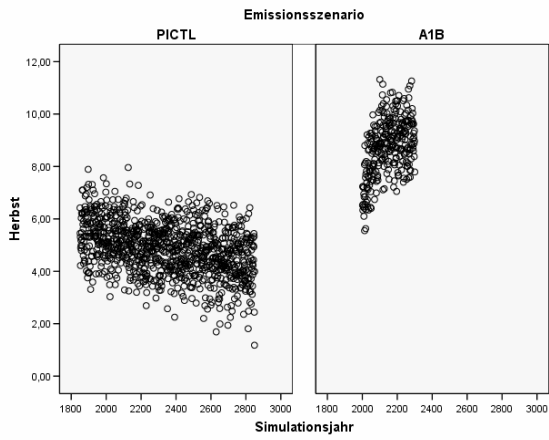
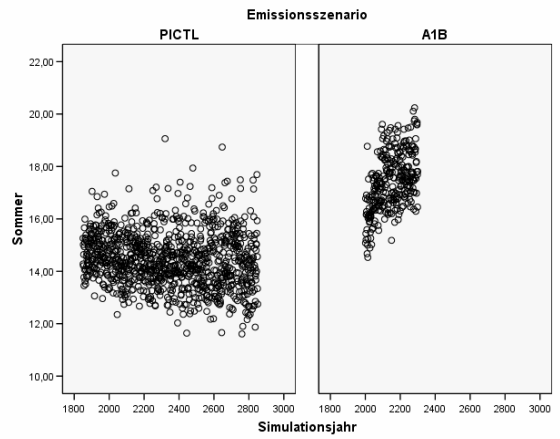
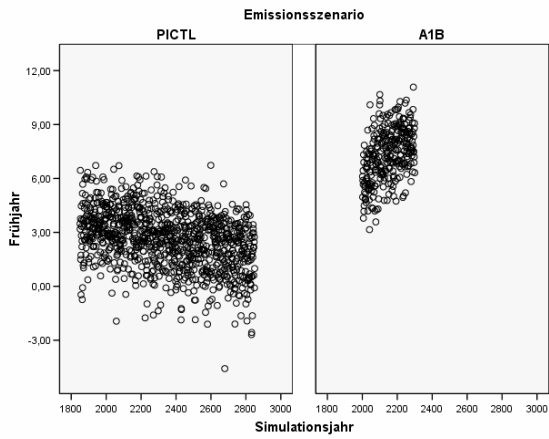
**Statistische Kennzahlen Kontroll-Lauf (PICTL):** für 4 Gitterpunkte x 1.001 Simulationsjahre



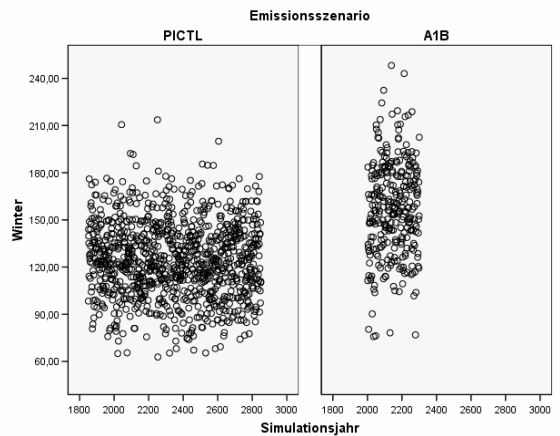
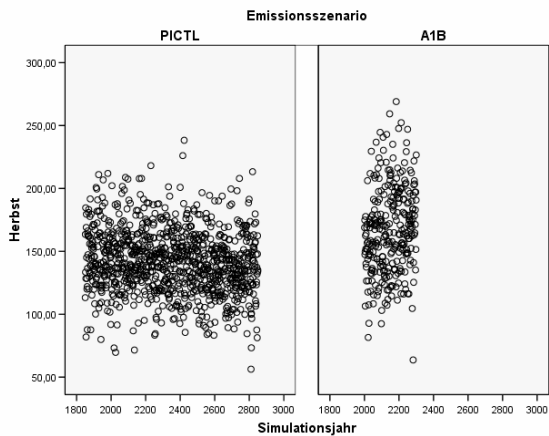
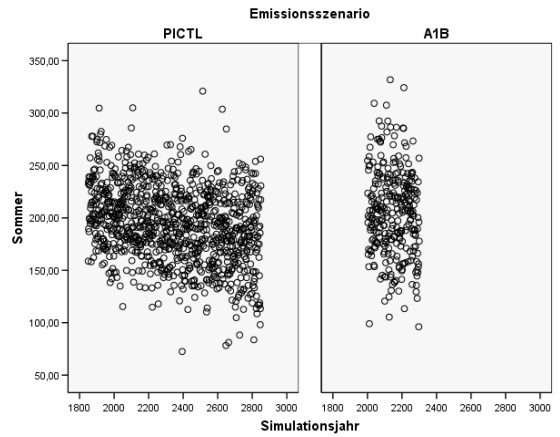
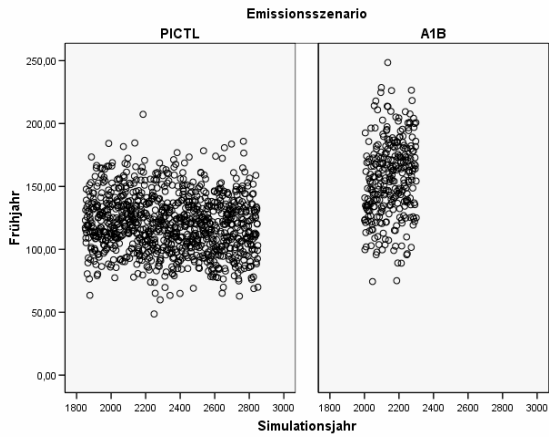
Temperatur	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	FJ	SO	HE	WI
Mittelwert	-5.6	-5.8	-3.1	2.2	8.7	14.4	15.5	13.5	9.7	4.9	0.1	-2.8	4.3	2.6	14.5	4.9	-4.7
Std.abw.	3.6	3.7	3.3	1.6	1.8	1.9	2.0	1.7	1.5	1.7	1.8	2.8	1.2	1.8	1.4	1.2	2.6
Minimum	-21.7	-22.2	-17.2	-6.3	2.3	8.7	9.9	8.4	4.4	-0.5	-9.3	-15.0	0.1	-5.7	10.6	0.1	-18.5
Maximum	2.7	2.9	4.1	8.1	15.9	23.7	23.7	21.9	16.4	11.3	6.0	3.4	7.8	8.1	20.3	9.3	1.6
Spannweite	24.5	25.1	21.2	14.4	13.5	15.0	13.8	13.5	12.0	11.9	15.3	18.5	7.7	13.8	9.8	9.3	20.1
N	4004	4004	4004	4004	4004	4004	4004	4004	4004	4004	4004	4004	4004	4004	4004	4004	4000

Niederschlag	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	FJ	SO	HE	WI
Mittelwert	41.9	33.9	35.1	34.1	50.9	66.2	67.8	60.2	49.3	46.4	45.9	48.6	580.3	120.1	194.2	141.6	124.4
Std.abw.	18.6	16.1	16.7	17.8	24.7	30.7	32.2	27.9	23.5	20.6	20.1	20.7	163.9	43.6	71.4	46.7	39.9
Minimum	5.6	4.1	1.7	3.0	5.6	4.5	7.0	7.1	2.5	3.2	3.9	6.7	268.1	29.1	28.8	43.0	29.7
Maximum	130.8	110.0	113.5	127.5	220.0	225.4	222.1	205.2	204.1	156.7	172.6	146.6	1241.4	311.2	485.3	373.3	298.6
Spannweite	125.1	105.9	111.8	124.5	214.4	220.8	215.1	198.0	201.6	153.6	168.7	139.9	973.3	282.1	456.5	330.3	268.9
N	4004	4004	4004	4004	4004	4004	4004	4004	4004	4004	4004	4004	4004	4004	4004	4004	4000

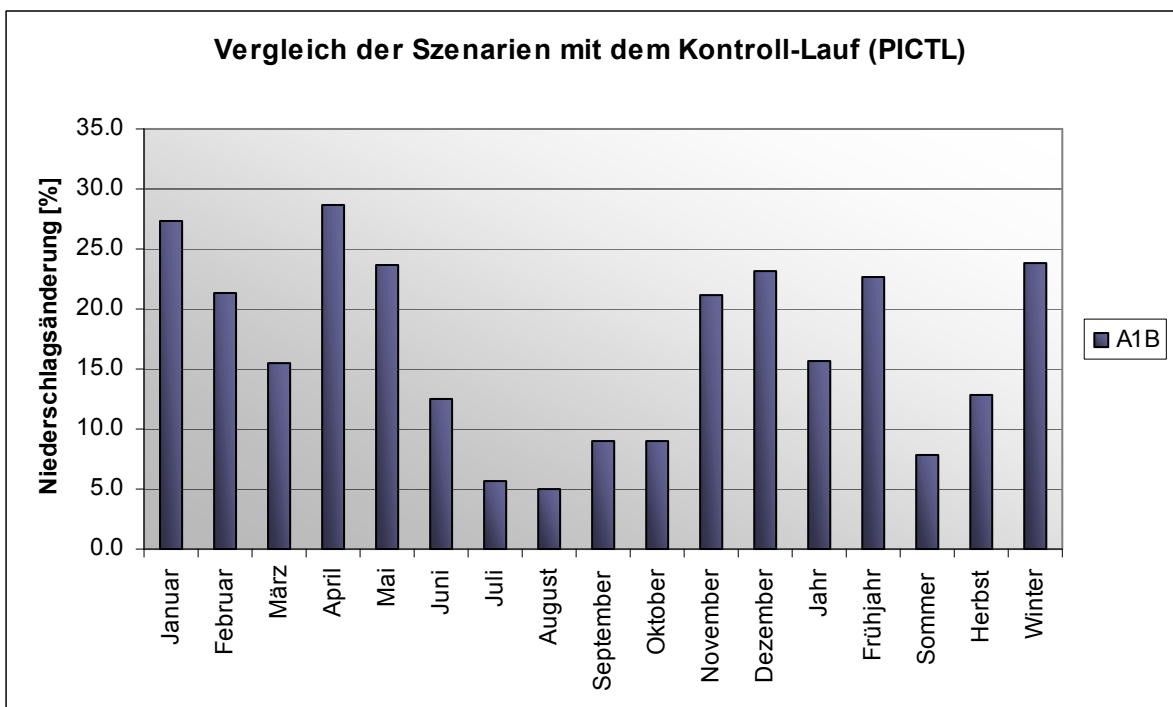
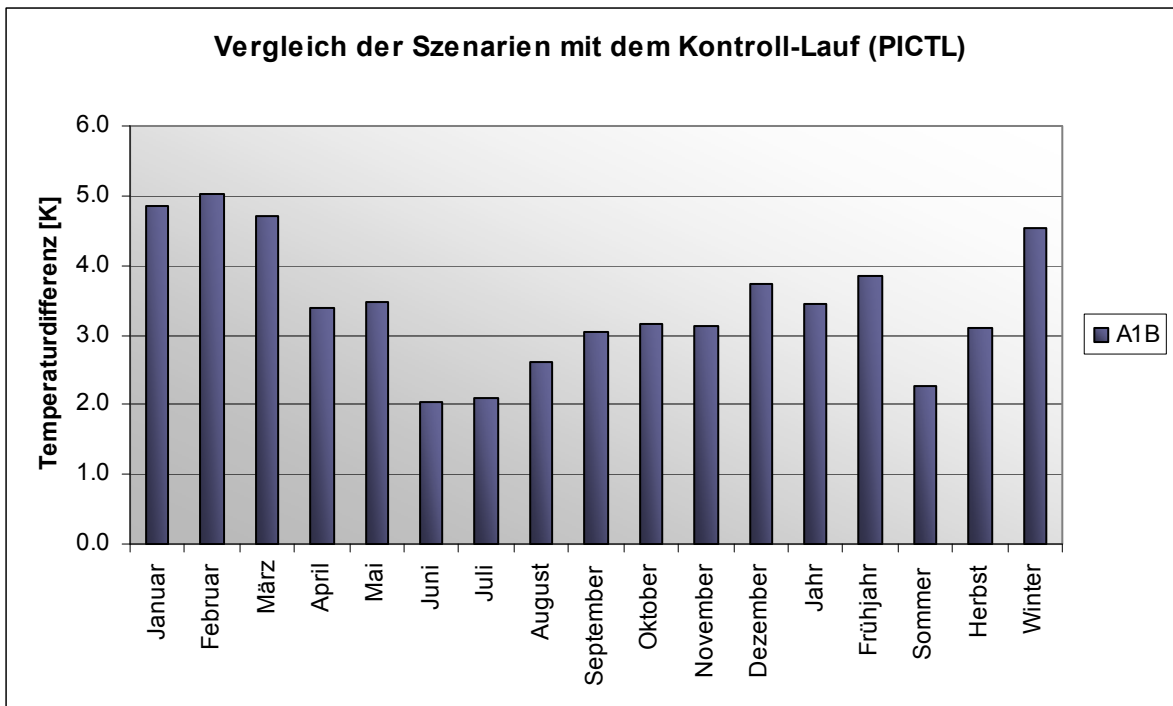
**Projizierter Verlauf der mittleren Temperaturen [°C] im Untersuchungsgebiet:**



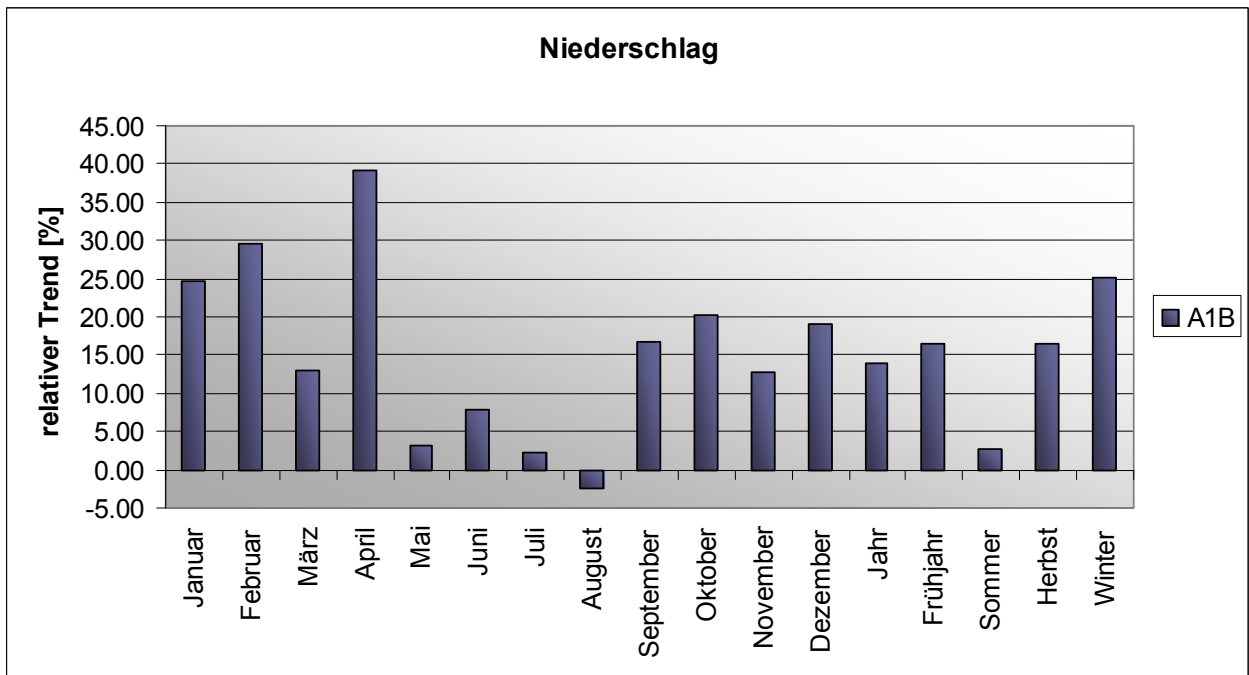
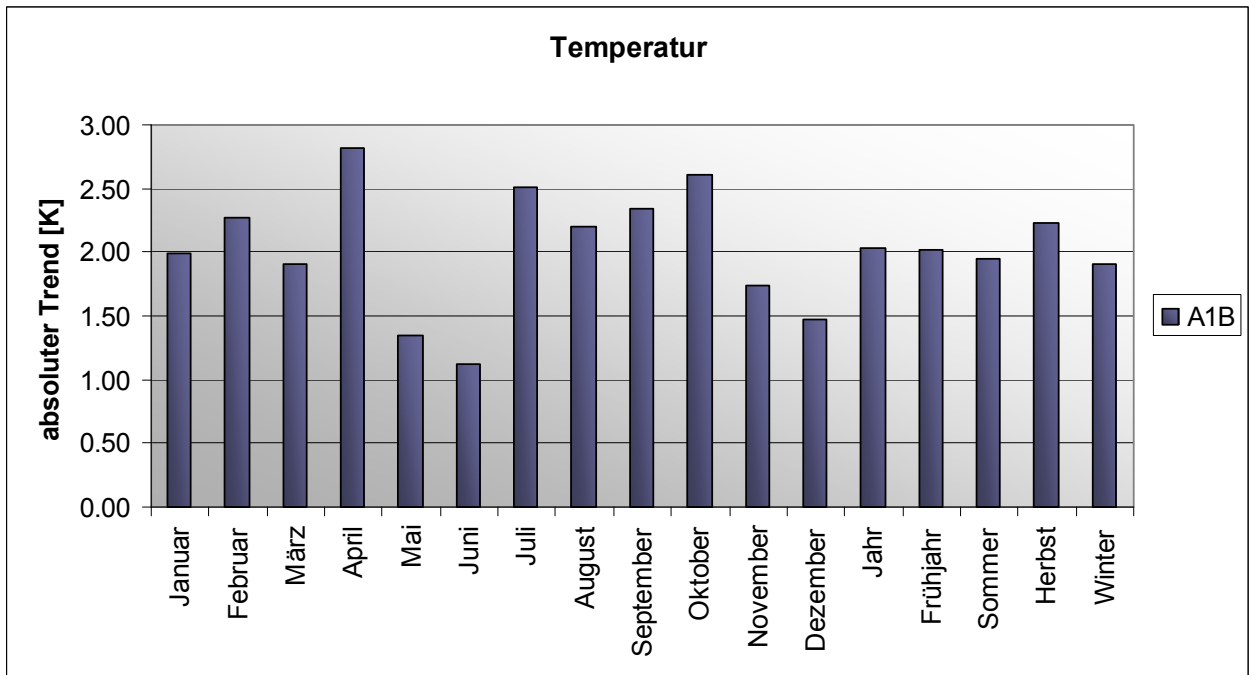
**Projizierter Verlauf der mittleren Niederschlagssummen [mm] im Untersuchungsgebiet:**



Klimaänderungssignale des Modells (Emissionsszenarios im 21. Jahrhundert/Kontroll-Lauf):



**Temperatur- und Niederschlagstrends im 21. Jahrhundert:**





## Trendstatistik CGCM3 A1B

Temperatur	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter
Beginn	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001.00	2002
Ende	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100.00	2100
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100.00	99
Mittelwert	-0.78	-0.76	1.62	5.63	12.19	16.44	17.56	16.14	12.70	8.04	3.20	0.94	7.74	6.48	16.71	7.98	-0.21
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																	
m	0.02	0.02	0.02	0.03	0.01	0.01	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
c	-41.92	-47.87	-38.00	-52.73	-15.60	-6.72	-34.50	-29.41	-35.80	-46.09	-32.81	-29.45	-34.24	-35.44	-23.54	-38.23	-40.09
R <sup>2</sup>	0.08	0.06	0.06	0.16	0.06	0.05	0.29	0.23	0.22	0.23	0.10	0.06	0.41	0.15	0.32	0.36	0.11
absoluter Trend	1.99	2.27	1.91	2.82	1.34	1.12	2.51	2.20	2.34	2.61	1.74	1.47	2.03	2.02	1.94	2.23	1.91
relativer Trend	-256.09	-300.90	118.08	50.03	11.01	6.80	14.32	13.62	18.44	32.50	54.39	156.77	26.18	31.24	11.63	27.96	-910.24
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																	
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	3.20	2.65	2.47	4.32	2.08	1.75	5.59	5.06	4.89	4.63	2.84	2.20	6.84	3.88	5.83	5.97	3.28
Irrtumswahrscheinlichkeit	0.01	0.01	0.05	0.001	0.05	0.1	0.001	0.001	0.001	0.001	0.01	0.05	0.001	0.001	0.001	0.00	0.01
Bewertung	signifikant	signifikant	signifikant	signif.	signifikant	signifikant	signif.	signif.	signif.	hoch signif.	hoch signif.	signifikant	signifikant	signif.	signif.	signif.	signifikant
<b>Niederschlag</b>																	
Beginn	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001.00	2002
Ende	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100.00	2100
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100.00	99
Mittelwert	53.40	41.11	40.60	43.82	62.91	74.46	71.66	63.18	53.67	50.58	55.62	59.86	670.85	147.32	209.30	159.86	154.14
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																	
m	0.13	0.12	0.05	0.17	0.02	0.06	0.02	-0.02	0.09	0.10	0.07	0.11	0.94	0.25	0.06	0.27	0.40
c	-218.58	-210.77	-68.93	-311.19	21.89	-47.72	39.04	95.83	-131.90	-162.42	-91.14	-175.36	-1261.26	-358.23	87.15	-385.46	-658.09
R <sup>2</sup>	0.04	0.06	0.01	0.11	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.04	0.01	0.04	0.16	0.06	0.00	0.06	0.13
absoluter Trend	13.13	12.16	5.29	17.14	1.98	5.90	1.58	-1.58	8.96	10.28	7.09	11.36	93.28	24.41	5.90	26.33	38.81
relativer Trend	24.59	29.58	13.03	39.12	3.15	7.92	2.20	-2.50	16.69	20.33	12.74	18.97	13.91	16.57	2.82	16.47	25.18
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																	
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	negativ	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	1.92	2.82	1.01	3.25	0.27	0.35	0.17	-0.54	1.67	1.64	0.98	1.88	3.87	2.38	0.52	2.37	3.43
Irrtumswahrscheinlichkeit	0.1	0.01		0.01					0.1	0.2		0.1	0.001	0.05		0.05	0.001
Bewertung	signifikant	signifikant	nicht signif.	signifikant	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	signifikant	signif.	nicht signif.	signifikant	signif.	signifikant	nicht signif.	signifikant	signifikant

## **Zusammenfassung:**

### Kontroll-Lauf

Für den Kontroll-Lauf ergibt sich eine Jahresmitteltemperatur von 4,3 °C. Kältester Monat ist der Februar mit -5,8 °C, wärmster Monat der Juli mit 15,5 °C. Der mittlere Jahresniederschlag beträgt 580 mm, wobei sich die räumlich-zeitliche Schwankungsbreite der Jahresniederschläge im Untersuchungsgebiet bzw. Simulationszeitraum von 268 mm bis 1241 mm erstreckt. Der Großteil der Niederschläge entfällt auf den Sommer (194 mm). In den Monaten Februar bis April fallen vergleichsweise geringe Niederschlagssummen (ca. 35 mm pro Monat).

### Klimatrends im 21. Jahrhundert

*A1B - Szenario:* Das Szenario ist durch eine hoch signifikante Zunahme der Jahresmitteltemperatur um 2 K gekennzeichnet. Während die Erwärmungstrends in den einzelnen Jahreszeiten ähnlich ausfallen, ergibt sich bei der Betrachtung der Einzelmonate ein unregelmäßigeres Bild. Der deutlichste Zunahmetrend fällt auf die Monate April (+2,8 K), Juli (+2,5 K) und Oktober (+2,6 K). In den Monaten Mai und Juni ergibt sich ein Zunahmetrend von lediglich 1,3 bzw. 1,1 K.

In allen Jahreszeiten besteht ein Trend zu steigenden Niederschlagssummen (im Jahresmittel + 14 %). Der Zunahmetrend ist im Frühjahr (24 %), Herbst (26 %) und Winter (39 %) deutlich stärker ausgeprägt, als im Sommer (+ 6 %). Im betrachteten Emissionsszenario stellt der August den einzigen Monat mit einem abnehmenden Niederschlagstrend (- 2,5 %) dar.

### 3.1.4 CSIRO-Mk3 – Mark 3 Coupled Climate Model

#### Modellbetreibende Institution:

Commonwealth Scientific & Industrial Research Organisation (CSIRO),  
Australien

**Datenquellen/Datensätze:** CERA-Datenbank (DKRZ)

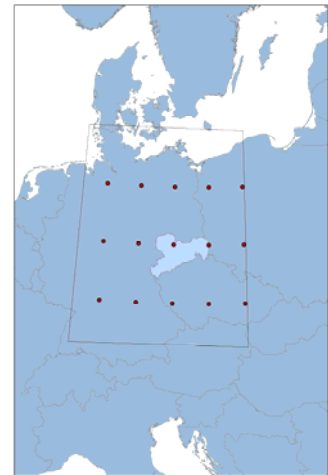
IPCC DDC AR4 CSIRO-Mk3.0 SRES PICNTRL run 1

IPCC DDC AR4 CSIRO-Mk3.0 SRES A2 run 1

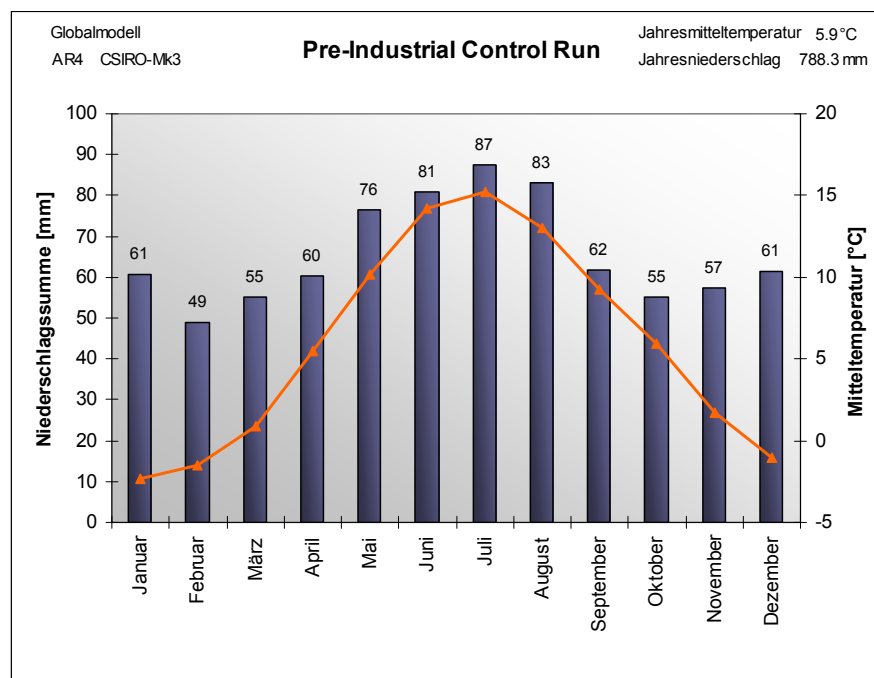
IPCC DDC AR4 CSIRO-Mk3.0 SRES B1 run 1

**Untersuchungsgebiet:** 8-17° ö. L./48-55° n. Br.

**Anzahl der Gitterpunkte:** 15 (5 x 3)



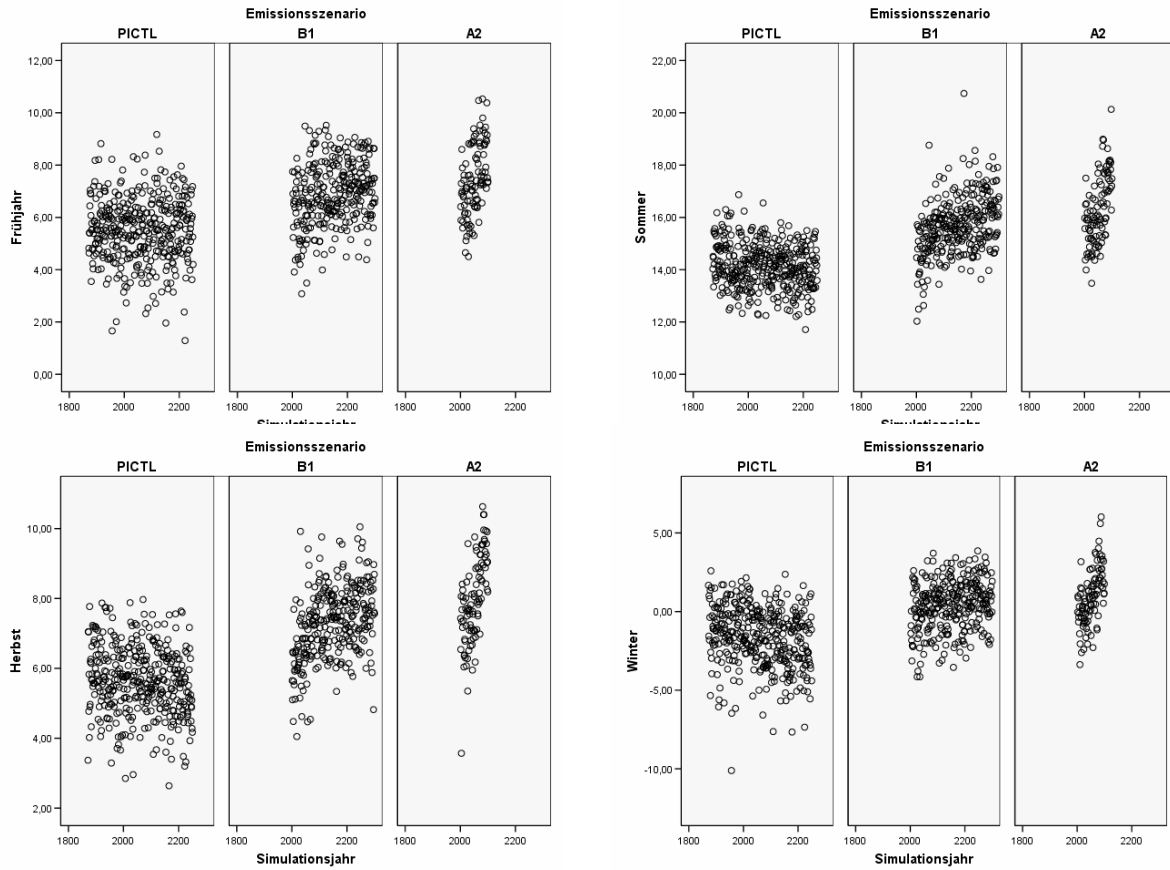
**Statistische Kennzahlen Kontroll-Lauf (PICTL):** für 15 Gitterpunkte x 380 Simulationsjahre



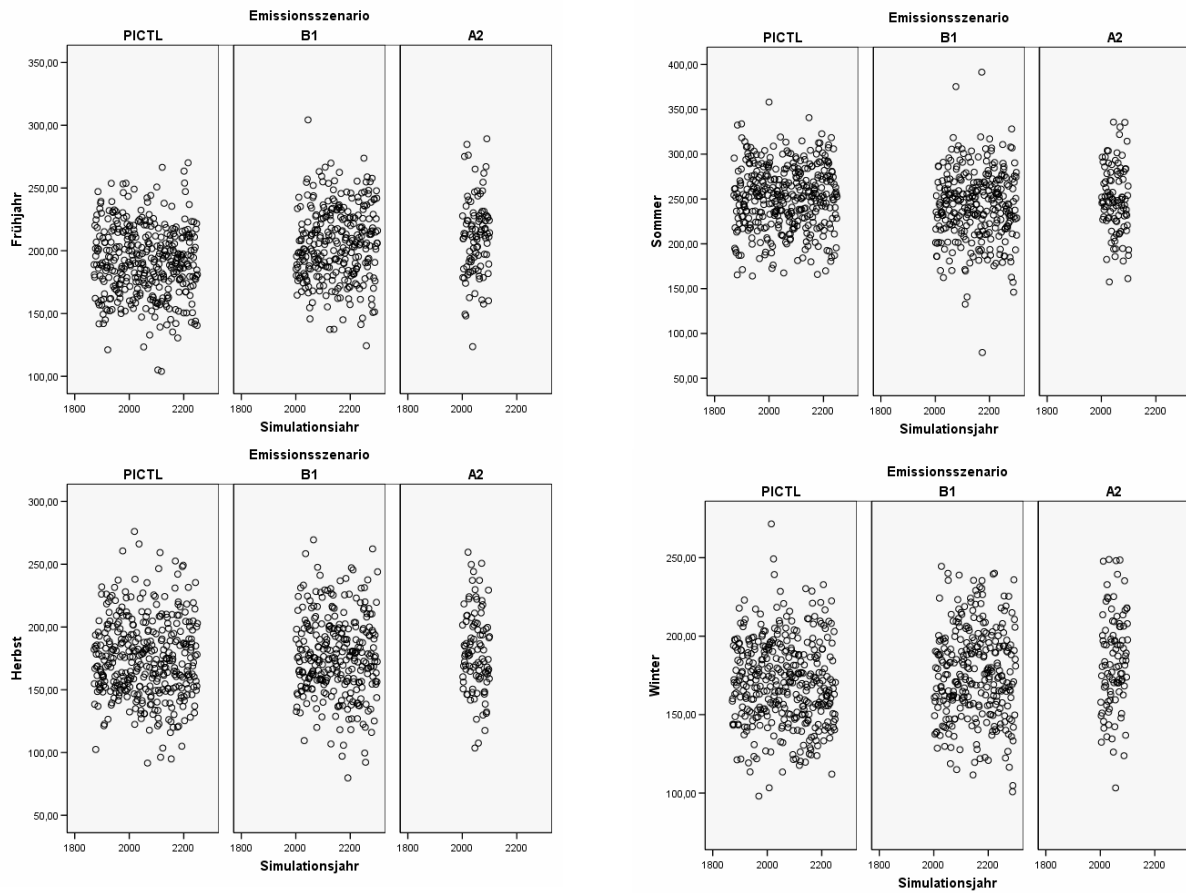
Temperatur	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	FJ	SO	HE	WI
Mittelwert	-2.4	-1.5	0.9	5.5	10.2	14.2	15.2	13.0	9.3	5.9	1.7	-1.0	5.9	5.5	14.1	5.6	-1.6
Std.abw.	3.0	3.0	2.4	1.9	1.6	1.6	1.6	1.4	1.6	1.7	2.1	2.6	1.0	1.4	1.1	1.2	2.2
Minimum	-15.5	-16.5	-10.7	-2.0	4.8	8.7	9.7	8.8	3.8	0.1	-7.2	-12.4	0.8	-0.1	10.9	1.3	-12.6
Maximum	5.2	5.4	8.4	10.9	15.8	19.2	21.8	18.4	15.0	10.7	7.5	5.8	8.7	10.4	18.6	9.2	3.7
Spannweite	20.7	21.8	19.1	12.9	11.0	10.5	12.1	9.7	11.2	10.7	14.6	18.2	7.9	10.5	7.7	7.9	16.3
N	5700	5700	5700	5700	5700	5700	5700	5700	5700	5700	5700	5700	5700	5700	5700	5700	5685

Niederschlag	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	FJ	SO	HE	WI
Mittelwert	60.7	48.8	55.0	60.2	76.4	80.9	87.4	83.2	61.9	55.2	57.3	61.4	788.3	191.6	251.5	174.4	170.7
Std.abw.	22.2	19.4	21.0	22.0	27.7	32.5	32.1	27.8	24.5	23.8	22.1	22.8	149.1	48.7	65.5	46.6	44.4
Minimum	11.8	7.1	7.3	8.0	4.6	0.5	2.1	7.6	7.3	2.3	6.9	8.1	386.8	50.9	56.6	52.5	65.1
Maximum	186.7	151.4	178.1	162.1	195.1	206.6	211.1	241.7	184.2	155.6	173.0	173.5	1339.4	387.0	523.3	359.5	376.7
Spannweite	174.9	144.2	170.8	154.1	190.4	206.0	209.0	234.1	176.9	153.4	166.2	165.4	952.5	336.0	466.7	307.0	311.5
N	5700	5700	5700	5700	5700	5700	5700	5700	5700	5700	5700	5700	5700	5700	5700	5700	5685

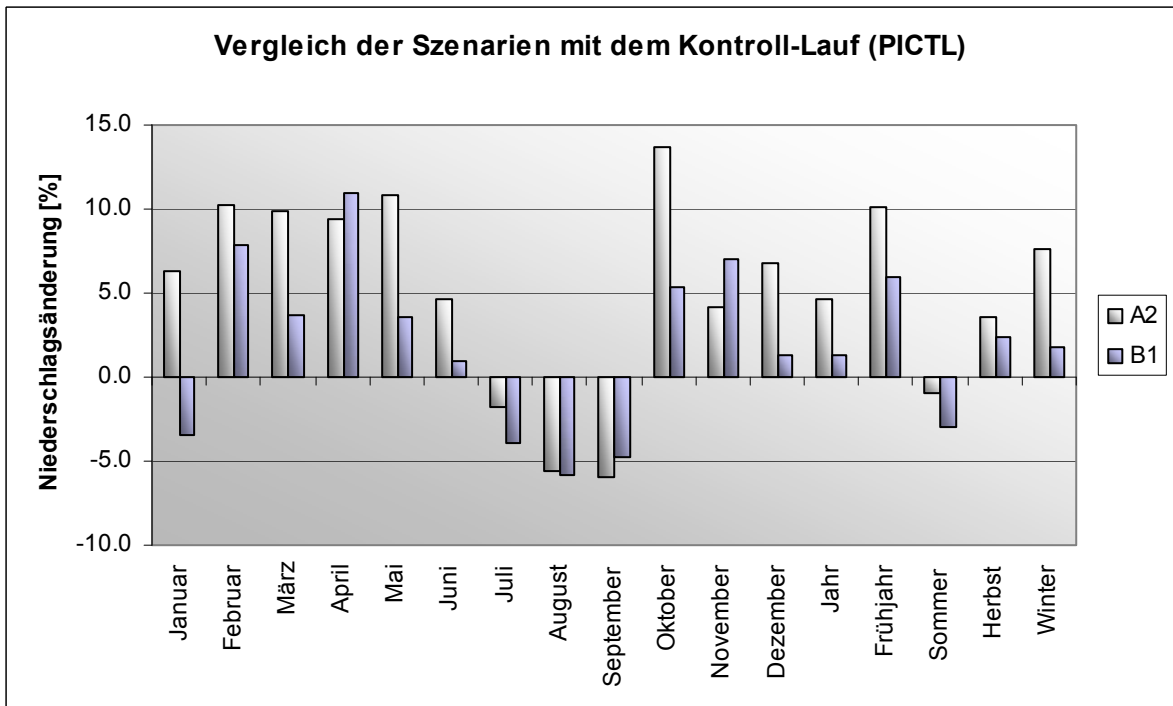
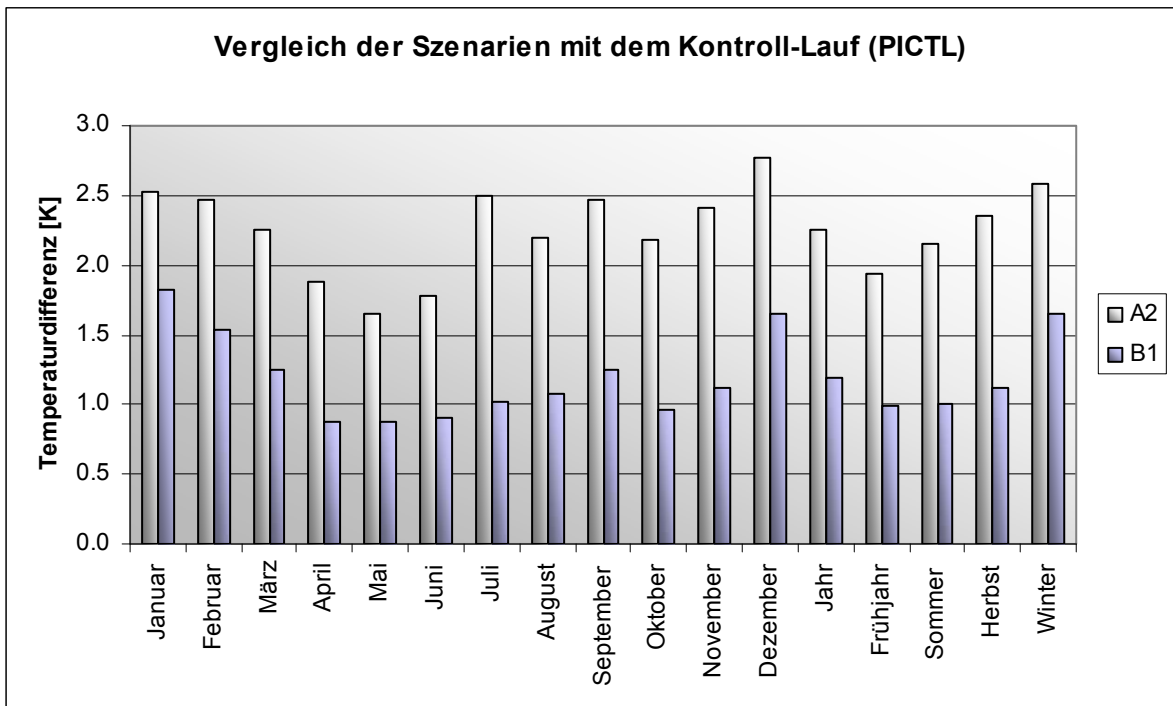
**Projizierter Verlauf der mittleren Temperaturen [°C] im Untersuchungsgebiet:**



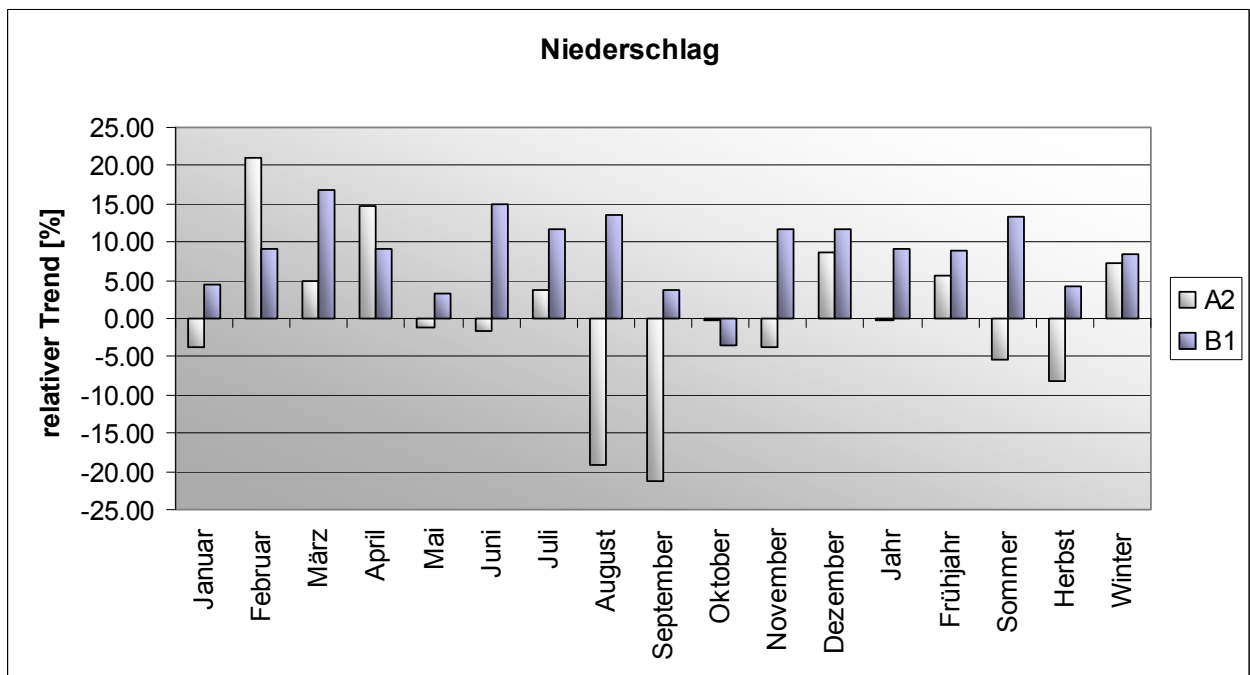
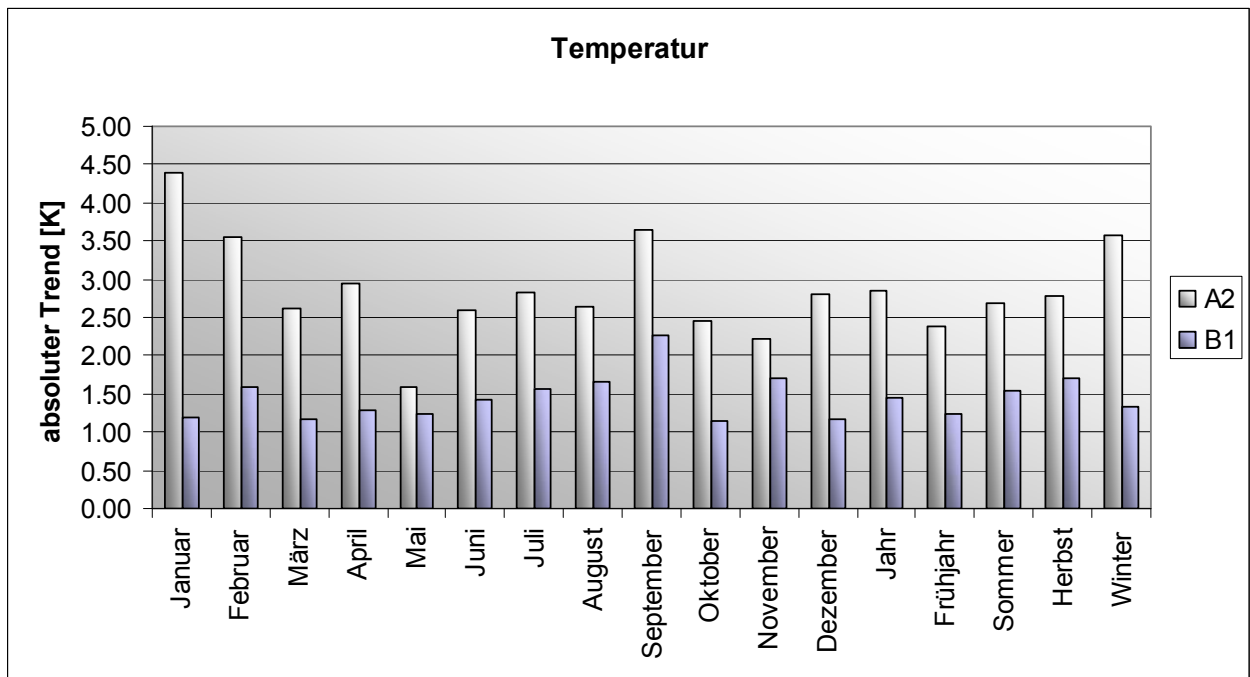
**Projizierter Verlauf der mittleren Niederschlagssummen [mm] im Untersuchungsgebiet:**



Klimaänderungssignale des Modells (Emissionsszenarios im 21. Jahrhundert/Kontroll-Lauf):



**Temperatur- und Niederschlagstrends im 21. Jahrhundert:**



## Trendstatistik

MK3

A2

Temperatur	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter	
Beginn	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2002	
Ende	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	
Mittelwert	0.15	0.96	3.18	7.37	11.82	15.99	17.68	15.22	11.74	8.08	4.14	1.72	8.17	7.46	16.30	7.99	0.94	
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																		
m	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.04	
c	-91.03	-72.84	-51.22	-53.39	-20.93	-37.76	-40.95	-39.27	-63.82	-42.50	-42.02	-56.42	-51.01	-41.85	-39.32	-49.45	-73.65	
R²	0.28	0.14	0.11	0.23	0.12	0.23	0.20	0.28	0.43	0.20	0.11	0.18	0.57	0.27	0.37	0.43	0.35	
absoluter Trend	4.40	3.56	2.63	2.93	1.58	2.60	2.83	2.63	3.65	2.44	2.23	2.81	2.86	2.38	2.69	2.77	3.56	
relativer Trend	2923.93	371.37	82.61	39.81	13.38	16.23	16.01	17.28	31.07	30.22	53.80	163.14	34.97	31.92	16.48	34.71	378.25	
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																		
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	
Mann-Kendall-Trendwert Q	5.73	3.34	3.15	4.65	3.28	4.66	4.15	5.68	7.03	4.28	3.16	4.55	7.93	5.19	6.05	6.70	6.20	
Irrtumswahrscheinlichkeit	0.001	0.001	0.01	0.001	0.01	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.01	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	
Bewertung	hoch signif.	hoch signif.	hoch signifikant	hoch signif.	hoch signifikant	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	
<b>Niederschlag</b>																		
Beginn	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2002	
Ende	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	
Mittelwert	64.50	53.76	60.45	65.83	84.66	84.70	85.78	78.58	58.23	62.75	59.70	65.51	824.43	210.93	249.05	180.68	183.71	
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																		
m	-0.02	0.11	0.03	0.10	-0.01	-0.01	0.03	-0.15	-0.12	0.00	-0.02	0.06	-0.02	0.12	-0.13	-0.15	0.14	
c	113.33	-181.11	-2.15	-135.80	105.96	114.02	18.50	391.69	314.20	66.59	104.89	-51.27	858.85	-31.99	524.21	485.68	-96.29	
R²	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.04	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	
absoluter Trend	-2.36	11.34	3.02	9.73	-1.03	-1.42	3.25	-15.12	-12.36	-0.19	-2.18	5.64	-1.66	11.73	-13.28	-14.73	13.38	
relativer Trend	-3.66	21.09	5.00	14.79	-1.21	-1.67	3.79	-19.24	-21.23	-0.30	-3.65	8.61	-0.20	5.56	-5.33	-8.15	7.28	
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																		
Trendrichtung	negativ	positiv	positiv	positiv	negativ	negativ	positiv	negativ	negativ	positiv	negativ	positiv	positiv	positiv	negativ	negativ	positiv	
Mann-Kendall-Trendwert Q	-0.30	1.87	0.32	2.06	-0.26	-0.38	0.29	-1.78	-1.82	0.13	-0.43	1.15	0.06	1.41	-1.23	-1.17	1.66	
Irrtumswahrscheinlichkeit		0.1		0.05				0.1	0.1					0.2			0.1	
Bewertung	nicht signif.	signifikant	nicht signif.	signifikant	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	signifikant	signifikant	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	schwach signif.	nicht signif.	nicht signif.	signifikant	

## Trendstatistik

MK3

B1

Temperatur	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter	
Beginn	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2002
Ende	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Mittelwert	-0.56	0.04	2.17	6.35	11.04	15.12	16.21	14.11	10.53	6.87	2.86	0.61	7.11	6.52	15.15	6.75	0.01	
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																		
m	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01
c	-25.12	-33.11	-21.94	-20.25	-14.63	-14.24	-16.37	-20.11	-36.17	-16.84	-32.60	-23.59	-22.92	-18.94	-16.91	-28.54	-27.79	
R²	0.02	0.04	0.03	0.04	0.07	0.08	0.07	0.14	0.21	0.04	0.09	0.03	0.29	0.07	0.18	0.22	0.06	
absoluter Trend	1.19	1.60	1.16	1.28	1.24	1.42	1.57	1.65	2.25	1.14	1.71	1.17	1.45	1.23	1.55	1.70	1.33	
relativer Trend	-211.50	4165.82	53.58	20.22	11.23	9.38	9.70	11.71	21.41	16.66	59.95	193.06	20.38	18.85	10.22	25.23	10512.85	
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																		
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	1.29	1.73	1.59	2.14	2.70	2.65	2.62	3.73	4.65	2.29	2.71	1.41	5.71	2.49	4.50	5.49	2.18	
Irrtumswahrscheinlichkeit	0.2	0.1	0.2	0.05	0.01	0.01	0.01	0.001	0.001	0.05	0.01	0.2	0.001	0.05	0.001	0.001	0.05	
Bewertung	schwach signif.	signifikant	schwach signif.	signifikant	signifikant	signifikant	signifikant	hoch signif.	hoch signif.	signifikant	signifikant	signif.	signif.	signifikant	signif.	signif.	signifikant	
<b>Niederschlag</b>																		
Beginn	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2002
Ende	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Mittelwert	58.56	52.60	57.04	66.79	79.17	81.69	83.93	78.34	58.91	58.17	61.37	62.21	798.81	203.00	243.97	178.46	173.84	
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																		
m	0.03	0.05	0.10	0.06	0.03	0.12	0.10	0.11	0.02	-0.02	0.07	0.07	0.74	0.18	0.33	0.07	0.15	
c	3.70	-45.88	-141.33	-58.69	25.91	-170.78	-119.30	-141.30	13.29	99.12	-85.74	-89.04	-710.04	-174.11	-431.38	26.67	-134.61	
R²	0.00	0.01	0.04	0.01	0.00	0.03	0.02	0.02	0.00	0.00	0.01	0.02	0.10	0.04	0.07	0.00	0.02	
absoluter Trend	2.65	4.75	9.58	6.06	2.57	12.19	9.81	10.60	2.20	-1.98	7.10	7.30	72.85	18.21	32.61	7.33	14.74	
relativer Trend	4.52	9.04	16.79	9.07	3.25	14.92	11.69	13.54	3.74	-3.40	11.57	11.74	9.12	8.97	13.37	4.11	8.48	
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																		
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	negativ	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	0.40	0.79	1.78	1.27	0.74	1.49	1.46	1.41	0.23	-0.36	1.62	1.13	3.06	2.01	2.50	0.47	1.62	
Irrtumswahrscheinlichkeit			0.1			0.2	0.2	0.2			0.2		0.01	0.05	0.05			
Bewertung	nicht signif.	nicht signif.	signifikant	nicht signif.	nicht signif.	schwach signif.	schwach signif.	schwach signif.	nicht signif.	nicht signif.	schwach signif.	schwach signif.	nicht signif.	signifikant	signifikant	signifikant	nicht signif.	schwach signif.



## **Zusammenfassung:**

### Kontroll-Lauf

Auf dem pre-industriellen Niveau ergibt sich aus den Modellergebnissen eine Jahresmitteltemperatur von 5,9 °C. Wärmster Monat ist der Juli mit 15,2 °C, kältester Monat ist der Januar (im Mittel -2,4 °C). Im langjährigen Mittel weist das Untersuchungsgebiet einen Jahresniederschlag von 788 mm auf. Die Schwankungsbreite reicht von 387 bis 1.339 mm. Die Niederschlagsmaxima fallen auf die Sommermonate (Juni, Juli und August mit einer mittleren Monatssumme von > 80 mm), in einzelnen Sommermonaten bzw. an einzelnen Rasterpunkten können sehr geringe Niederschlagssummen (< 5 mm) auftreten.

### Klimatrends im 21. Jahrhundert

*A2 - Szenario:* Die Jahresmitteltemperaturen weisen einen hoch signifikanten Zunahmetrend um 2,9 K auf. Von dieser Zunahme am stärksten betroffen sind die Wintermonate Januar (+4,4 K) und Februar (+3,6 K) und somit auch der Winter insgesamt mit +3,6 K. Die Frühjahrsmonate weisen geringere Erwärmungsraten auf (im Mittel +2,4 K), die Zunahmen im Spätsommer und Herbst bewegen sich dazwischen.

Bezüglich der Niederschläge kann ein schwacher Trend zur Niederschlagsabnahme im Sommer (-5 %) und Herbst (-8 %) festgestellt werden, während für das Frühjahr (+6 %) und den Winter (+7 %) leichte Zunahmen zu verzeichnen sind. Die signifikantesten Veränderungen ergeben sich in den Monaten Februar und April (+21 bzw. +15 %) sowie für die Monate August und September (-19 bzw. -21 %).

*B1 – Szenario:* Für das Jahresmittel ergibt sich ein Erwärmungstrend von +1,5 K. Die stärksten Zunahmen entfallen auf den Herbst und hierbei insbesondere den Monat September (+2,3 K).

Im Hinblick auf die Niederschläge in den einzelnen Monaten und Jahreszeiten ist mit Ausnahme des Oktobers (unsignifikante Abnahme um -3 %) generell ein Zunahmetrend zu verzeichnen. Dieser tritt am deutlichsten im Sommer zu Tage (+13 %).

### Vergleichende Beschreibung der Emissionsszenarios

Beim Vergleich der Emissionsszenarios wird der Unterschied hinsichtlich der verschiedenen Erwärmungsgeschwindigkeiten deutlich: Im Szenario A2 fällt der Erwärmungstrend im Mittel doppelt so stark aus wie im Szenario B1. Bei der näheren Betrachtung der Niederschläge kann für das Szenario B1 eine Niederschlagszunahme abgeleitet werden, während sich für das Szenario A2 eine Veränderung der Niederschlagsverteilung in den Jahreszeiten bemerkbar macht. So besteht ein Trend zu abnehmenden Sommer und Herbstniederschlägen bei gleichzeitiger Zunahme der Frühjahrs- und Winter-niederschlagssummen.

### 3.1.5 ECHAM5 – European Centre Hamburg Model

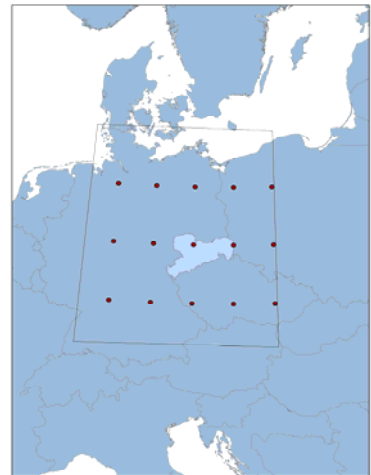
(ECHAM5/MPI-OM)

**Modellbetreibende Institution:**

Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M), Hamburg

**Datenquellen/Datensätze:** CERA-Datenbank (DKRZ)

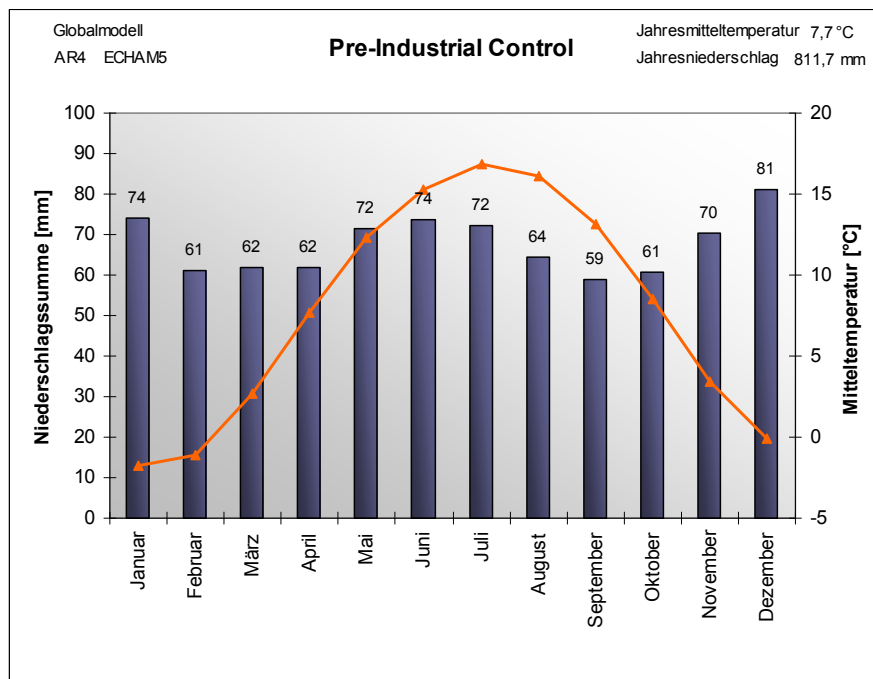
- IPCC DDC AR4 ECHAM5/MPI-OM PICNTRL run 1
- IPCC DDC AR4 ECHAM5/MPI-OM SRESA1B run 1
- IPCC DDC AR4 ECHAM5/MPI-OM SRESA2 run 1
- IPCC DDC AR4 ECHAM5/MPI-OM SRESB1 run 1



**Untersuchungsgebiet:** 8-17° ö. L./48-55° n. Br.

**Anzahl der Gitterpunkte:** 15 (5 x 3)

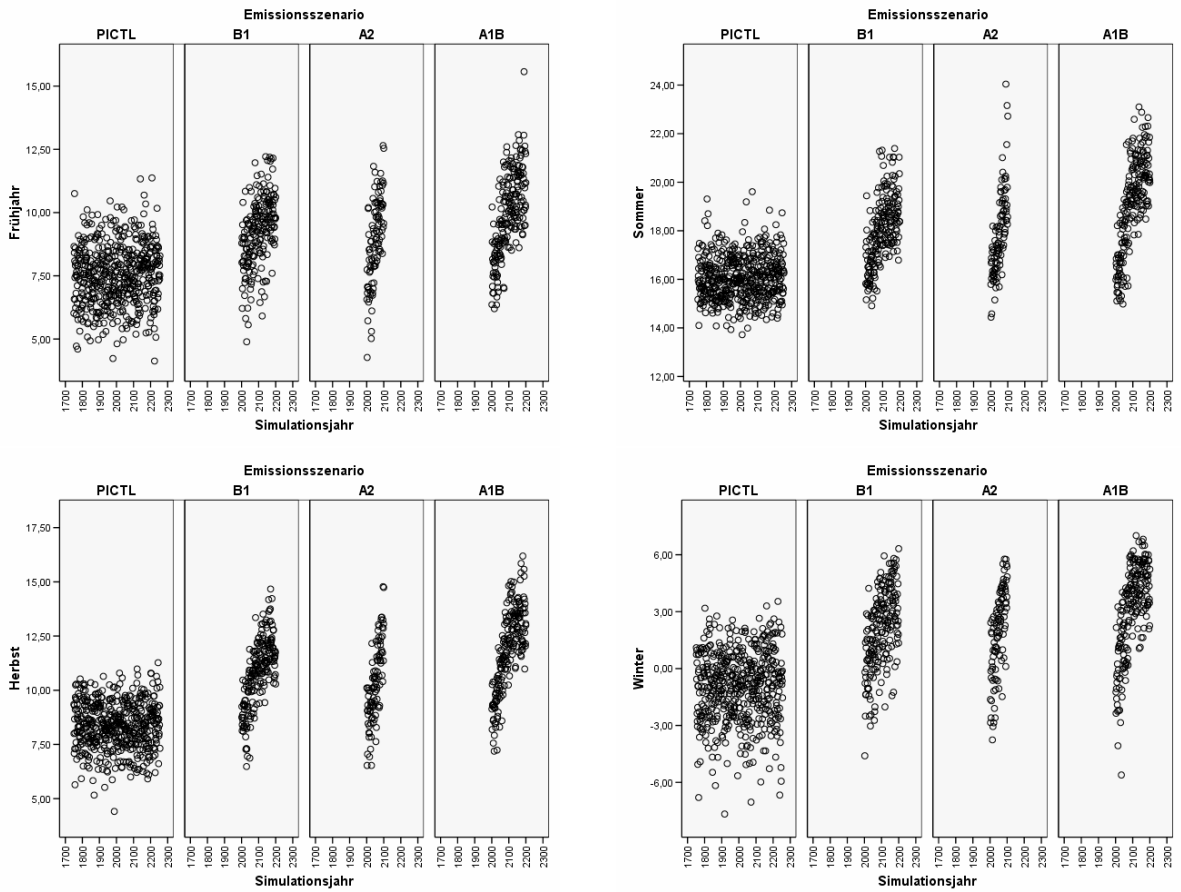
**Statistische Kennzahlen Kontroll-Lauf (PICTL):** für 15 Gitterpunkte x 506 Simulationsjahre



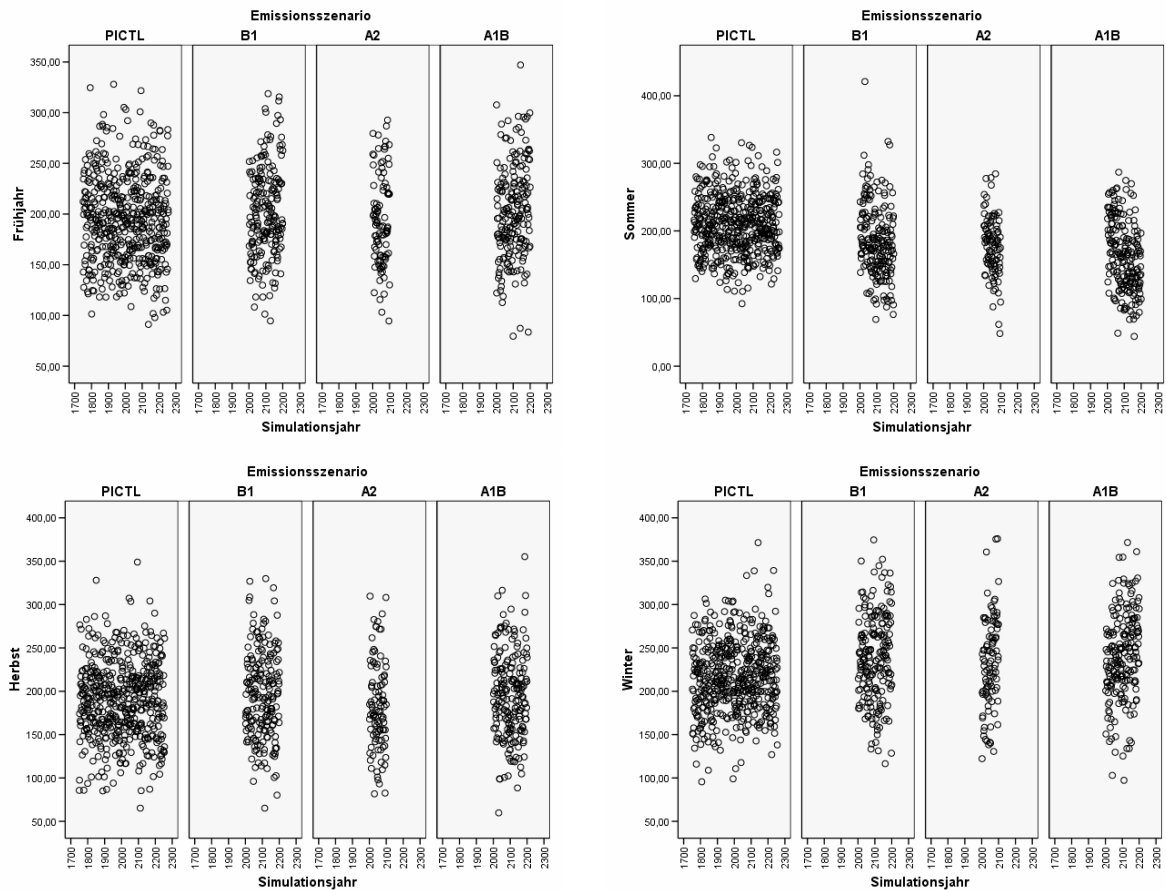
Temperatur	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	FJ	SO	HE	WI
Mittelwert	-1.7	-1.1	2.7	7.7	12.3	15.3	16.8	16.1	13.2	8.5	3.4	-0.1	7.7	7.5	16.1	8.4	-1.0
Std.abw.	3.3	3.1	2.2	2.0	1.8	1.6	1.5	1.5	1.6	1.9	2.3	2.8	1.1	1.4	1.2	1.4	2.1
Minimum	-14.3	-13.1	-7.2	1.1	6.9	9.4	12.1	10.3	8.1	0.7	-7.4	-13.0	4.6	2.9	12.1	2.3	-9.3
Maximum	5.4	6.3	10.4	14.1	18.5	21.5	24.5	22.0	19.2	13.6	9.4	6.8	11.0	12.4	20.7	12.5	4.9
Spannweite	19.7	19.4	17.6	13.1	11.6	12.1	12.4	11.7	11.2	12.9	16.7	19.9	6.4	9.5	8.6	10.2	14.3
N	7590	7590	7590	7590	7590	7590	7590	7590	7590	7590	7590	7590	7590	7590	7590	7590	7575

Niederschlag	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	FJ	SO	HE	WI
Mittelwert	74.1	61.1	61.7	61.7	71.6	73.9	72.2	64.3	58.9	60.8	70.3	81.0	811.7	195.1	210.4	190.1	216.3
Std.abw.	31.9	27.5	30.4	32.5	36.4	35.5	33.2	31.9	32.4	33.2	33.2	34.8	184.6	69.8	67.8	65.4	63.2
Minimum	3.1	3.8	1.3	0.1	1.3	1.7	1.5	1.3	1.0	0.1	0.9	2.0	386.1	30.2	53.5	38.4	51.6
Maximum	277.8	229.9	213.1	215.1	262.6	255.1	245.4	255.6	245.0	233.0	316.6	282.9	1751.9	480.2	530.5	501.8	556.0
Spannweite	274.8	226.1	211.8	215.0	261.2	253.4	243.9	254.3	244.0	232.9	315.7	280.9	1365.9	450.0	477.0	463.4	504.3
N	7590	7590	7590	7590	7590	7590	7590	7590	7590	7590	7590	7590	7590	7590	7590	7590	7575

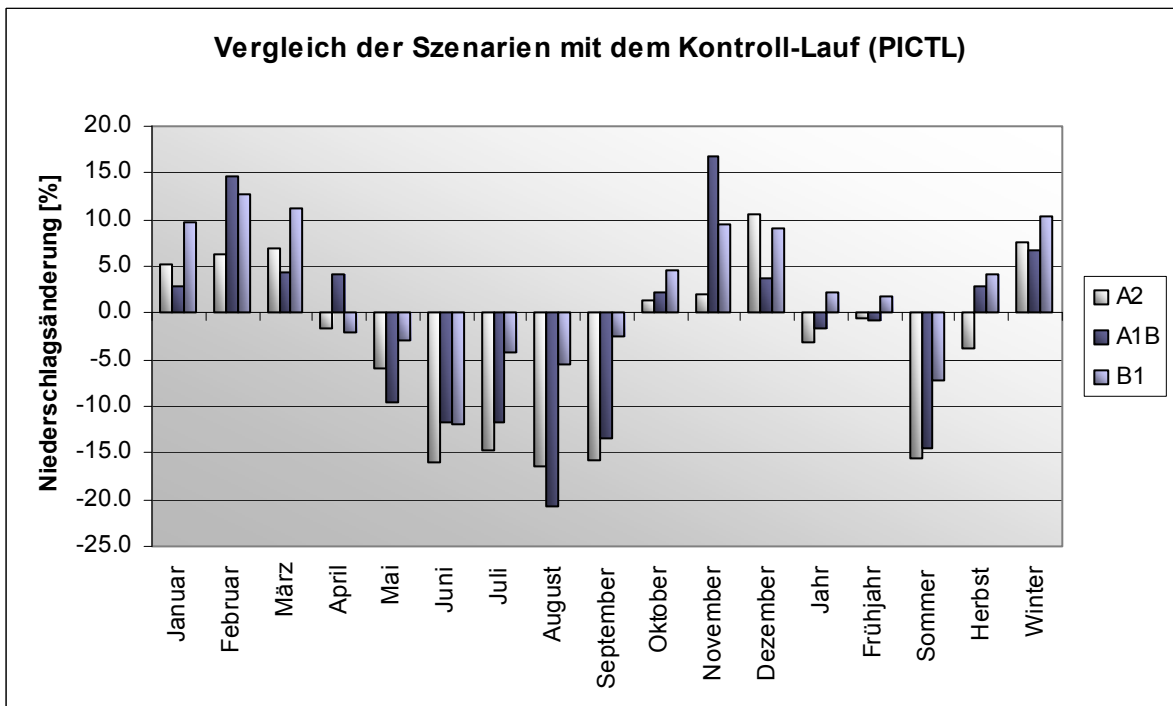
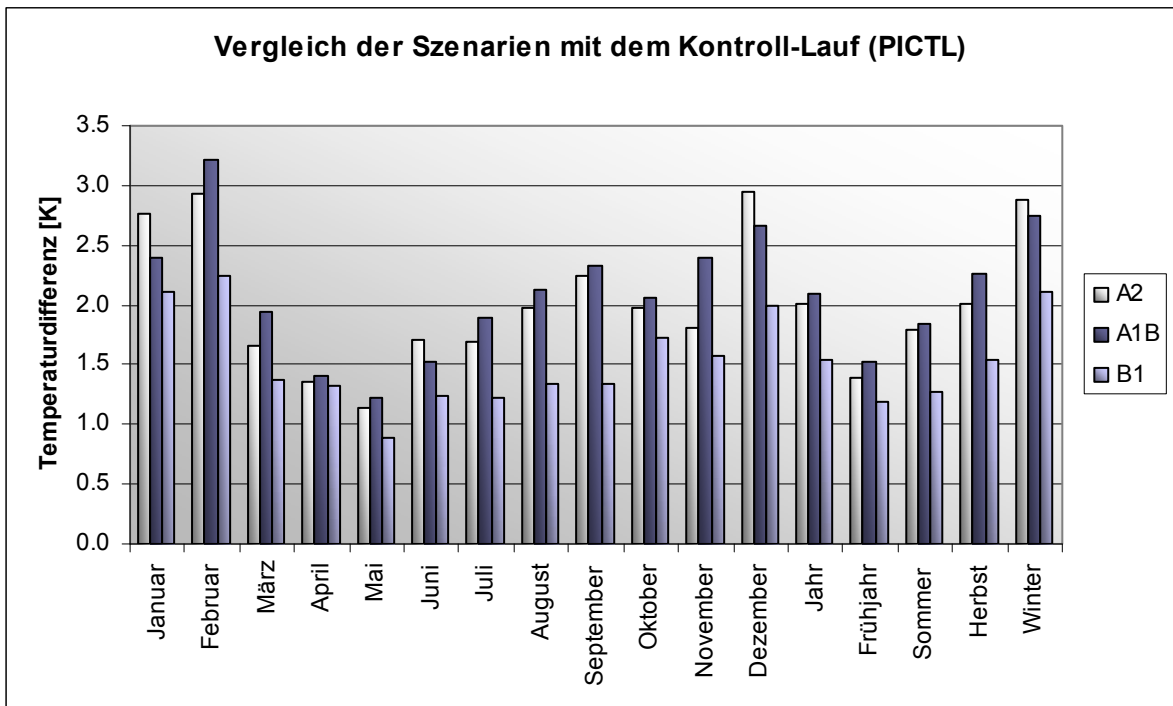
**Projizierter Verlauf der mittleren Temperaturen [°C] im Untersuchungsgebiet:**



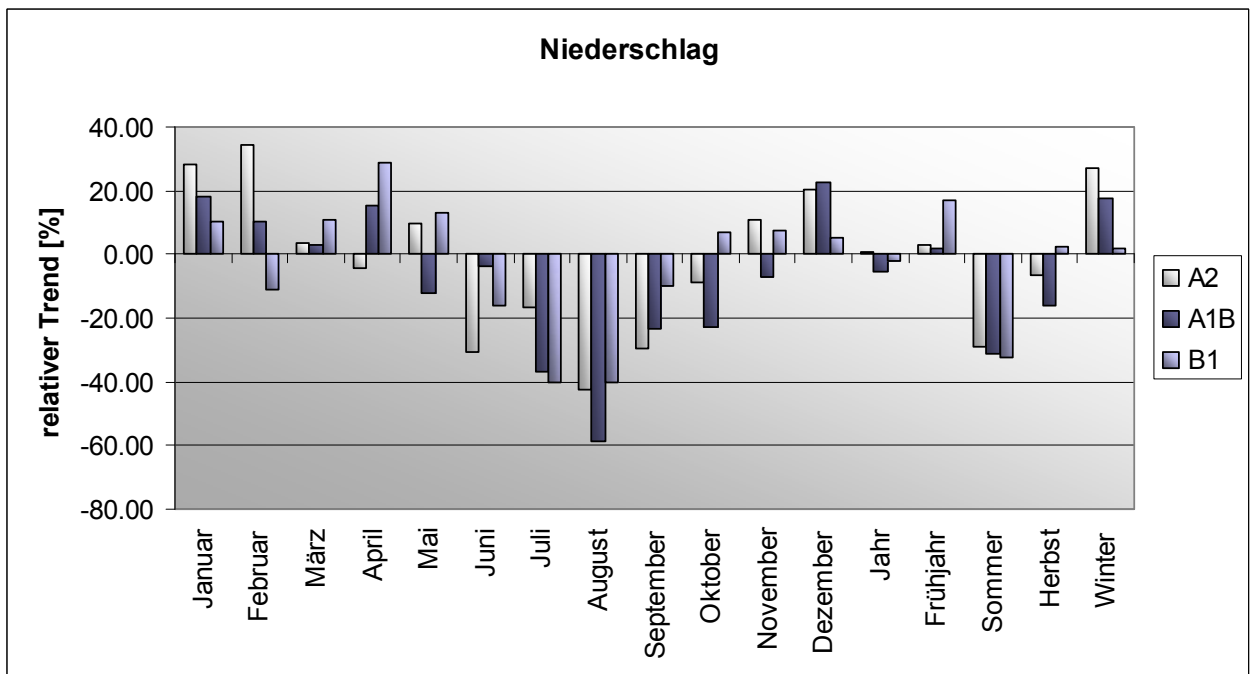
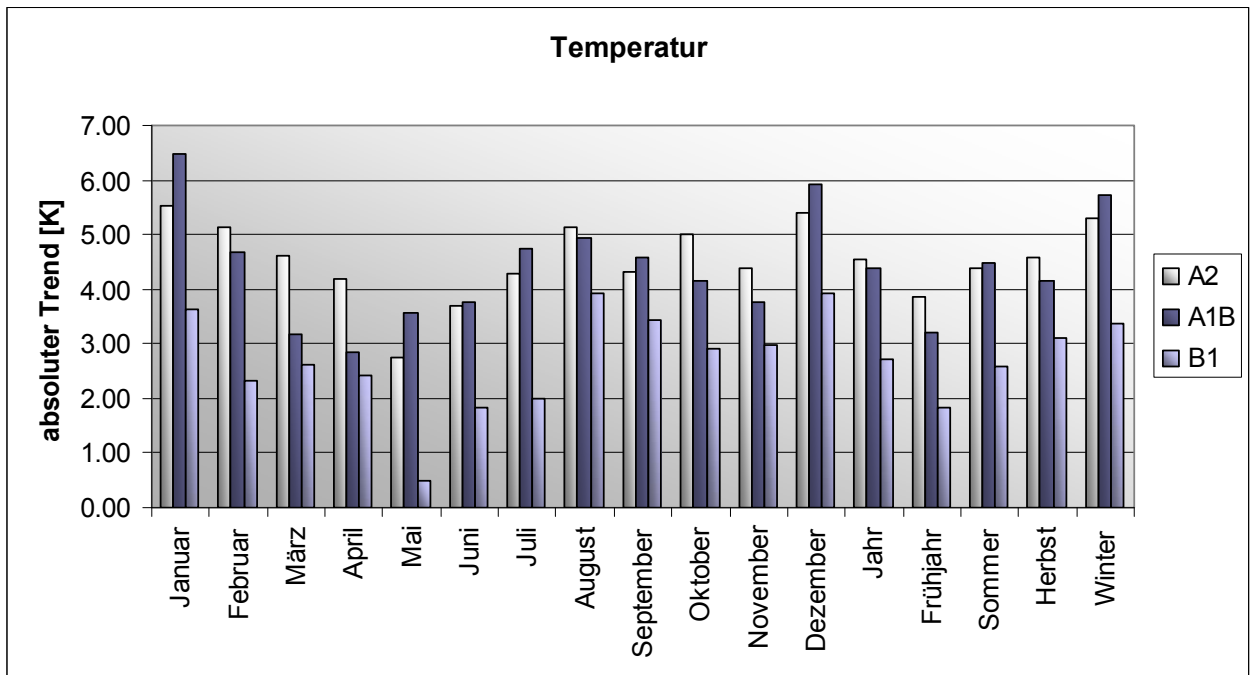
**Projizierter Verlauf der mittleren Niederschlagssummen [mm] im Untersuchungsgebiet:**



Klimaänderungssignale des Modells (Emissionsszenarios im 21. Jahrhundert/Kontroll-Lauf):



Temperatur- und Niederschlagstrends im 21. Jahrhundert:



## Trendstatistik

## ECHAM5 A1B

Temperatur	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter
Beginn	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2002
Ende	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Mittelwert	0.66	2.12	4.59	9.06	13.56	16.79	18.70	18.24	15.48	10.55	5.82	2.53	9.84	9.07	17.91	10.62	1.76
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																	
m	0.07	0.05	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.06	0.04	0.03	0.05	0.04	0.06
c	-133.33	-94.98	-61.45	-49.98	-60.60	-60.86	-79.58	-84.04	-79.62	-75.17	-72.06	-120.24	-80.99	-57.34	-74.83	-75.62	-118.31
R <sup>2</sup>	0.28	0.24	0.22	0.22	0.26	0.40	0.38	0.49	0.42	0.41	0.29	0.36	0.76	0.41	0.57	0.61	0.49
absoluter Trend	6.47	4.69	3.19	2.85	3.58	3.75	4.75	4.94	4.59	4.14	3.76	5.93	4.39	3.21	4.48	4.16	5.74
relativer Trend	984.76	220.97	69.43	31.47	26.41	22.32	25.37	27.07	29.66	39.23	64.64	234.00	44.56	35.36	24.99	39.22	325.98
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																	
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	5.62	5.46	4.58	4.68	5.28	6.74	6.68	7.52	6.65	6.61	5.61	6.51	10.20	6.95	8.36	8.84	7.58
Irrtumswahrscheinlichkeit	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Bewertung	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
Bewertung	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	hoch signif.	hoch signif.	signif.	signif.	hoch signif.	signif.	signif.	signif.	signif.

Niederschlag	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter
Beginn	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2002
Ende	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Mittelwert	76.31	70.02	64.41	64.28	64.77	65.20	63.84	50.99	51.03	62.22	82.14	84.01	799.23	193.46	180.03	195.39	230.64
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																	
m	0.14	0.07	0.02	0.10	-0.08	-0.02	-0.24	-0.30	-0.12	-0.14	-0.06	0.19	-0.44	0.04	-0.56	-0.32	0.41
c	-210.00	-81.62	23.61	-138.57	227.45	112.71	549.68	672.73	298.04	357.84	199.28	-306.97	1704.19	112.49	1335.12	855.16	-604.92
R <sup>2</sup>	0.02	0.01	0.00	0.02	0.01	0.00	0.07	0.13	0.02	0.02	0.00	0.05	0.02	0.00	0.10	0.04	0.07
absoluter Trend	13.82	7.32	1.97	9.79	-7.85	-2.29	-23.46	-30.02	-11.93	-14.27	-5.66	18.88	-43.69	3.91	-55.77	-31.85	39.92
relativer Trend	18.11	10.46	3.06	15.24	-12.13	-3.52	-36.74	-58.87	-23.37	-22.94	-6.88	22.47	-5.47	2.02	-30.98	-16.30	17.31
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																	
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	negativ	negativ	negativ	negativ	negativ	negativ	negativ	positiv	negativ	positiv	negativ	negativ	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	0.94	0.78	0.27	1.23	-1.15	-0.43	-2.79	-3.75	-1.79	-1.61	-0.80	2.05	-1.33	0.50	-3.35	-2.25	2.26
Irrtumswahrscheinlichkeit							0.01	0.001	0.1	0.2	0.05	0.05	0.2	0.001	0.05	0.05	0.05
Bewertung	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	signifikant	hoch signif.	signif.	signifikant	signif.	nicht signif.	schwach signif.	nicht signif.	hoch signif.	signifikant	signifikant

## Trendstatistik ECHAM5 A2

Temperatur	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter
Beginn	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2002
Ende	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Mittelwert	1.02	1.83	4.32	9.01	13.47	16.98	18.50	18.09	15.40	10.47	5.24	2.82	9.76	8.93	17.86	10.37	1.89
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																	
m	0.06	0.05	0.05	0.04	0.03	0.04	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04	0.05	0.05
c	-113.21	-104.43	-91.34	-77.65	-43.15	-59.55	-70.17	-88.22	-74.11	-93.13	-85.72	-108.73	-84.12	-70.72	-72.65	-84.32	-108.96
R <sup>2</sup>	0.31	0.28	0.33	0.30	0.23	0.31	0.48	0.45	0.41	0.46	0.30	0.38	0.74	0.45	0.55	0.56	0.48
absoluter Trend	5.51	5.13	4.62	4.18	2.73	3.69	4.28	5.13	4.32	5.00	4.39	5.39	4.53	3.85	4.37	4.57	5.30
relativer Trend	541.97	280.12	107.03	46.44	20.29	21.76	23.14	28.37	28.07	47.77	83.83	190.81	46.43	43.05	24.47	44.09	279.52
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																	
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	5.70	5.68	6.02	5.39	4.72	5.65	7.47	7.28	6.69	7.48	5.49	6.73	10.14	7.13	8.45	8.18	7.76
Irrtumswahrscheinlichkeit	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Bewertung	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.

Niederschlag	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter
Beginn	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2002
Ende	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Mittelwert	78.07	64.94	66.01	60.69	67.46	62.08	61.61	53.79	49.57	61.60	71.71	89.57	787.10	194.15	177.47	182.88	232.58
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																	
m	0.22	0.23	0.02	-0.03	0.07	-0.19	-0.10	-0.23	-0.15	-0.05	0.08	0.18	0.05	0.06	-0.52	-0.12	0.64
c	-378.05	-400.80	17.94	118.15	-71.94	452.80	271.42	524.81	354.99	171.96	-92.44	-289.58	679.25	64.15	1249.03	434.51	-1078.31
R <sup>2</sup>	0.07	0.09	0.00	0.00	0.01	0.07	0.02	0.05	0.03	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.12	0.00	0.12
absoluter Trend	22.02	22.49	2.32	-2.77	6.73	-18.86	-10.13	-22.74	-14.75	-5.33	7.93	18.31	5.21	6.28	-51.74	-12.15	62.64
relativer Trend	28.21	34.63	3.52	-4.57	9.98	-30.39	-16.44	-42.28	-29.75	-8.65	11.05	20.44	0.66	3.23	-29.15	-6.64	26.93
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																	
Trendrichtung	positiv	positiv	negativ	negativ	positiv	negativ	negativ	negativ	negativ	negativ	positiv	positiv	positiv	positiv	negativ	negativ	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	2.71	3.13	-0.04	-0.52	0.12	-2.62	-1.36	-2.97	-1.77	-0.34	0.60	1.42	0.15	0.18	-3.37	-0.65	3.43
Irrtumswahrscheinlichkeit	0.01	0.01				0.01		0.01	0.1			0.2			0.001		0.001
Bewertung	signifikant	signifikant	signif.	signif.	signif.	signifikant	schwach signif.	signifikant	signifikant	signifikant	signif.	schwach signif.	signif.	signif.	hoch signif.	signif.	hoch signif.

## Trendstatistik ECHAM5 B1

Temperatur	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter	
Beginn	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2002
Ende	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Mittelwert	0.37	1.15	4.02	8.98	13.22	16.52	18.03	17.46	14.49	10.22	4.99	1.87	9.28	8.74	17.34	9.90	1.12	
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																		
m	0.04	0.02	0.03	0.02	0.00	0.02	0.02	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03
c	-74.91	-47.24	-49.88	-41.07	3.00	-21.17	-23.42	-63.73	-56.54	-50.30	-56.52	-79.32	-46.76	-29.32	-36.11	-54.45	-69.23	
R <sup>2</sup>	0.16	0.06	0.18	0.12	0.01	0.12	0.15	0.37	0.37	0.27	0.17	0.17	0.55	0.17	0.33	0.44	0.25	
absoluter Trend	3.63	2.34	2.60	2.42	0.49	1.82	2.00	3.92	3.43	2.92	2.97	3.92	2.71	1.84	2.58	3.11	3.36	
relativer Trend	972.08	202.87	64.73	26.92	3.73	11.02	11.10	22.45	23.67	28.58	59.48	209.79	29.16	21.03	14.88	31.38	300.60	
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																		
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	4.27	3.06	4.15	3.49	0.80	3.58	3.95	6.45	6.15	5.36	4.19	4.05	8.11	4.43	6.18	7.34	5.12	
Irrtumswahrscheinlichkeit	0.001	0.01	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Bewertung	hoch signif.	hoch signifikant	hoch signif.	hoch signif.	nicht signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.

Niederschlag	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter	
Beginn	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2002	
Ende	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	
Mittelwert	81.31	68.86	68.62	60.43	69.46	65.09	69.25	60.73	57.45	63.64	76.95	88.32	830.11	198.51	195.07	198.04	238.81	
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																		
m	0.09	-0.08	0.08	0.18	0.09	-0.11	-0.28	-0.25	-0.06	0.04	0.06	0.05	-0.18	0.34	-0.63	0.05	0.05	
c	-96.50	228.00	-89.05	-298.85	-119.13	281.89	645.23	563.42	173.89	-26.56	-42.51	-12.31	1207.53	-507.02	1490.54	104.82	146.34	
R <sup>2</sup>	0.01	0.01	0.01	0.05	0.01	0.01	0.08	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.11	0.00	0.00	
absoluter Trend	8.58	-7.68	7.61	17.35	9.11	-10.47	-27.81	-24.27	-5.62	4.36	5.77	4.86	-18.22	34.06	-62.55	4.50	4.42	
relativer Trend	10.56	-11.16	11.09	28.71	13.11	-16.08	-40.16	-39.97	-9.78	6.84	7.50	5.50	-2.20	17.16	-32.06	2.27	1.85	
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																		
Trendrichtung	positiv	negativ	positiv	positiv	positiv	negativ	negativ	negativ	negativ	positiv	positiv	positiv	negativ	positiv	negativ	positiv	positiv	
Mann-Kendall-Trendwert Q	0.66	-0.80	0.35	2.33	1.15	-1.09	-3.00	-2.33	-0.64	0.41	0.62	0.19	-0.26	2.44	-3.06	0.59	0.24	
Irrtumswahrscheinlichkeit			0.05				0.01	0.05						0.05	0.01			
Bewertung	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	signifikant	nicht signif.	nicht signif.	signifikant	signifikant	signifikant	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	signifikant	signifikant	nicht signif.	nicht signif.



## **Zusammenfassung:**

### Kontroll-Lauf

Die Jahresmitteltemperatur des Untersuchungsgebietes beträgt 7,7 °C. Kältester Monat ist der Januar mit -1,7 °C, die höchsten Monatsmitteltemperaturen treten im Juli auf (Mittelwert 16,8 °C, Maximum 24,5 °C).

Aus dem Modell ergibt sich eine mittlere Jahresniederschlagssumme von 812 mm. An den einzelnen Gitterpunkten bzw. in den Einzeljahren schwankt diese zwischen 386 und 1.752 mm. Im Jahresverlauf fallen die größten Anteile des Niederschlags im Winter (216 mm) gefolgt vom Sommer (210 mm). Insbesondere die Monate November bis Januar sowie Mai bis Juli bringen vergleichsweise hohe Niederschläge (>70 mm) mit sich. Feuchtester Monat ist der Dezember mit einer mittleren Niederschlagssumme von 81 mm. Sehr trockene Monate (0 - 4 mm) können an den Gitterpunkten bzw. in den Einzeljahren im gesamten Jahresverlauf auftreten.

### Klimatrends im 21. Jahrhundert

*A1B – Szenario:* In diesem Szenario beträgt der Erwärmungstrend im Jahresmittel +4,4 K. Besonders stark betroffen ist der Winter mit einer Zunahme von +5,7 K, insbesondere aufgrund der starken Erwärmungstrends der Monate Dezember (+5,9 K) und Januar (+6,5 K). Die geringsten Temperaturzunahmen sind in den Übergangsjahreszeiten zu verzeichnen, hier vor allem in den Monaten März (+3,2 K), April (+2,9 K), Mai (+3,6 K) und November (+3,8 K).

Hinsichtlich der Niederschlagsentwicklung ist ein schwach signifikanter Abnahmetrend um 5 % festzustellen. Wesentliche Ursache hierfür sind die deutlich zurückgehenden Sommerniederschläge (hoch signifikante Abnahme um 31 %), vor allem in den Monaten Juli (-37 %) und August (-59 %) sowie eine signifikante Abnahme der Niederschläge im September und Oktober um jeweils 23 % (signifikanter Trend im Herbst: -16 %). Der bereits genannte, vergleichsweise schwach ausgeprägte Abnahmetrend der Jahresniederschlagssumme ist durch den Gegensatz von stark rückläufigen Sommer- und Herbstniederschlägen und einem signifikanten Zunahmetrend im Winter (+17 %) zu erklären.

*A2 – Szenario:* Für die Jahresmitteltemperatur ist ein Temperaturzunahmetrend von 4,5 K zu verzeichnen. Die Trendentwicklung der Temperaturen unterscheidet sich in der jahreszeitlichen Verteilung nur unwesentlich von der bereits für das A1B-Szenario beschriebenen und soll an dieser Stelle nicht noch einmal ausführlich umschrieben werden. Zusammengefasst sind die stärksten Erwärmungsraten im Winter (+5,3 K) zu verzeichnen, gefolgt von Herbst (+4,6 K) und Sommer (+4,4 K). Im Frühjahr (3,9 K) und vor allem im Mai (+2,7 K) fällt die Temperaturzunahme schwächer aus.

Für die Jahresniederschlagssumme ist kein wesentliches Trendverhalten zu verzeichnen. Allerdings ist hier ebenfalls eine Umverteilung der Niederschläge im Jahresverlauf festzustellen. Während die Winterniederschläge um 27 % zunehmen, weisen die Sommerniederschläge einen hoch signifikanten Trend zu rückläufigen Niederschlägen auf (-29 %). Auffällig ist auch hier die durchgehende Aneinanderreihung von (jedoch nicht immer signifikanten) Abnahmetrends im Sommer und Herbst, insbesondere im Zeitraum Juni bis Oktober. In diesem Zeitraum fallen vor allem die Monate Juni (-30 %), August (-42 %) und September (-30 %) durch deutliche Abnahmen auf.

*B1 – Szenario:* Im Hinblick auf die Jahresmitteltemperatur ergibt sich ein Erwärmungstrend von 2,7 K. Besonders betroffen sind der Herbst (+3,1 K) und der Winter (+3,4 K), hier insbesondere die Monate September (+3,4 K), Dezember (+3,9 K) und Januar (+3,6 K). Auch der Monat August weist mit +3,9 K einen deutlichen Zunahmetrend auf. Der restliche Sommer (Juni +1,8 K, Juli +2 K) und besonders das Frühjahr sind mit lediglich +1,8 K weniger stark von der Erwärmung betroffen. Für den Monat Mai kann kein signifikantes Trendverhalten festgestellt werden.

Signifikant abnehmenden Sommerniederschlägen (-32 %) stehen ebenso signifikant zunehmende Frühjahrsniederschläge (+17 %) gegenüber. Der stärkste Anteil des sommerlichen Abnahmetrends fällt auf die Monate Juli und August mit jeweils -40 %. Zu bemerkenswerten Zunahmen hingegen kommt es im Monat April mit +29 %.

#### Vergleichende Beschreibung der Emissionsszenarios

Die ermittelten Trends der Emissionsszenarios können wie folgt verallgemeinert werden:

Am stärksten vollzieht sich die Erwärmung im Winter. Sommer und Herbst erwärmen sich in etwa gleich stark, es bestehen geringfügige Unterschiede in den Emissionsszenarios (A1B: Temperaturzunahme Sommer > Herbst, sonst Herbst > Sommer). Das Frühjahr ist in allen Emissionsszenarios am wenigsten von der Erwärmung betroffen.

Bei der Betrachtung des Trendverhaltens der Einzelmonate zeigt sich, dass die höchsten Erwärmungsraten in den Wintermonaten Dezember und Januar des Szenarios A1B erreicht werden. Im Gegensatz dazu übersteigen die Temperaturzunahmetrends des Szenarios A2 die von A1B in den (Übergangs-) Monaten Februar, März, April sowie im Oktober und November. Für alle Szenarios kann der besonders starke Erwärmungstrend im Dezember, Januar und im August hervorgehoben werden.

Hinsichtlich des Niederschlagsverhaltens ergibt sich in allen Emissionsszenarios eine signifikante Abnahme der Sommerniederschläge. Dies betrifft insbesondere die Monate Juli, August und auch September. Im Winter ist im Allgemeinen ein Niederschlagszunahmetrend zu verzeichnen. Während dieser Trend in den Szenarios A2 und A1B vergleichsweise deutlich erkennbar ist, so ergibt sich für B1 ein eher indifferentes Bild. In den einzelnen Monaten der Übergangsjahreszeiten sind ebenfalls teilweise gegenläufige Entwicklungen erkennbar.

### 3.1.6 ECHO-G (ECHAM4 + HOPE-G)

**Modellbetreibende Institution:**

Meteorologisches Institut der Universität Bonn, Deutschland; Meteorological Administration (KMA), Korea; Modelle & Daten Gruppe (MPI), Deutschland



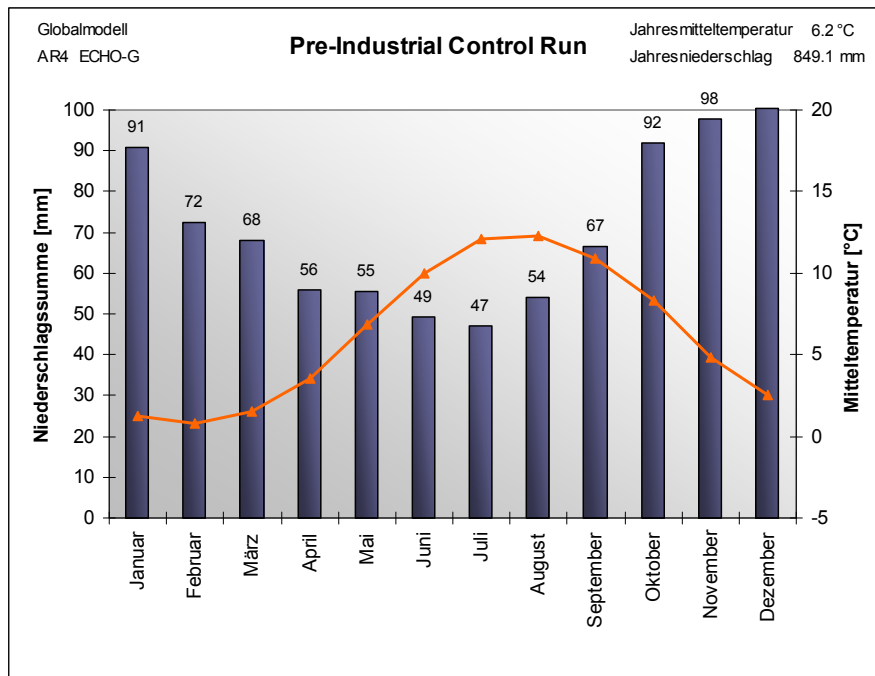
**Datenquellen/Datensätze:** CERA-Datenbank (DKRZ)

- IPCC DDC AR4 ECHO-G PICNTRL run 1
- IPCC DDC AR4 ECHO-G SRESA1B run 1
- IPCC DDC AR4 ECHO-G SRESA2 run 1

**Untersuchungsgebiet:** 8-17° ö. L./48-55° n. Br.

**Anzahl der Gitterpunkte:** 4 (2 x 2)

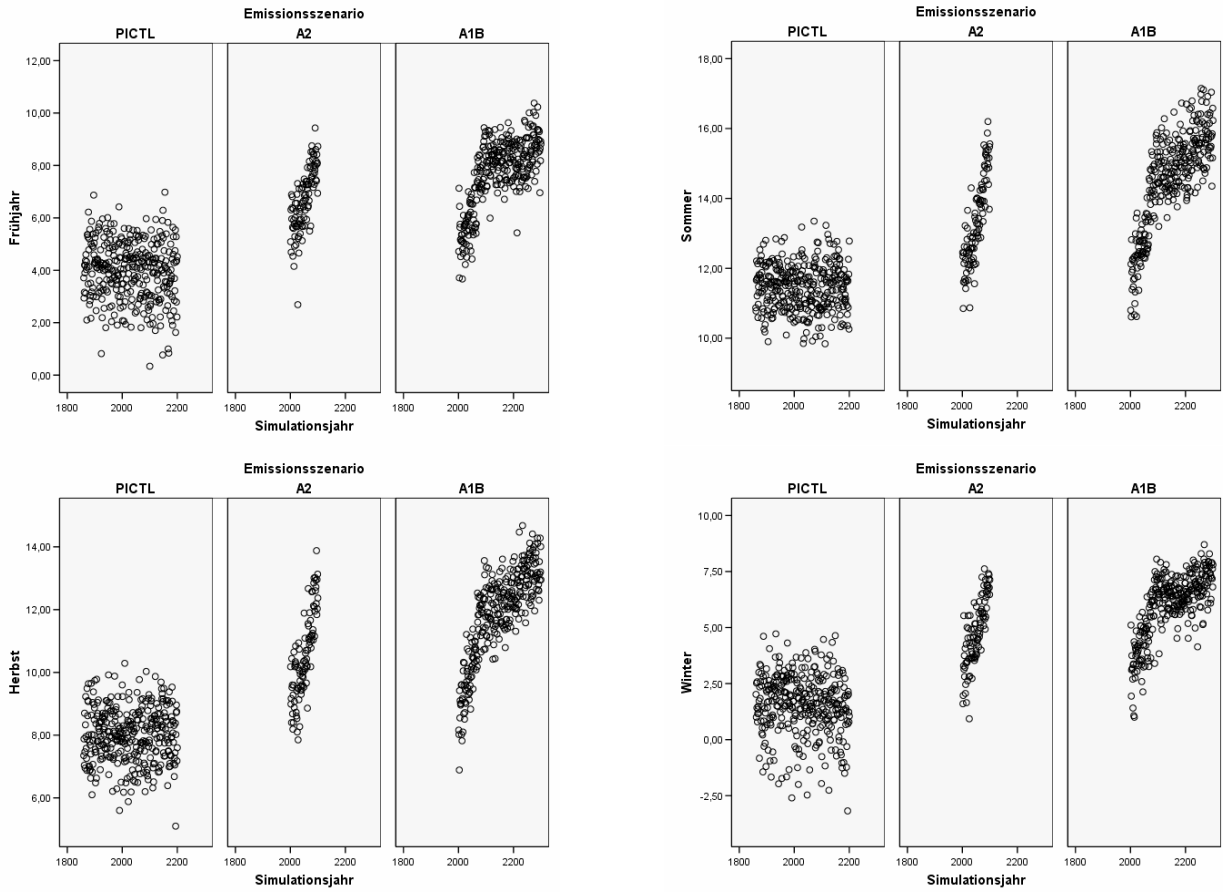
**Statistische Kennzahlen Kontroll-Lauf (PICTL):** für 4 Gitterpunkte x 341 Simulationsjahre



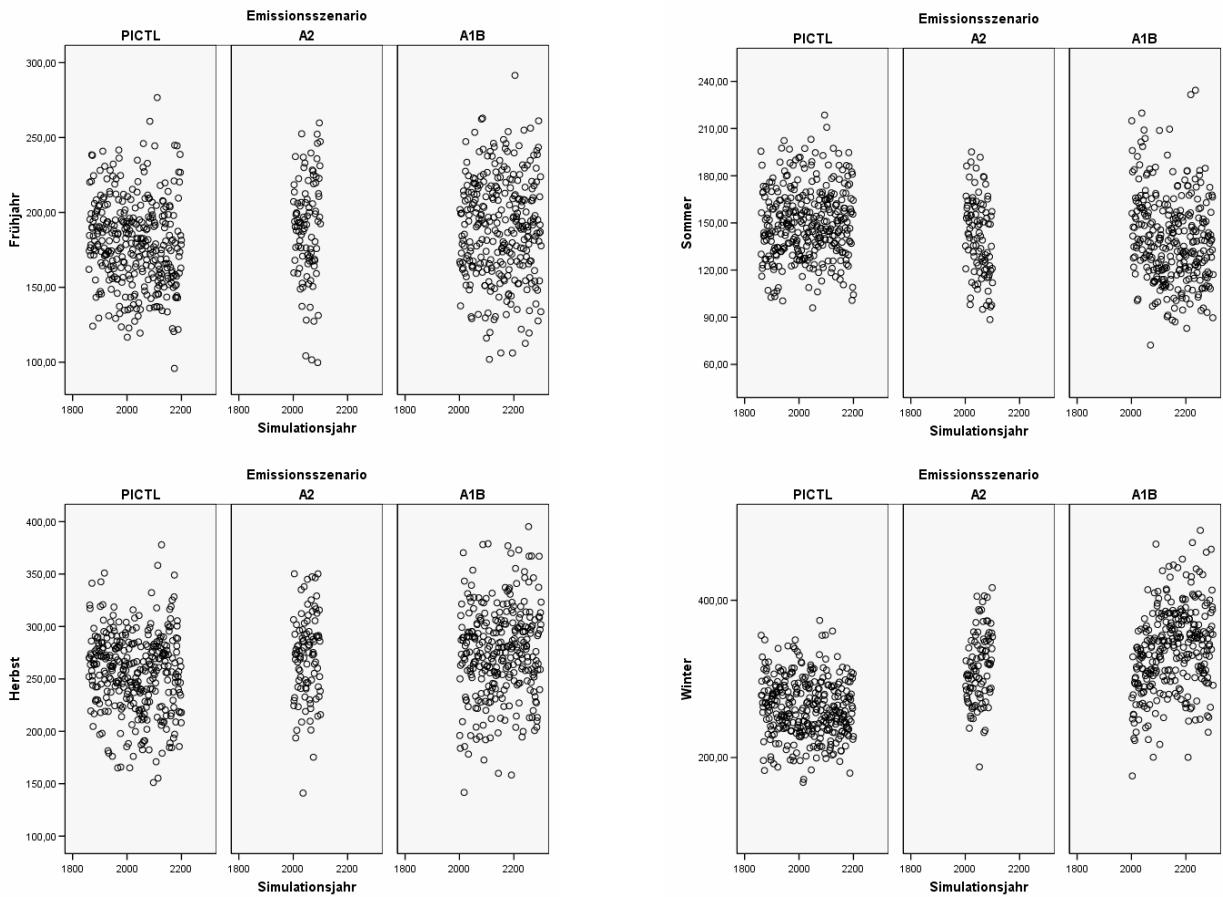
Temperatur	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	FJ	SO	HE	WI
Mittelwert	1.3	0.8	1.5	3.6	6.9	10.0	12.1	12.3	10.9	8.3	4.8	2.5	6.2	4.0	11.5	8.0	1.5
Std.abw.	2.8	2.7	2.2	1.6	1.5	2.0	2.0	1.3	1.1	1.7	2.3	2.8	0.8	1.2	1.6	1.4	2.4
Minimum	-11.5	-13.2	-9.9	-1.2	3.1	5.9	8.0	8.9	7.0	1.1	-3.9	-8.9	2.6	-0.8	8.0	3.4	-6.5
Maximum	7.1	5.6	6.2	8.9	12.4	15.8	18.1	16.2	14.5	12.0	9.9	8.0	8.3	8.4	15.5	11.4	6.8
Spannweite	18.6	18.7	16.1	10.2	9.3	9.9	10.1	7.2	7.5	11.0	13.8	16.9	5.8	9.2	7.5	8.0	13.3
N	1364	1364	1364	1364	1364	1364	1364	1364	1364	1364	1364	1364	1364	1364	1364	1364	1360

Nieder-schlag	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	FJ	SO	HE	WI
Mittelwert	90.8	72.3	68.0	56.0	55.4	49.2	47.0	53.9	66.5	91.9	97.7	100.4	849.1	179.4	150.1	256.1	263.4
Std.abw.	28.2	22.0	20.6	21.6	29.4	28.6	27.6	23.8	23.0	26.8	27.8	32.5	116.6	50.5	69.9	47.4	59.3
Minimum	11.7	13.8	13.4	7.3	1.4	1.1	0.7	5.8	12.3	15.7	17.6	27.4	526.3	60.7	34.5	109.5	109.4
Maximum	206.0	155.0	155.9	135.9	149.6	124.3	128.3	138.8	140.9	203.3	200.0	210.8	1209.9	324.2	328.3	436.7	486.6
Spannweite	194.3	141.2	142.6	128.6	148.2	123.3	127.5	132.9	128.6	187.7	182.4	183.3	683.6	263.5	293.8	327.2	377.2
N	1364	1364	1364	1364	1364	1364	1364	1364	1364	1364	1364	1364	1364	1364	1364	1364	1360

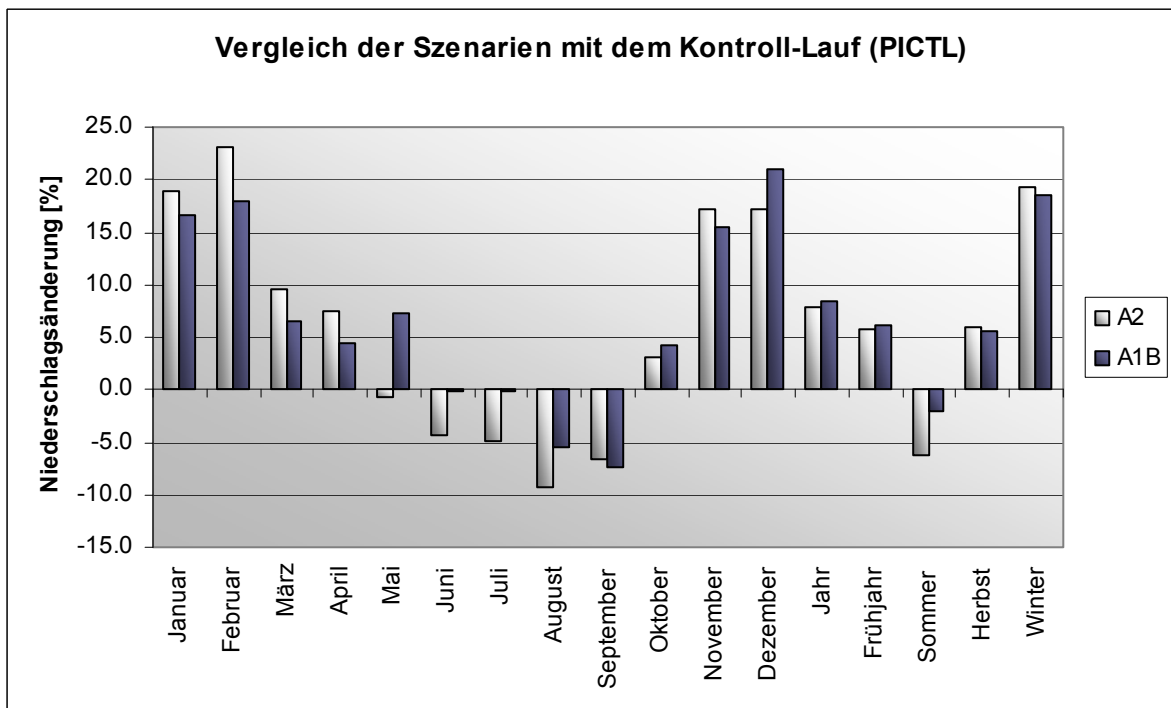
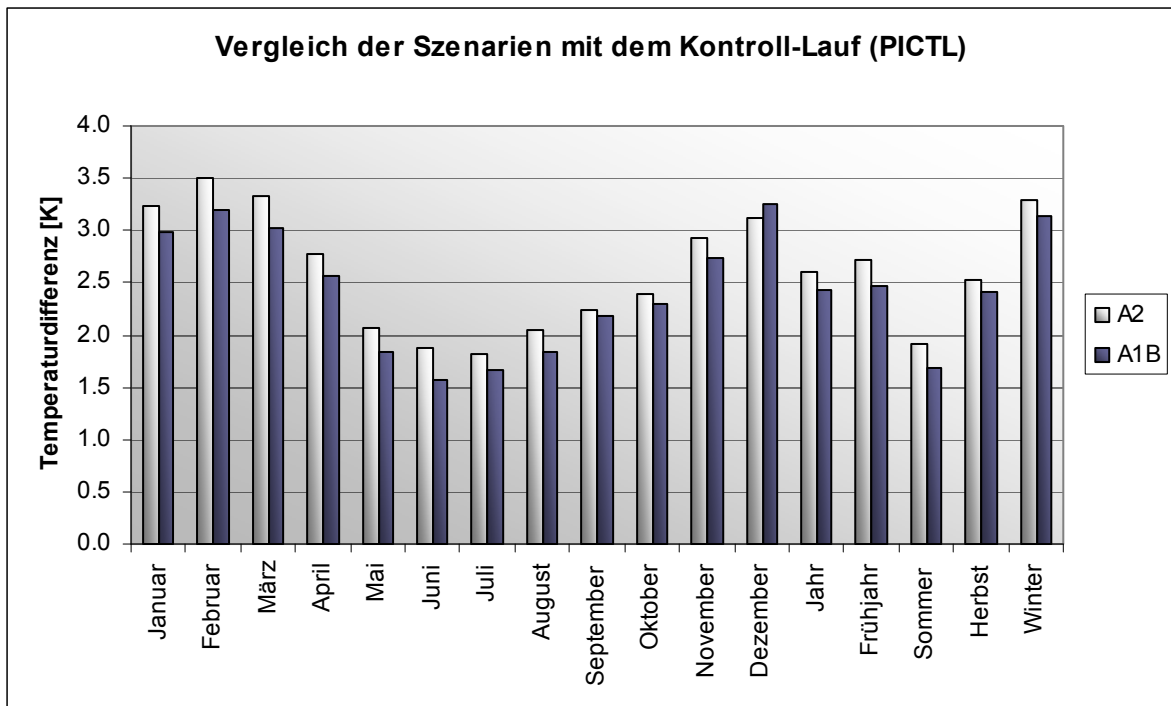
**Projizierter Verlauf der mittleren Temperaturen [°C] im Untersuchungsgebiet:**



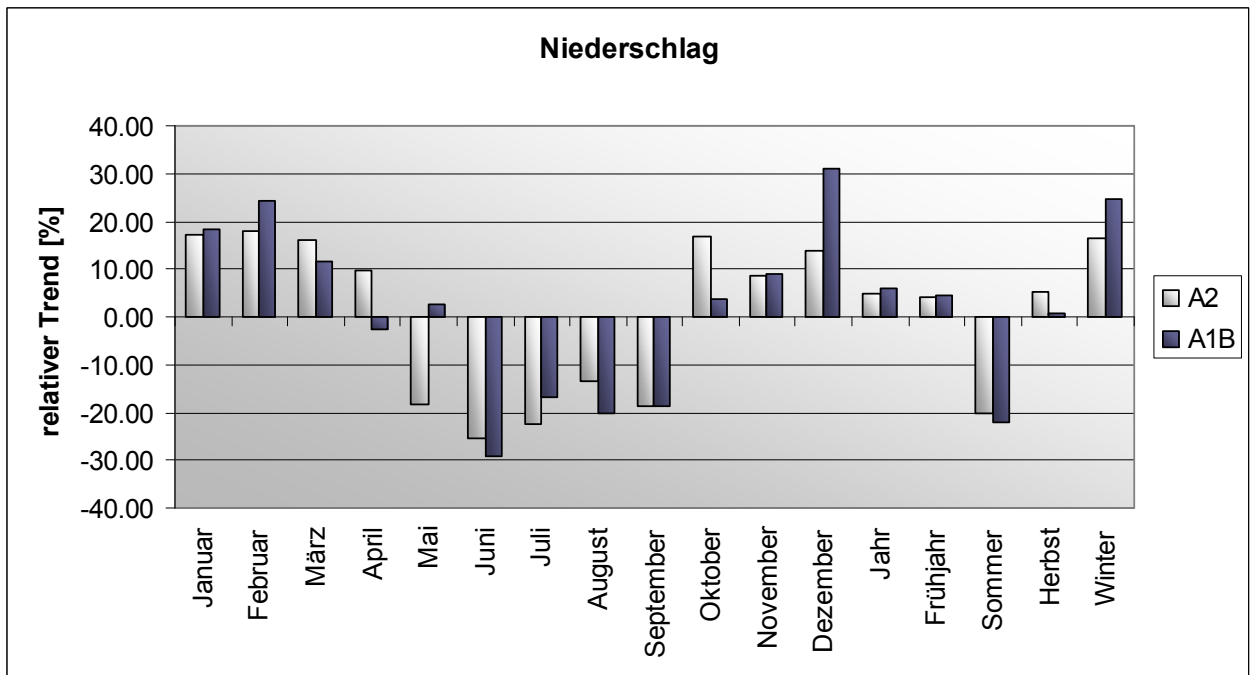
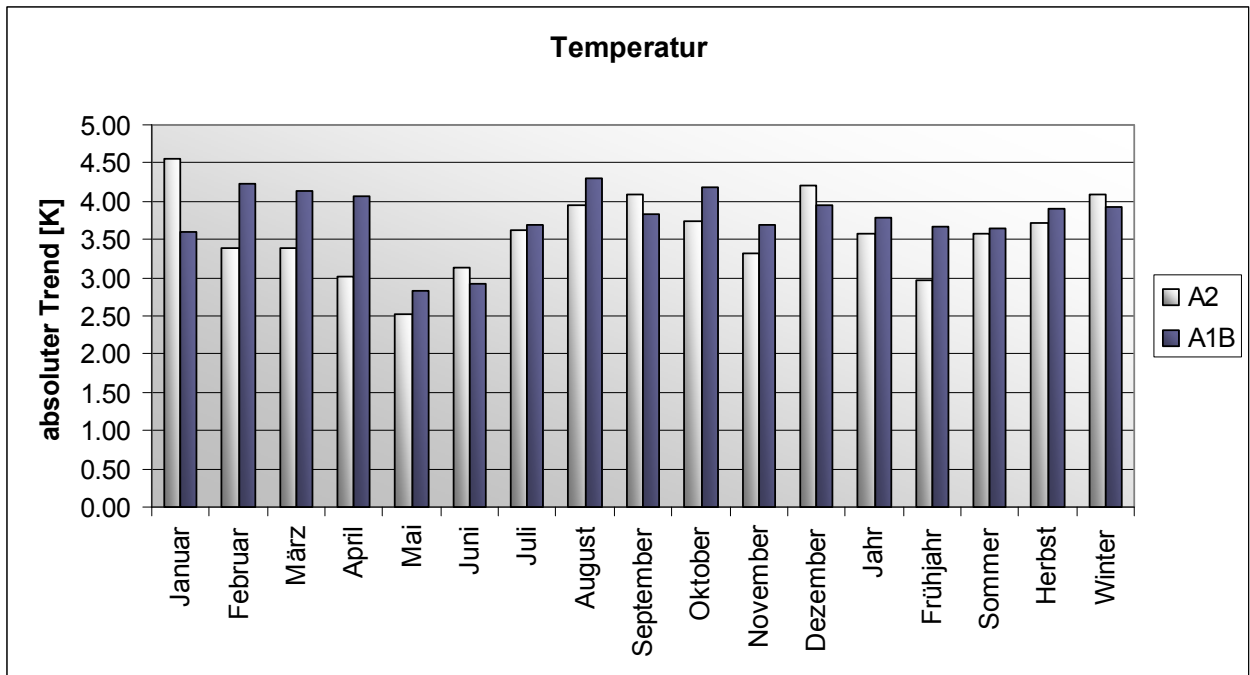
**Projizierter Verlauf der mittleren Niederschlagssummen [mm] im Untersuchungsgebiet:**



Klimaänderungssignale des Modells (Emissionsszenarios im 21. Jahrhundert/Kontroll-Lauf):



**Temperatur- und Niederschlagstrends im 21. Jahrhundert:**



## Trendstatistik

## ECHO-G A1B

Temperatur	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter
Beginn	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2002
Ende	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Mittelwert	4.23	4.01	4.50	6.15	8.69	11.54	13.76	14.12	13.12	10.59	7.53	5.77	8.67	6.45	13.14	10.41	4.67
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																	
m	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
c	-70.43	-83.47	-81.39	-77.82	-49.68	-48.96	-62.81	-74.97	-66.29	-75.93	-68.78	-76.16	-69.72	-69.63	-62.25	-70.33	-77.63
R <sup>2</sup>	0.33	0.48	0.48	0.52	0.53	0.55	0.63	0.71	0.68	0.61	0.48	0.45	0.82	0.64	0.73	0.73	0.60
absoluter Trend	3.60	4.22	4.15	4.05	2.82	2.92	3.70	4.30	3.83	4.18	3.68	3.96	3.78	3.67	3.64	3.90	3.93
relativer Trend	85.16	105.22	92.08	65.91	32.42	25.32	26.86	30.46	29.22	39.46	48.94	68.51	43.66	56.95	27.70	37.45	84.18
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																	
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	6.83	7.44	7.43	7.88	7.79	7.76	8.73	9.63	9.15	8.89	7.55	7.36	10.79	8.78	9.78	9.93	8.56
Irrtumswahrscheinlichkeit	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Bewertung	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
Bewertung	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	hoch signif.	hoch signif.	signif.	hoch signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.

Niederschlag	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter
Beginn	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2002
Ende	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Mittelwert	105.95	85.25	72.48	58.42	59.43	49.06	47.00	50.99	61.55	95.77	112.82	121.39	920.10	190.33	147.04	270.15	312.36
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																	
m	0.20	0.21	0.09	-0.02	0.02	-0.14	-0.08	-0.10	-0.12	0.04	0.10	0.38	0.57	0.09	-0.33	0.02	0.79
c	-298.30	-346.82	-102.78	90.72	27.57	345.78	212.16	264.82	301.57	18.69	-100.48	-654.47	-241.55	15.50	822.76	219.78	-1310.47
R <sup>2</sup>	0.05	0.07	0.01	0.00	0.00	0.08	0.03	0.03	0.03	0.00	0.01	0.16	0.05	0.01	0.11	0.00	0.21
absoluter Trend	19.52	20.86	8.46	-1.56	1.54	-14.33	-7.97	-10.32	-11.59	3.72	10.30	37.46	56.09	8.44	-32.62	2.43	77.54
relativer Trend	18.42	24.47	11.68	-2.67	2.59	-29.20	-16.97	-20.25	-18.83	3.89	9.13	30.86	6.10	4.43	-22.19	0.90	24.82
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																	
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	negativ	positiv	negativ	negativ	negativ	negativ	negativ	positiv	positiv	positiv	positiv	negativ	positiv	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	1.94	2.97	1.27	-0.72	0.00	-2.55	-2.20	-1.60	-1.64	-0.05	1.30	4.13	2.25	0.85	-3.41	0.07	4.40
Irrtumswahrscheinlichkeit	0.1	0.01				0.05	0.05		0.2	0.2	0.2	0.001	0.05		0.001		0.001
Bewertung	signifikant	signifikant	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	signifikant	signifikant	schwach signif.	schwach signif.	nicht signif.	schwach signif.	hoch signif.	signifikant	nicht signif.	hoch signif.	nicht signif.	hoch signif.

## Trendstatistik ECHO-G A2

Temperatur	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter	
Beginn	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2002
Ende	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Mittelwert	4.49	4.33	4.81	6.36	8.93	11.83	13.91	14.34	13.18	10.67	7.72	5.64	8.85	6.70	13.36	10.52	4.82	
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																		
m	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04
c	-89.63	-65.65	-65.15	-56.00	-43.50	-52.84	-61.02	-67.66	-71.46	-66.81	-61.03	-81.47	-65.19	-54.88	-60.51	-66.44	-80.82	
R²	0.52	0.40	0.42	0.36	0.41	0.58	0.64	0.67	0.64	0.58	0.38	0.50	0.81	0.54	0.73	0.65	0.65	
absoluter Trend	4.54	3.38	3.38	3.01	2.53	3.12	3.62	3.96	4.09	3.74	3.32	4.21	3.57	2.97	3.57	3.72	4.09	
relativer Trend	101.10	77.99	70.18	47.35	28.35	26.39	26.01	27.61	31.01	35.05	43.00	74.56	40.38	44.38	26.69	35.30	84.95	
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																		
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	7.81	6.66	6.87	6.40	6.82	8.44	8.81	9.21	8.97	8.39	6.83	7.81	10.73	8.27	9.83	9.17	9.22	
Irrtumswahrscheinlichkeit	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	
Bewertung	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
Bewertung	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	hoch signif.	signif.	hoch signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	

Niederschlag	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter	
Beginn	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2002	
Ende	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	
Mittelwert	107.90	88.92	74.47	60.21	55.00	47.02	44.68	48.97	62.11	94.69	114.37	117.65	916.00	189.69	140.67	271.18	314.37	
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																		
m	0.19	0.16	0.12	0.06	-0.10	-0.12	-0.10	-0.07	-0.12	0.16	0.10	0.16	0.44	0.08	-0.29	0.14	0.53	
c	-272.40	-238.19	-172.92	-58.77	264.26	295.43	251.75	186.84	300.28	-233.72	-89.92	-219.90	12.75	32.57	734.02	-23.35	-770.69	
R²	0.04	0.05	0.04	0.01	0.03	0.08	0.05	0.02	0.03	0.04	0.02	0.03	0.03	0.00	0.12	0.01	0.12	
absoluter Trend	18.36	15.79	11.94	5.74	-10.10	-11.99	-10.00	-6.66	-11.50	15.86	9.86	16.30	43.61	7.59	-28.65	14.22	51.85	
relativer Trend	17.02	17.76	16.04	9.54	-18.37	-25.51	-22.38	-13.59	-18.51	16.74	8.62	13.85	4.76	4.00	-20.37	5.24	16.49	
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																		
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	negativ	negativ	negativ	negativ	negativ	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	negativ	positiv	positiv	
Mann-Kendall-Trendwert Q	1.89	2.36	2.14	0.28	-1.72	-2.70	-2.48	-1.25	-1.58	1.77	1.36	1.90	1.72	0.73	-3.41	1.10	3.42	
Irrtumswahrscheinlichkeit	0.1	0.05	0.05	nicht	signif.	signifikant	signifikant	signifikant	nicht	schwach	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.001	0.001	
Bewertung	signifikant	signifikant	signifikant	signif.	signifikant	signifikant	signifikant	signif.	signif.	signifikant	schwach	signif.	signifikant	signifikant	nicht	hoch	nicht	
Bewertung	signifikant	signifikant	signifikant	signif.	signifikant	signifikant	signifikant	signif.	signif.	signifikant	signif.	signifikant	signifikant	signifikant	signif.	signif.	signif.	



## **Zusammenfassung:**

### Kontroll-Lauf

Aus den Modellergebnissen ergibt sich eine Jahresmitteltemperatur von 6,2 °C. Wärmster Monat ist der August mit 12,3 °C. Die niedrigsten Monatsmitteltemperaturen werden mit 0,8 °C im Februar erreicht. Im gesamten Untersuchungsgebiet und -zeitraum können Monatsmitteltemperaturen von -11,5 °C auftreten (Januar), die maximale Monatsmitteltemperatur wird im Juli mit 18,1 °C erreicht.

Der mittlere Jahresniederschlag beträgt 849 mm, der überwiegende Teil davon fällt im Herbst und Winter (zusammen ca. 520 mm). Im Frühjahr (179 mm) und insbesondere Sommer (150 mm) sind die Niederschlagssummen weitaus geringer. Analog dazu verhält sich die Niederschlagsverteilung in den einzelnen Monaten. In den Monaten Oktober bis Januar sind mitunter Niederschlagssummen von über 200 mm möglich. Sehr trockene Monate mit < 10 mm Monatsniederschlag treten an einzelnen Gitterpunkten bzw. in Einzeljahren lediglich im Frühjahr und Sommer auf.

### Klimatrends im 21. Jahrhundert

*A1B - Szenario:* Die Temperaturentwicklung unterliegt einem hoch signifikanten Zunahmetrend von 3,8 K. Hierbei bestehen keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Jahreszeiten (schwächster Trend im Frühjahr und Sommer mit +3,6 K, stärkster Trend im Herbst und Winter mit +3,9 K). In den einzelnen Monaten übersteigt der Erwärmungstrend in den Monaten Februar, März, April, August und Oktober 4 K. Im Mai und Juni fallen die Zunahmetrends mit 2,8 bzw. 2,9 K am geringsten aus.

Der Jahresniederschlag nimmt mit 6 % leicht zu, allerdings weisen Sommer und Winter hoch signifikante, gegenläufige Trends auf. Im Sommer nehmen die Niederschläge um 22 % ab, während im Winter ein Zunahmetrend von etwa 25 % zu verzeichnen ist. Am deutlichsten äußert sich dieses Trendverhalten in den Monaten Juni (-29 %) bzw. Dezember (+31 %).

*A2 - Szenario:* Im Jahresmittel nehmen die Temperaturen deutlich zu (+3,6 K). Die Erwärmung ist während der Wintermonate am stärksten (+4,1 K) ausgeprägt.

Im Hinblick auf den Jahresniederschlag kann ein positiver Trend von +4,8 % festgestellt werden. Während Frühjahr und Herbst diesen Trend weitgehend entsprechen, fällt die Zunahme im Winter weit deutlicher aus (+16 %). Im Sommer besteht ein hoch signifikanter Abnahmetrend (im Mittel -20,4 %).

### Vergleichende Beschreibung der Emissionsszenarios

Während die Mitteltemperaturen in den Jahreszeiten und Einzelmonaten im Emissionsszenario A2 über denen von A1B liegen, bestehen Unterschiede hinsichtlich des Trendverhaltens im 21. Jahrhundert. Der Temperaturanstieg erfolgt im Szenario A1B mit Ausnahme einzelner Monate mit einer höheren Geschwindigkeit als im Szenario A2.

Hinsichtlich der Niederschläge ergeben sich für alle Szenarios Zunahmetrends im Winter und Abnahmetrends im Sommer. Die Übergangsjahreszeiten weisen keine deutlichen Trends auf (in beiden Szenarios leichte, jedoch nicht signifikante Zunahmen).

### 3.1.7 GISS-ER – Model E20/Russel

#### Modellbetreibende Institution:

NASA/Goddard Institute for Space Studies (GISS), USA

#### Datenquellen/Datensätze: CERA-Datenbank (DKRZ)

IPCC DDC AR4 GISS-ER PICNTRL run 1

IPCC DDC AR4 GISS-ER SRESA2 run 1

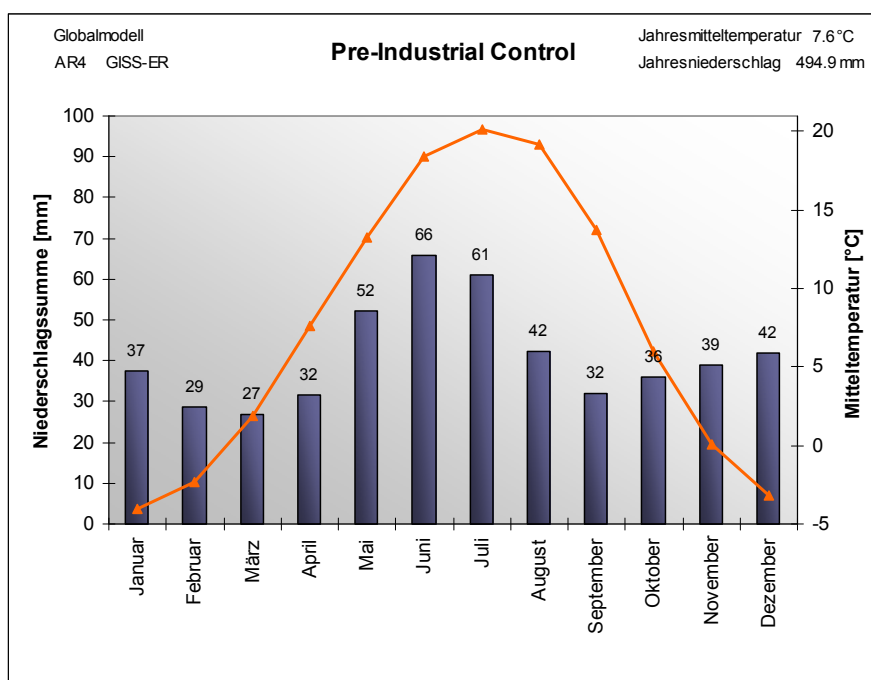
IPCC DDC AR4 GISS-ER SRESB1 run 1

**Untersuchungsgebiet:** 8-17° ö. L./48-55° n. Br.

**Anzahl der Gitterpunkte:** 2 (1 x 2)



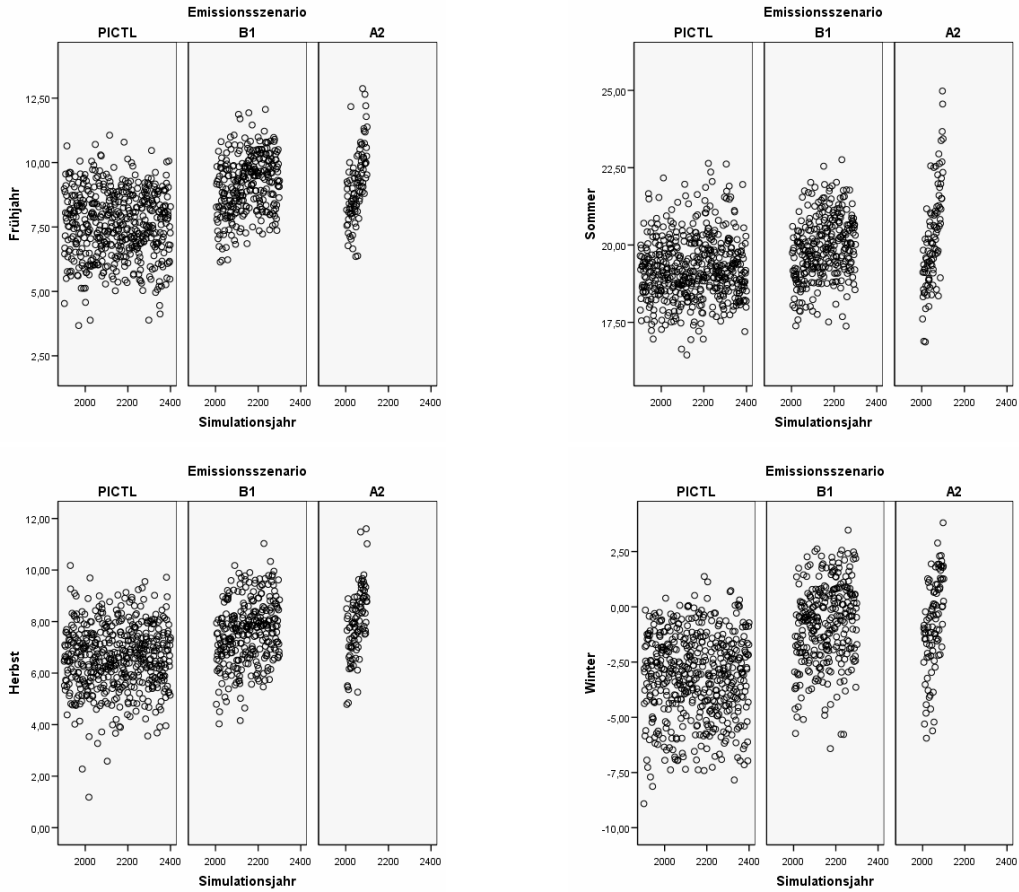
#### Statistische Kennzahlen Kontroll-Lauf (PICTL): für 2 Gitterpunkte x 500 Simulationsjahre



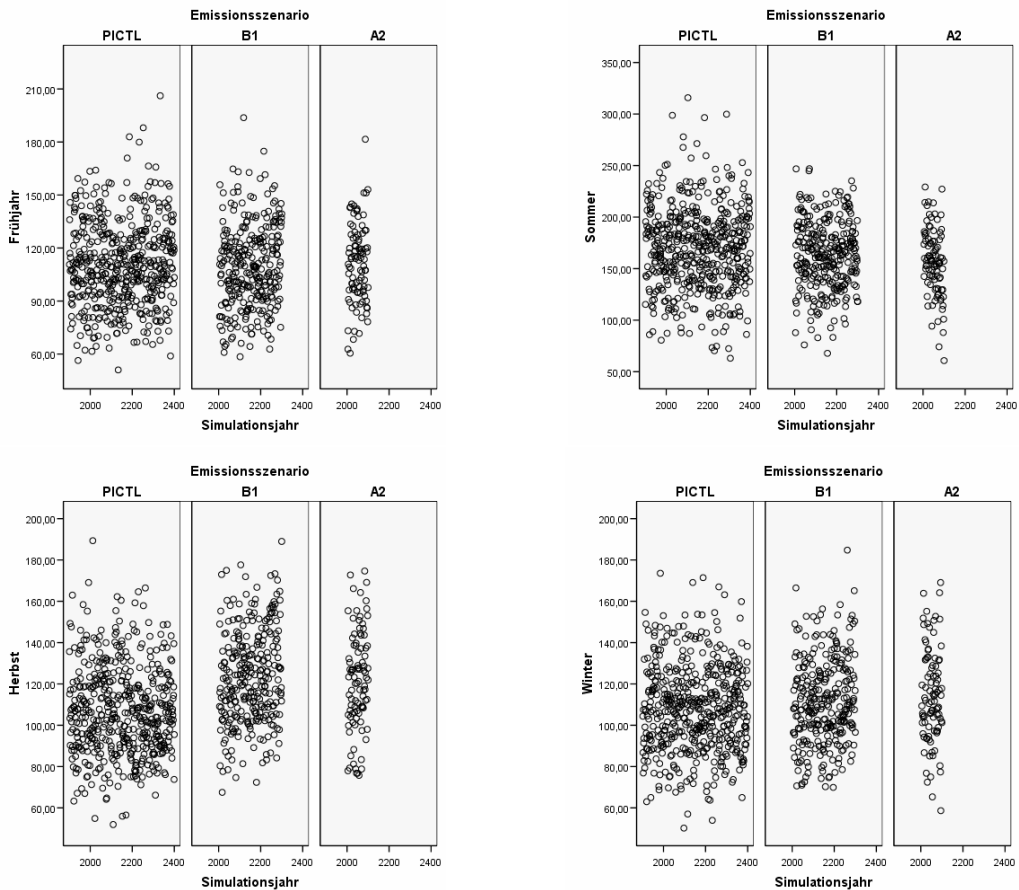
Temperatur	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	FJ	SO	HE	WI
Mittelwert	-4.0	-2.3	1.9	7.6	13.2	18.4	20.1	19.2	13.7	6.0	0.1	-3.2	7.6	7.6	19.3	6.6	-3.2
Std.abw.	3.3	3.0	2.7	2.2	1.8	1.8	1.8	2.2	2.3	2.1	2.4	3.0	1.3	1.7	1.6	1.6	2.3
Minimum	-17.7	13.1	-7.3	0.9	7.5	12.9	15.0	13.6	7.6	-0.7	-9.0	15.2	3.4	2.2	15.6	0.0	-11.9
Maximum	4.6	5.3	8.4	14.2	18.6	25.8	27.2	28.4	20.1	12.6	5.9	4.4	11.2	12.2	25.2	12.1	2.3
Spannweite	22.3	18.4	15.6	13.3	11.2	12.9	12.3	14.8	12.5	13.2	14.8	19.5	7.8	10.1	9.6	12.1	14.2
N	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	998

Niederschlag	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	FJ	SO	HE	WI
Mittelwert	37.3	28.7	27.0	31.5	52.1	65.9	61.0	42.3	31.8	36.1	39.1	42.0	494.9	110.6	169.2	107.0	108.1
Std.abw.	14.8	12.1	11.4	14.9	22.0	26.4	26.8	21.3	15.0	15.2	15.4	15.4	78.6	29.3	49.0	30.5	26.3
Minimum	3.7	3.4	1.5	2.8	6.6	3.7	4.8	1.2	1.7	2.7	7.2	10.9	247.7	41.7	37.2	20.1	33.5
Maximum	100.6	78.7	78.1	102.0	150.6	187.8	190.5	122.3	86.2	95.6	101.6	97.7	723.2	232.4	359.8	218.6	213.3
Spannweite	96.8	75.3	76.6	99.3	144.0	184.1	185.6	121.1	84.5	92.9	94.4	86.9	475.5	190.7	322.6	198.5	179.8
N	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	998

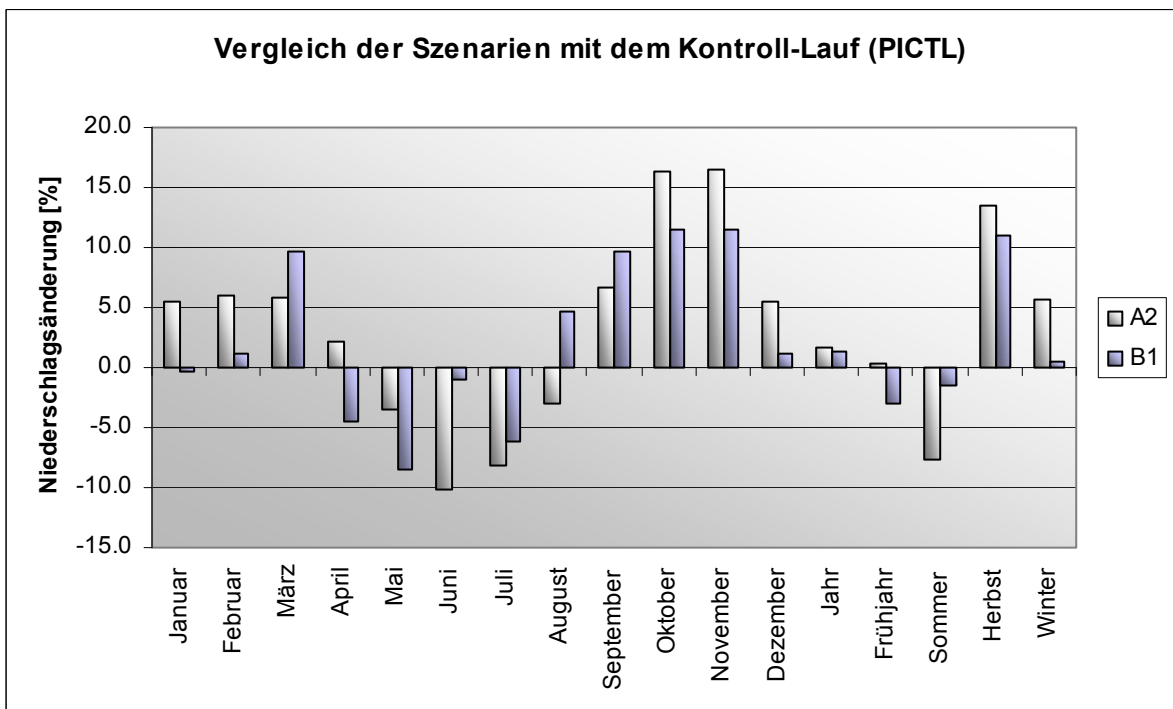
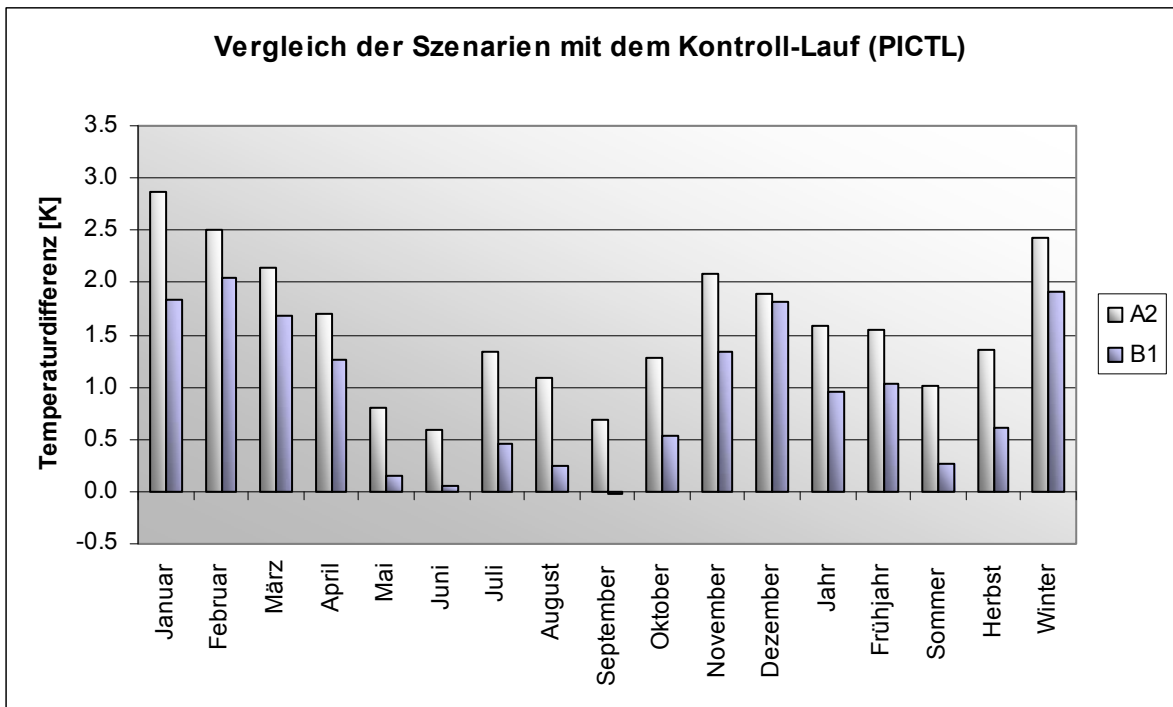
**Projizierter Verlauf der mittleren Temperaturen [°C] im Untersuchungsgebiet:**



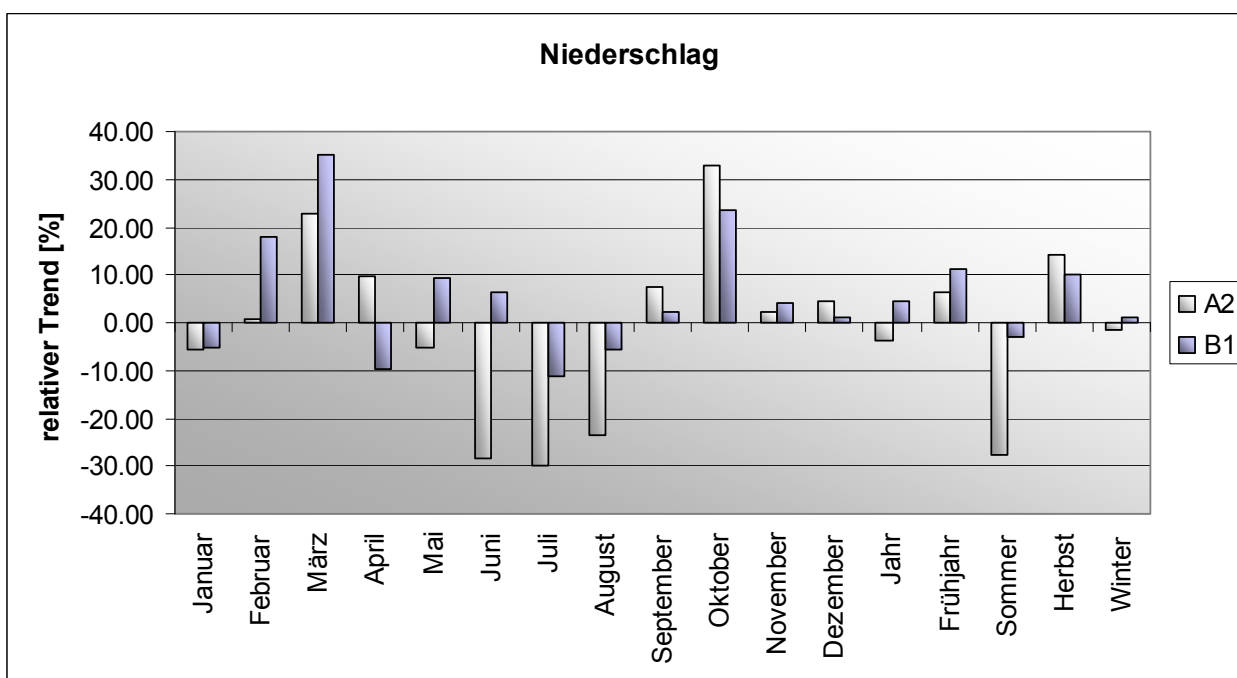
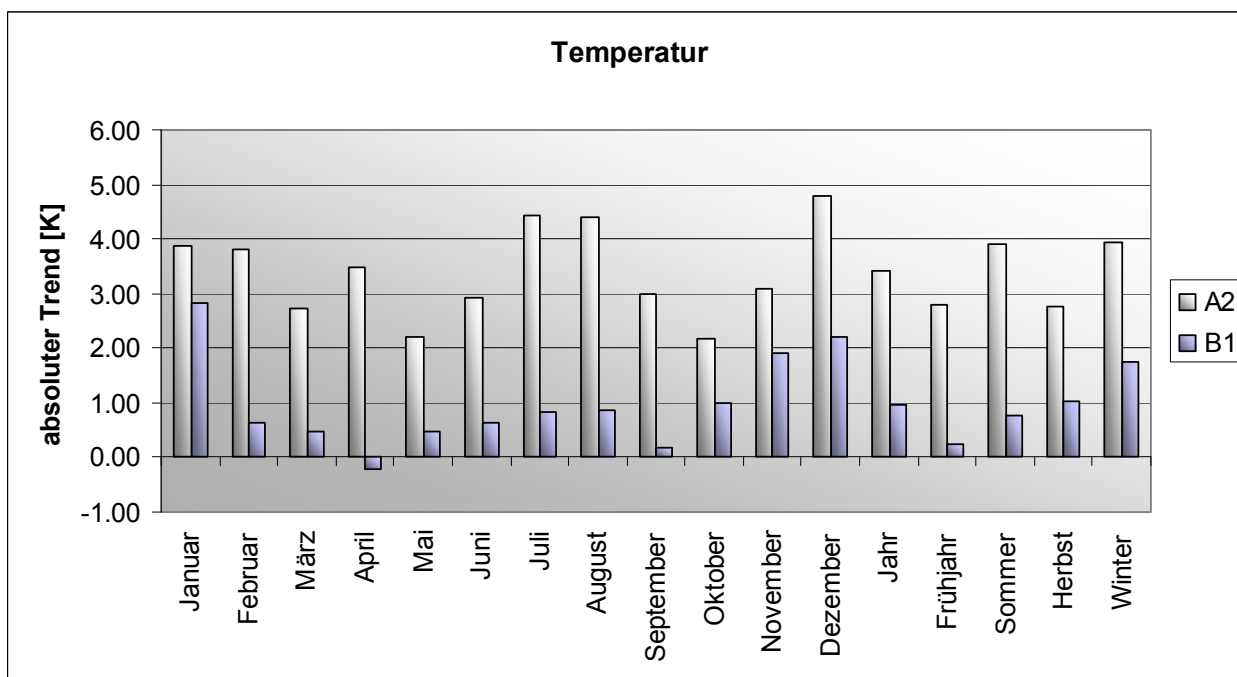
**Projizierter Verlauf der mittleren Niederschlagssummen [mm] im Untersuchungsgebiet:**



Klimaänderungssignale des Modells (Emissionsszenarios im 21. Jahrhundert/Kontroll-Lauf):



**Temperatur- und Niederschlagstrends im 21. Jahrhundert:**



# GISS- ER A2

## Trendstatistik

Temperatur	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter
Beginn	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2005
Ende	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
N	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	96
Mittelwert	-1.13	0.21	4.06	9.34	14.05	18.98	21.49	20.30	14.41	7.26	2.15	-1.29	9.15	9.15	20.26	7.94	-0.73
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																	
m	0.04	0.04	0.03	0.04	0.02	0.03	0.05	0.05	0.03	0.02	0.03	0.05	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04
c	-84.16	-81.02	-54.40	-65.02	-32.91	-43.56	-73.08	-73.46	-49.40	-39.50	-63.59	-103.44	-63.63	-50.78	-63.37	-50.83	-86.00
R <sup>2</sup>	0.17	0.19	0.14	0.30	0.20	0.26	0.42	0.39	0.25	0.12	0.17	0.19	0.66	0.37	0.52	0.38	0.31
absoluter Trend	3.88	3.80	2.74	3.48	2.20	2.93	4.42	4.39	2.99	2.19	3.08	4.78	3.40	2.80	3.91	2.75	3.95
relativer Trend	-344.36	1832.62	67.30	37.24	15.64	15.42	20.59	21.61	20.72	30.15	143.13	-371.66	37.20	30.63	19.31	34.64	-540.88
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																	
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	3.96	4.38	3.72	5.63	4.39	4.89	6.77	6.28	5.28	3.25	3.77	4.49	8.96	6.65	7.84	6.30	5.65
Irrtumswahrscheinlichkeit	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.01	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Bewertung	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.

Niederschlag	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter
Beginn	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2005
Ende	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
N	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	96
Mittelwert	39.38	30.42	28.57	32.17	50.25	59.24	56.04	40.98	33.98	41.95	45.58	44.33	502.88	110.98	156.26	121.51	114.17
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																	
m	-0.02	0.00	0.07	0.03	-0.03	-0.18	-0.17	-0.10	0.03	0.14	0.01	0.02	-0.20	0.07	-0.45	0.18	-0.02
c	87.42	25.01	-111.08	-35.02	104.60	418.97	414.29	246.56	-20.40	-253.49	24.45	2.70	904.00	-41.50	1079.82	-249.45	151.99
R <sup>2</sup>	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.06	0.06	0.04	0.00	0.08	0.00	0.00	0.01	0.01	0.15	0.05	0.00
absoluter Trend	-2.25	0.25	6.53	3.14	-2.54	-16.83	-16.76	-9.62	2.54	13.82	0.99	1.95	-18.77	7.13	-43.21	17.35	-1.75
relativer Trend	-5.71	0.83	22.87	9.77	-5.06	-28.41	-29.91	-23.47	7.49	32.95	2.17	4.39	-3.73	6.43	-27.65	14.28	-1.53
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																	
Trendrichtung	negativ	positiv	positiv	positiv	negativ	negativ	negativ	negativ	positiv	positiv	positiv	positiv	negativ	positiv	negativ	positiv	negativ
Mann-Kendall-Trendwert Q	-0.58	0.64	1.72	0.66	-0.41	-2.17	-2.81	-2.01	0.61	2.89	0.29	0.38	-0.61	0.25	-3.84	2.15	-0.08
Irrtumswahrscheinlichkeit			0.1			0.05	0.01	0.05		0.01					0.001	0.05	
Bewertung	nicht signif.	nicht signif.	signifikant	nicht signif.	nicht signif.	signifikant	signifikant	signifikant	signifikant	nicht signif.	signifikant	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	hoch signif.	signifikant	nicht signif.

# GISS- ER B1

## Trendstatistik

Temperatur	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter	
Beginn	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2005
Ende	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
N	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	96
Mittelwert	-2.17	-0.26	3.60	8.89	13.40	18.46	20.60	19.47	13.71	6.52	1.39	-1.36	8.52	8.63	19.51	7.21	-1.26	
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																		
m	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02
c	-62.26	-13.57	-6.32	13.63	3.64	5.11	3.13	0.70	9.73	-14.58	-39.48	-48.17	-12.37	3.65	2.98	-14.78	-39.13	
R <sup>2</sup>	0.08	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.00	0.03	0.07	0.05	0.13	0.00	0.05	0.07	0.10	
absoluter Trend	2.81	0.62	0.46	-0.22	0.46	0.62	0.82	0.88	0.19	0.99	1.91	2.19	0.98	0.23	0.77	1.03	1.75	
relativer Trend	-129.83	-243.41	12.90	-2.49	3.41	3.38	3.97	4.51	1.36	15.15	137.68	-161.20	11.47	2.70	3.96	14.27	-139.57	
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																		
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	negativ	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	2.62	0.44	0.64	-0.39	0.65	1.43	1.62	1.86	0.39	1.66	2.12	1.85	2.93	0.42	1.95	2.45	2.50	
Irrtumswahrscheinlichkeit	0.01					0.2	0.2	0.1		0.1	0.05	0.1	0.01		0.1	0.05	0.05	
Bewertung	signifikant	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	schwach signif.	schwach signif.	signifikant	nicht signif.	signifikant	signifikant	signifikant	signifikant	nicht signif.	signifikant	signifikant	signifikant	

Niederschlag	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter	
Beginn	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2005	
Ende	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	
N	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	96	
Mittelwert	37.23	29.03	29.61	30.09	47.62	65.26	57.25	44.22	34.91	40.26	43.59	42.54	501.60	107.31	166.73	118.76	108.68	
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																		
m	-0.02	0.05	0.11	-0.03	0.05	0.04	-0.07	-0.03	0.01	0.10	0.02	0.00	0.24	0.12	-0.05	0.13	0.01	
c	79.63	-82.34	-192.46	93.57	-47.06	-22.50	194.24	96.87	17.81	-161.48	4.81	32.36	13.45	-145.95	268.61	-138.86	78.78	
R <sup>2</sup>	0.00	0.03	0.06	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.02	0.00	
absoluter Trend	-1.98	5.21	10.39	-2.97	4.43	4.11	-6.41	-2.46	0.80	9.44	1.81	0.48	22.84	11.85	-4.77	12.05	1.38	
relativer Trend	-5.33	17.95	35.09	-9.87	9.30	6.29	-11.19	-5.57	2.29	23.44	4.16	1.12	4.55	11.04	-2.86	10.15	1.27	
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																		
Trendrichtung	negativ	positiv	positiv	negativ	positiv	positiv	negativ	negativ	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	negativ	positiv	positiv	
Mann-Kendall-Trendwert Q	-0.80	1.50	2.80	-0.78	0.52	0.57	-0.81	-0.79	0.28	1.90	0.43	0.58	0.71	1.16	-0.50	1.57	0.59	
Irrtumswahrscheinlichkeit		0.2	0.01							0.1						0.2		
Bewertung	nicht signif.	schwach signif.	signifikant	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	signifikant	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	schwach signif.	nicht signif.	

## **Zusammenfassung:**

### Kontroll-Lauf

Im Mittel ergibt sich für den Kontroll-Lauf eine Jahrestemperatur von 7,6 °C. Kältester Monat ist der Januar (Mittelwert -4 °C, Minimum -18 °C), im Sommer betragen die Temperaturen ca. 19 °C (wärmste Einzelbeobachtung im August mit 28,4 °C).

Die mittlere Jahresniederschlagssumme beträgt 494,9 mm, wovon der größte Teil auf den Sommer (169 mm) entfällt. An den einzelnen Rasterpunkten können im ganzen Jahr einzelne, sehr trockene Monate (<11 mm) auftreten. In den Sommermonaten Juni und Juli treten in den Einzeljahren die höchsten Niederschlagssummen mit über 180 mm auf.

### Klimatrends im 21. Jahrhundert

*A2 - Szenario:* Der Verlauf der Jahresmitteltemperaturen weist einen Zunahmetrend von 3,4 K auf. Am deutlichsten tritt die Erwärmung im Sommer und Winter (ca. +3,9 K) zu Tage. Besonders stark betroffen sind die Monate Juli und August mit +4,4 K sowie der Dezember mit +4,8 K. In den Übergangsjahreszeiten fällt die Erwärmung schwächer aus (+2,8 K).

Hinsichtlich des Niederschlagsverhaltens ist eine hoch signifikante Abnahme der Sommerniederschläge um 28 % zu vermerken. Hierbei sind alle Sommermonate in etwa gleich stark betroffen. Signifikante Zunahmetrends ergeben sich im März (+23 %) sowie Oktober (+33 %). Die ausgleichende Wirkung abnehmender Sommerniederschläge sowie zunehmender Herbstniederschläge führen im Jahresmittel nur zu einem gering ausgeprägten Trendverhalten.

*B1 – Szenario:* Für die Jahresmitteltemperatur besteht ein signifikanter Zunahmetrend um 1 K. Schwerpunkt der Erwärmung ist im Winter (+1,8 K), vor allem im Januar (+2,8 K). Tendenziell nehmen die Frühjahrs- und Herbstniederschläge (+11 bzw. +10%) leicht zu, insbesondere in den Monaten März (+35 %) und Oktober (+23 %).

### Vergleichende Beschreibung der Emissionsszenarios

Es bestehen maßgebliche Unterschiede hinsichtlich des Grades der Erwärmung in den beiden Emissionsszenarios. Jedoch sind die Wintermonate in beiden Szenarios am stärksten von der Temperaturzunahme betroffen. Im Szenario A2 ist eine enorme Sommererwärmung festzustellen, die im Fall vom B1 nicht so deutlich zum Tragen kommt.

Für die Niederschläge kann für beide Emissionsszenarios im Frühjahr, Sommer und Herbst eine übereinstimmende Trendrichtung beobachtet werden. Während im Frühjahr und Herbst für A2 und B1 leichte Zunahmen zu verzeichnen sind, fallen die Niederschlagsabnahmen im Sommer für das Szenario A2 weit dramatischer aus als für B1. Für den Winter konnte kein signifikantes Trendverhalten festgestellt werden.



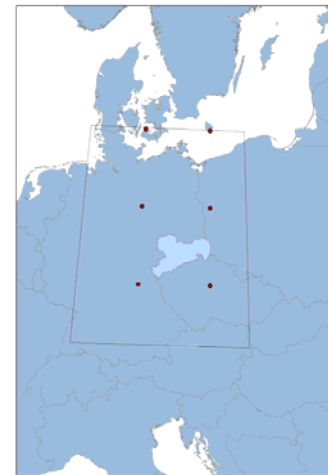
### 3.1.8 HadCM3 – Hadley Centre Coupled Model 3

#### Modellbetreibende Institution:

Met Office (METO)/Hadley Centre, Großbritannien

#### Datenquellen/Datensätze: CERA-Datenbank (DKRZ)

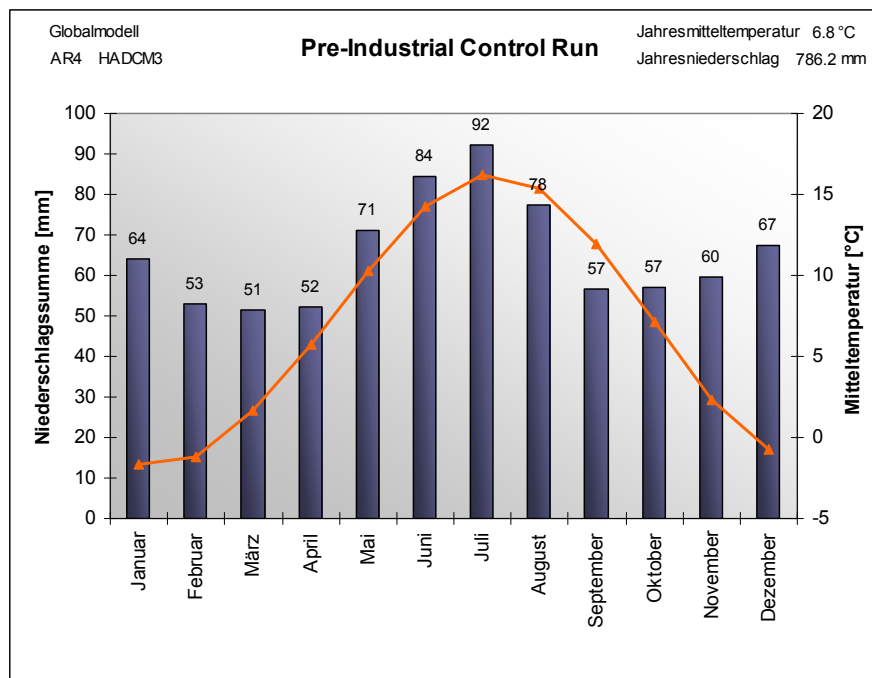
- IPCC DDC AR4 UKMO-HadCM3 PICNTRL run 1
- IPCC DDC AR4 UKMO-HadCM3 SRESA1B run 1
- IPCC DDC AR4 UKMO-HadCM3 SRESA2 run 1
- IPCC DDC AR4 UKMO-HadCM3 SRESB1 run 1



**Untersuchungsgebiet:** 8-17° ö. L./48-55° n. Br.

**Anzahl der Gitterpunkte:** 6 (2 x 3)

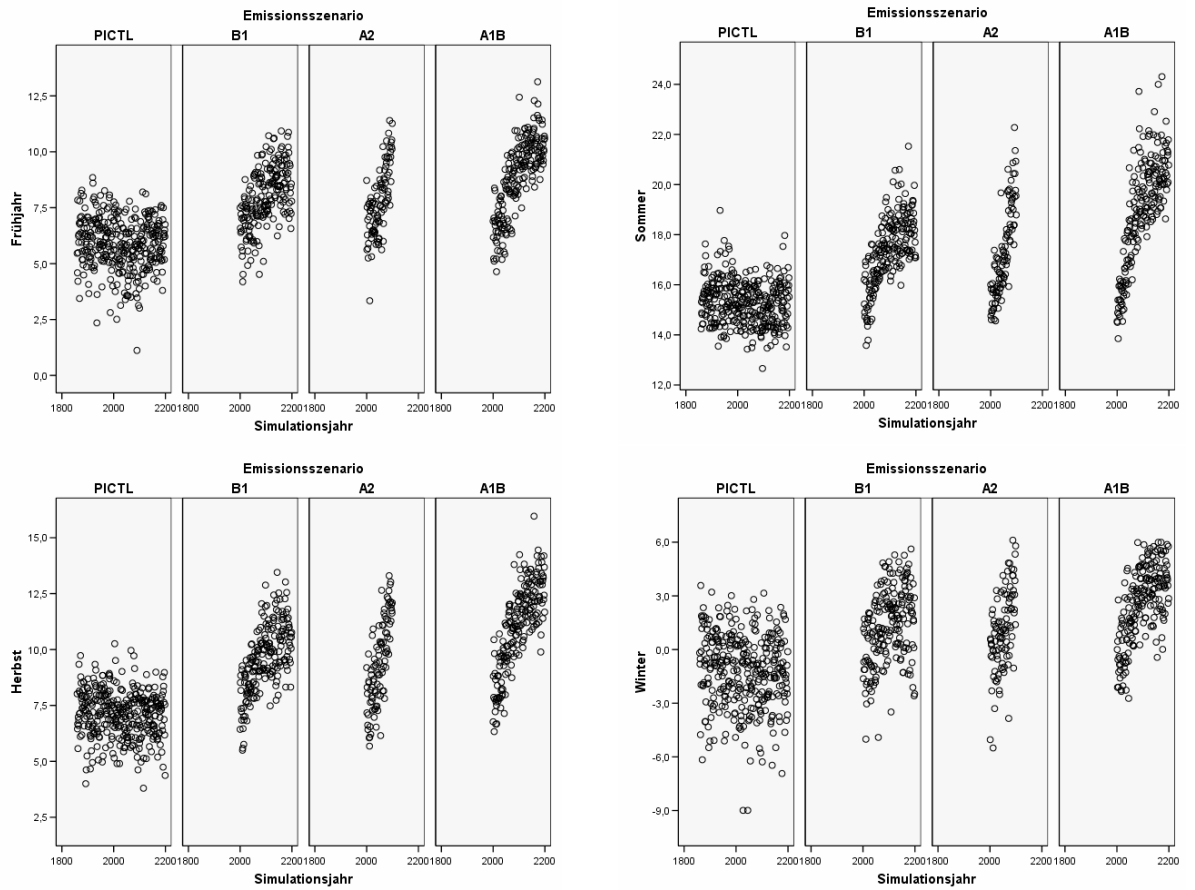
**Statistische Kennzahlen Kontroll-Lauf (PICTL):** für 6 Gitterpunkte x 341 Simulationsjahre



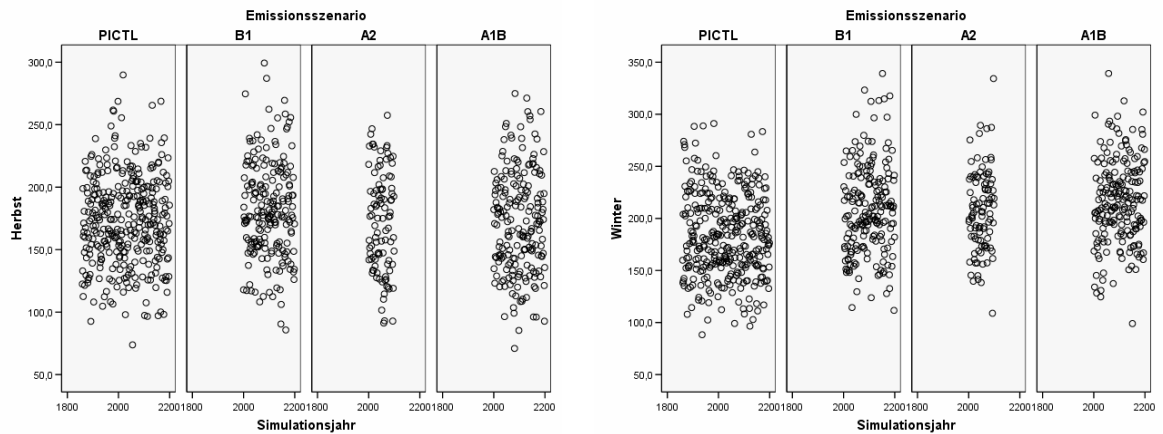
Temperatur	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	FJ	SO	HE	WI
Mittelwert	-1.7	-1.2	1.6	5.8	10.2	14.3	16.2	15.4	12.0	7.1	2.3	-0.8	6.8	5.9	15.3	7.1	-1.2
Std.abw.	3.6	3.4	2.4	1.9	2.7	3.1	2.6	1.7	1.5	1.9	2.7	3.6	1.0	1.6	2.2	1.5	2.8
Minimum	-19.3	-13.1	-10.0	0.7	2.8	3.6	6.3	9.0	7.8	0.4	-8.7	-18.6	3.5	0.3	6.3	1.6	-11.6
Maximum	5.7	5.0	8.6	11.7	16.8	21.3	26.8	22.7	17.2	11.8	9.5	6.6	9.9	10.6	21.3	11.4	5.2
Spannweite	25.0	18.1	18.6	11.0	14.0	17.7	20.5	13.7	9.4	11.4	18.2	25.2	6.4	10.3	15.0	9.8	16.8
N	2046	2046	2046	2046	2046	2046	2046	2046	2046	2046	2046	2046	2046	2046	2046	2046	2040

Nieder-schlag	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	FJ	SO	HE	WI
Mittelwert	64.0	52.8	51.3	52.1	71.2	84.3	92.3	77.5	56.7	56.9	59.7	67.3	786.2	174.6	254.1	173.3	184.2
Std.abw.	28.5	23.3	22.8	25.5	38.6	46.8	46.2	34.0	26.3	26.3	25.2	29.6	200.9	65.1	103.3	47.8	54.5
Minimum	10.7	5.2	3.5	2.2	2.8	4.1	3.3	2.4	3.0	3.1	4.8	9.6	312.2	34.2	29.9	57.7	63.4
Maximum	232.5	162.0	181.3	146.8	219.5	338.7	280.4	206.0	163.9	174.8	179.3	225.3	1408.9	433.1	608.5	378.5	416.6
Spannweite	221.8	156.9	177.8	144.6	216.7	334.6	277.1	203.6	161.0	171.6	174.6	215.7	1096.6	398.9	578.6	320.9	353.1
N	2046	2046	2046	2046	2046	2046	2046	2046	2046	2046	2046	2046	2046	2046	2046	2046	2040

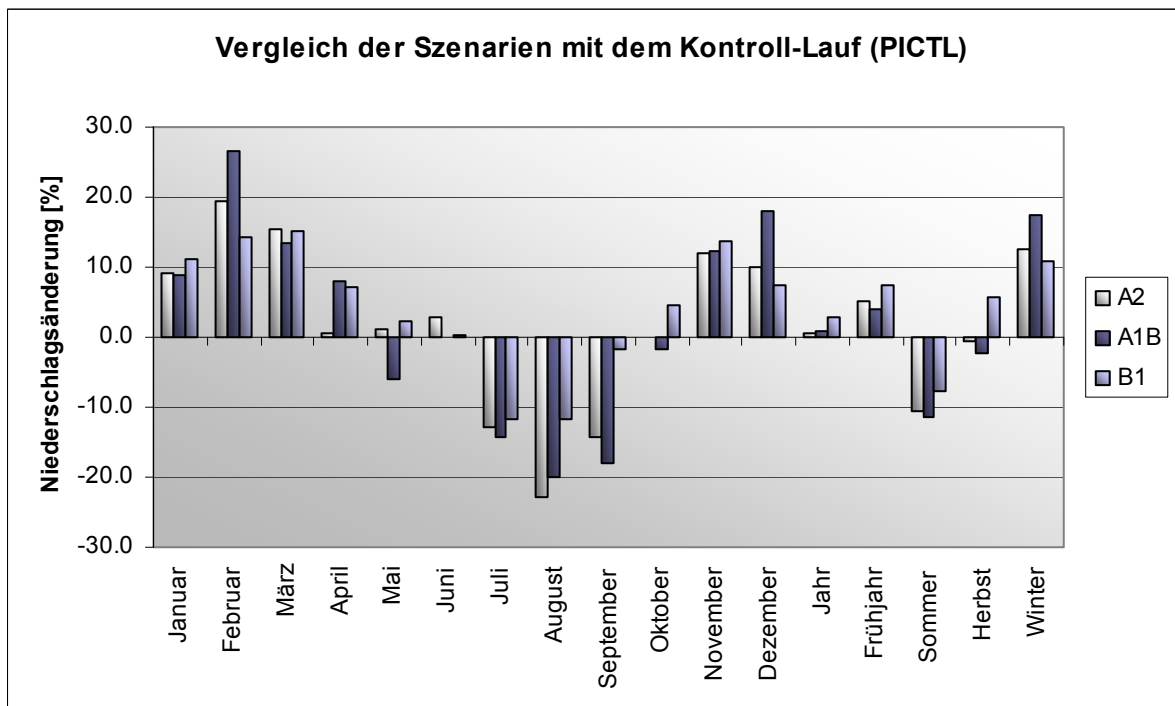
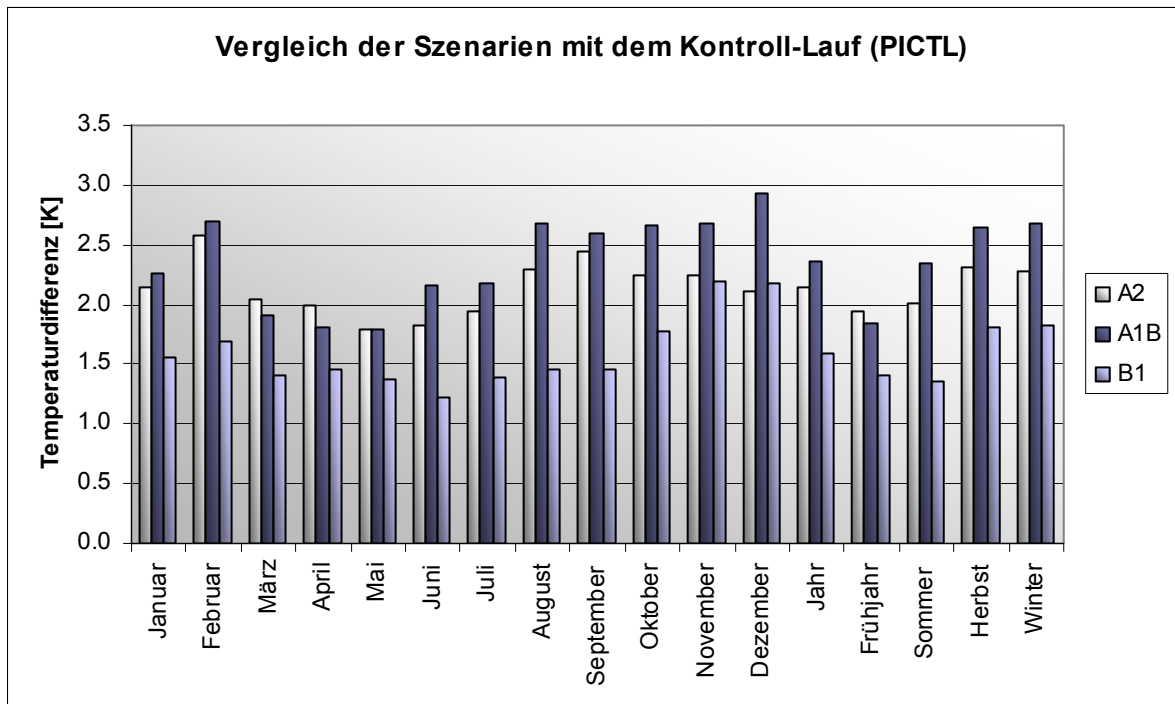
**Projizierter Verlauf der mittleren Temperaturen [°C] im Untersuchungsgebiet:**



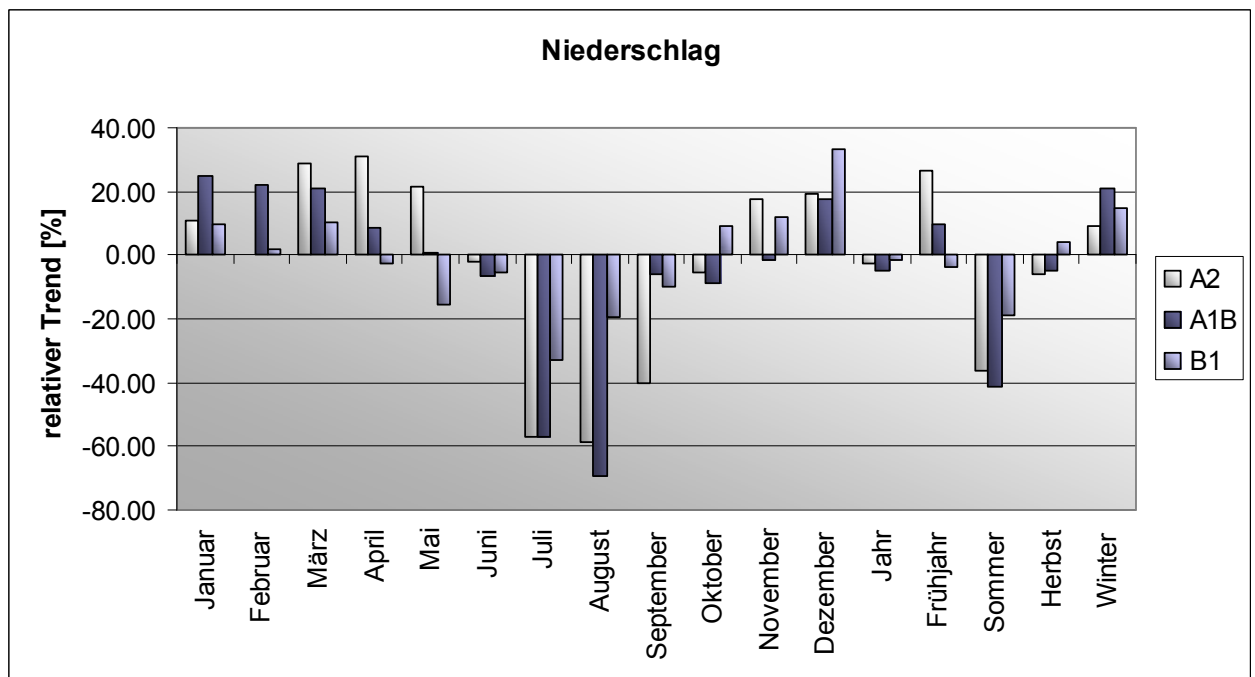
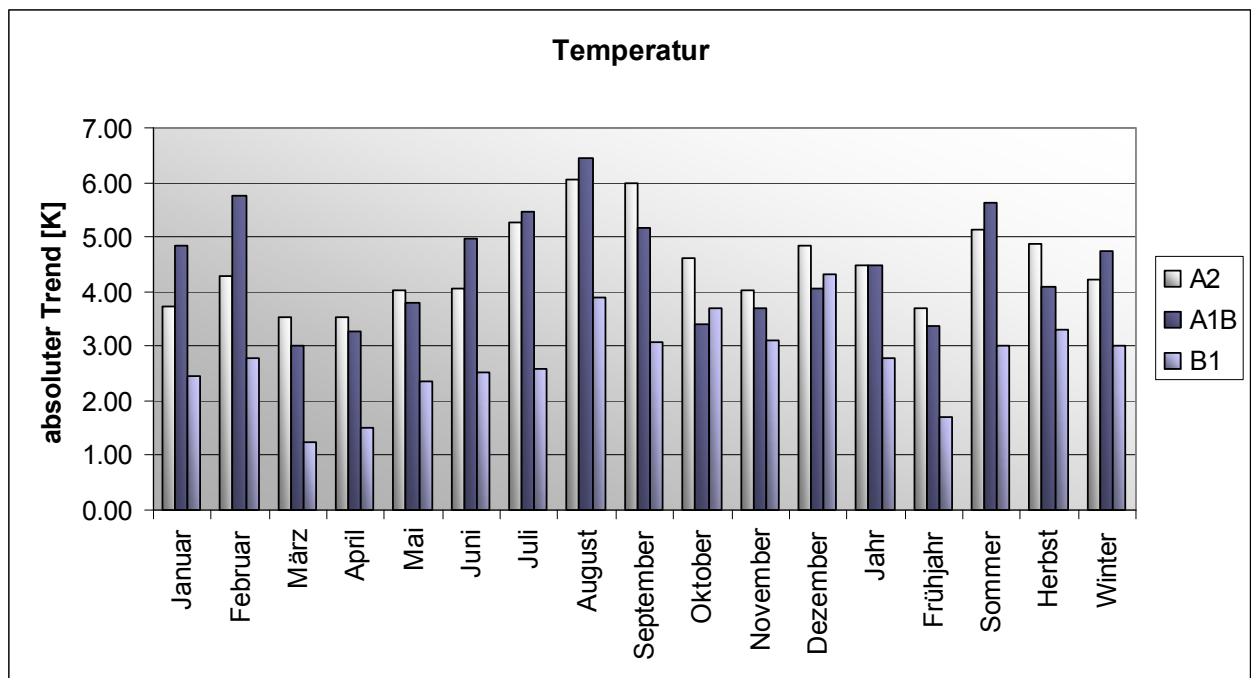
**Projizierter Verlauf der mittleren Niederschlagssummen [mm] im Untersuchungsgebiet:**



Klimaänderungssignale des Modells (Emissionsszenarios im 21. Jahrhundert/Kontroll-Lauf):



Temperatur- und Niederschlagstrends im 21. Jahrhundert:



## Trendstatistik HadCM3 A1B

Temperatur	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter	
Beginn	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2001
Ende	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Mittelwert	0.56	1.51	3.54	7.57	12.04	16.45	18.43	18.06	14.55	9.75	4.99	2.16	9.13	7.72	17.64	9.76	1.46	
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																		
m	0.05	0.06	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.05	0.03	0.04	0.04	0.05	0.03	0.06	0.04	0.05	
c	-99.87	-117.56	-59.09	-60.47	-66.24	-86.45	-94.96	-115.18	-92.21	-60.56	-71.49	-81.57	-83.80	-61.94	-98.86	-74.75	-98.09	
R²	0.26	0.36	0.20	0.29	0.44	0.56	0.51	0.64	0.56	0.32	0.26	0.21	0.77	0.47	0.69	0.58	0.47	
absoluter Trend	4.85	5.75	3.03	3.29	3.78	4.97	5.48	6.44	5.16	3.40	3.69	4.04	4.49	3.36	5.63	4.08	4.76	
relativer Trend	859.53	380.31	85.45	43.40	31.41	30.22	29.72	35.64	35.44	34.82	74.11	187.12	49.15	43.59	31.90	41.82	326.24	
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																		
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	5.27	6.36	4.83	5.43	6.98	8.41	8.02	9.25	8.05	5.55	5.10	4.49	10.24	6.88	9.71	8.17	7.30	
Irrtumswahrscheinlichkeit	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Bewertung	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
Bewertung	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	hoch signif.	signif.	signif.	hoch signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.

Niederschlag	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter	
Beginn	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2001
Ende	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
N	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	100
Mittelwert	69.68	66.91	58.59	56.04	66.85	84.28	79.04	61.87	46.82	56.10	66.87	79.36	792.41	181.48	225.19	169.79	216.52	
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																		
m	0.17	0.15	0.12	0.05	0.01	-0.06	-0.45	-0.43	-0.03	-0.05	-0.01	0.14	-0.38	0.18	-0.93	-0.09	0.46	
c	-287.53	-238.70	-193.76	-40.88	52.97	197.57	1002.99	940.10	102.82	158.81	85.29	-209.97	1569.70	-181.67	2140.66	346.92	-724.40	
R²	0.05	0.05	0.05	0.01	0.00	0.00	0.20	0.25	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.03	0.26	0.00	0.11	
absoluter Trend	17.42	14.91	12.31	4.73	0.68	-5.53	-45.07	-42.84	-2.73	-5.01	-0.90	14.11	-37.92	17.72	-93.44	-8.64	45.43	
relativer Trend	25.01	22.28	21.01	8.44	1.01	-6.56	-57.02	-69.24	-5.83	-8.93	-1.34	17.78	-4.78	9.76	-41.49	-5.09	20.98	
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																		
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	negativ	negativ	negativ	negativ	negativ	negativ	positiv	negativ	positiv	negativ	negativ	positiv	
Mann-Kendall-Trendwert Q	2.39	2.54	2.18	0.77	0.23	-0.60	-4.42	-4.89	-0.42	-0.51	-0.73	1.55	-1.03	2.54	-5.01	-0.66	3.37	
Irrtumswahrscheinlichkeit	0.05	0.05	0.05	nicht	nicht	nicht	hoch	hoch	nicht	nicht	schwach	nicht	nicht	hoch	nicht	nicht	hoch	
Bewertung	signifikant	signifikant	signifikant	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	nicht signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signifikant	signif.	signif.	signif.	

## Trendstatistik HadCM3 A2

Temperatur	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter	
Beginn	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2001
Ende	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Mittelwert	0.45	1.39	3.67	7.76	12.03	16.10	18.19	17.67	14.39	9.32	4.55	1.35	8.91	7.82	17.32	9.42	1.06	
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																		
m	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.06	0.05	0.04	0.05	0.05	0.04	0.05	0.05	0.05	0.04
c	-76.67	-87.55	-69.41	-65.13	-70.99	-67.78	-91.02	-107.86	-109.39	-86.13	-79.07	-98.72	-84.14	-68.51	-88.89	-91.53	-87.25	
R²	0.16	0.23	0.23	0.29	0.45	0.49	0.65	0.58	0.53	0.39	0.25	0.22	0.75	0.50	0.71	0.58	0.30	
absoluter Trend	3.73	4.30	3.53	3.52	4.01	4.05	5.28	6.06	5.98	4.61	4.04	4.83	4.49	3.69	5.13	4.88	4.22	
relativer Trend	834.31	308.77	96.13	45.36	33.33	25.16	29.00	34.32	41.54	49.46	88.71	357.09	50.46	47.14	29.62	51.75	397.16	
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																		
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	3.88	5.02	4.74	5.24	7.06	7.39	9.02	8.52	7.88	6.43	5.05	5.20	10.09	7.38	9.76	8.19	5.53	
Irrtumswahrscheinlichkeit	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Bewertung	hoch signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	hoch signif.	signif.	signif.	hoch signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	hoch signif.	
<b>Niederschlag</b>																		
Beginn	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2001
Ende	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Mittelwert	69.99	63.01	59.24	52.31	72.06	86.75	80.36	59.87	48.65	56.92	66.93	73.94	790.02	183.61	226.98	172.49	207.39	
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																		
m	0.08	0.00	0.17	0.16	0.16	-0.02	-0.46	-0.35	-0.20	-0.03	0.12	0.14	-0.23	0.49	-0.83	-0.11	0.19	
c	-86.24	59.56	-293.69	-284.58	-250.87	120.54	1029.96	784.99	453.89	120.52	-178.45	-223.20	1252.42	-829.14	1935.49	395.95	-188.89	
R²	0.01	0.00	0.06	0.07	0.05	0.00	0.22	0.17	0.08	0.00	0.02	0.03	0.01	0.16	0.21	0.01	0.02	
absoluter Trend	7.55	0.17	17.05	16.27	15.60	-1.63	-45.87	-35.03	-19.58	-3.07	11.85	14.35	-22.34	48.92	-82.53	-10.79	18.94	
relativer Trend	10.78	0.26	28.78	31.11	21.65	-1.88	-57.08	-58.51	-40.24	-5.40	17.71	19.41	-2.83	26.64	-36.36	-6.26	9.13	
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																		
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	negativ	negativ	negativ	negativ	negativ	positiv	positiv	negativ	positiv	negativ	negativ	negativ	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	1.40	0.15	2.05	2.33	1.80	-0.25	-5.02	-4.16	-2.70	-0.31	1.04	1.57	-0.34	3.86	-4.45	-0.64	1.38	
Irrtumswahrscheinlichkeit	0.2		0.05	0.05	0.1		0.001	0.001	0.01			0.2		0.001	0.001		0.2	
Bewertung	schwach signif.	nicht signif.	signifikant	signifikant	signifikant	nicht signif.	hoch signif.	hoch signif.	signifikant	nicht signif.	nicht signif.	schwach signif.	nicht signif.	hoch signif.	hoch signif.	nicht signif.	schwach signif.	

## Trendstatistik HadCM3 B1

Temperatur	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter
Beginn	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2001
Ende	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Mittelwert	-0.13	0.51	3.04	7.22	11.62	15.50	17.64	16.84	13.41	8.86	4.50	1.42	8.37	7.29	16.66	8.92	0.60
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																	
m	0.02	0.03	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03
c	-51.26	-56.72	-22.81	-23.61	-37.42	-36.72	-35.66	-64.04	-50.22	-67.33	-60.06	-87.66	-49.46	-27.95	-45.47	-59.20	-62.02
R <sup>2</sup>	0.06	0.09	0.04	0.08	0.17	0.26	0.26	0.47	0.34	0.33	0.21	0.18	0.52	0.16	0.53	0.50	0.19
absoluter Trend	2.47	2.76	1.25	1.49	2.37	2.52	2.57	3.91	3.07	3.68	3.12	4.30	2.79	1.70	3.00	3.29	2.99
relativer Trend	-1894.23	540.47	41.13	20.62	20.39	16.28	14.60	23.20	22.93	41.52	69.27	303.46	33.38	23.35	18.02	36.88	495.73
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																	
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	2.38	2.85	1.66	2.80	3.98	5.58	5.27	7.42	6.15	5.78	4.36	4.08	8.23	3.94	7.94	7.46	4.21
Irrtumswahrscheinlichkeit	0.05	0.01	0.1	0.01	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Bewertung	signifikant	signifikant	signifikant	signifikant	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.

Niederschlag	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter
Beginn	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2001
Ende	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Mittelwert	71.23	60.41	59.10	55.73	72.84	84.49	81.51	68.53	55.78	59.52	67.86	72.23	809.23	187.67	234.53	183.17	203.98
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																	
m	0.07	0.01	0.06	-0.01	-0.12	-0.04	-0.27	-0.13	-0.06	0.06	0.08	0.24	-0.11	-0.07	-0.45	0.08	0.31
c	-75.11	39.82	-67.29	85.59	309.10	174.92	633.62	341.61	173.18	-55.65	-100.60	-422.43	1036.76	327.40	1150.15	16.93	-431.96
R <sup>2</sup>	0.01	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00	0.09	0.03	0.01	0.01	0.01	0.08	0.00	0.00	0.07	0.00	0.05
absoluter Trend	7.07	0.99	6.11	-1.44	-11.41	-4.37	-26.67	-13.19	-5.67	5.56	8.14	23.89	-10.99	-6.75	-44.23	8.03	30.40
relativer Trend	9.92	1.65	10.33	-2.59	-15.67	-5.17	-32.72	-19.25	-10.17	9.35	11.99	33.08	-1.36	-3.60	-18.86	4.38	14.90
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																	
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	negativ	negativ	negativ	negativ	negativ	negativ	positiv	positiv	positiv	negativ	negativ	negativ	positiv	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	0.60	0.13	0.70	-0.01	-1.96	-0.52	-2.75	-1.54	-1.01	0.38	0.96	2.77	-0.62	-0.64	-2.85	0.29	2.13
Irrtumswahrscheinlichkeit					0.1		0.01		0.2			0.01			0.01		0.05
Bewertung	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	signifikant	nicht signif.	signifikant	schwach signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	signifikant	nicht signif.	nicht signif.	signifikant	nicht signif.	signifikant

## **Zusammenfassung:**

### Kontroll-Lauf

Die Jahresmitteltemperatur beträgt 6,8 °C. Im kältesten Monat, dem Januar, gehen die Temperaturen im Mittel auf -1,7 °C zurück, im Einzelfall bis auf -19,3 °C. für den gesamten Winter ergibt sich eine Mitteltemperatur von -1,2 °C. Wärmster Monat ist der Juli mit 16,2 °C (Maximum 26,8 °C).

Im Jahresverlauf fallen 786 mm Niederschlag. Die höchsten Niederschläge können in den Sommermonaten beobachtet werden (Sommersumme 254 mm). Im Mittel weist der Juli die höchsten Niederschlagssummen auf (92 mm). Die höchste monatliche Niederschlagssumme (339 mm) wurde für den Juni simuliert. In Einzeljahren können an den Rasterpunkten jedoch auch vergleichsweise trockene Monate auftreten. Dies betrifft vor allem die Frühjahrs, Sommer und Herbstmonate (Einzelbeobachtungen von < 5 mm pro Monat).

### Klimatrends im 21. Jahrhundert

*A1B – Szenario:* Der Erwärmungstrend im 21. Jahrhundert beträgt im Jahresmittel 4,5 K. Hierbei sind die Jahreszeiten bzw. Einzelmonate unterschiedlich stark betroffen. Am höchsten fallen die Erwärmungsraten im Sommer (+5,6 K) bzw. Hochsommer (Juli +5,5 K, August +6,4 K) aus. Im Vergleich dazu weniger stark betroffen sind die Frühjahrsmonate mit einem mittleren Trend von +3,4 K.

Im Jahresmittel ergeben sich für das Niederschlagsregime keine signifikanten Trends. Jedoch besteht im Sommer ein hoch signifikanter Trend zu abnehmenden Niederschlägen (-41 %). Am deutlichsten sind hier ebenfalls die Monate Juli (-57 %) und August (-69 %) betroffen. Im Gegensatz dazu ist im Winter ein Zunahmetrend von ca. 21 % zu verzeichnen. Undeutlicher ausgeprägte Entwicklungen können für die Übergangsjahreszeiten Frühjahr (Zunahme um 10 %) und den Herbst (-5 %) festgestellt werden.

*A2 - Szenario:* Der Temperaturzunahmetrend beträgt im Jahresmittel 4,5 K, wobei die stärkste Erwärmung auf den Sommer fällt (im Juli +5,3 K, im August und September ca. +6 K). Während dieser Monate besteht weiterhin ein signifikanter bzw. hoch signifikanter Trend zur Niederschlagsabnahme (Juli und August ca. -58 %, September -40 %). Für den Jahresniederschlag ergeben sich jedoch kaum Änderungen, da deutlich zunehmende Frühjahrsniederschläge (+27 %) sowie eine leichte Niederschlagszunahme im Winter (+9 %) dem Abnahmetrend im Sommer rechnerisch ausgleichen.

*B1- Szenario:* Im Mittel beträgt der Erwärmungstrend +2,8 K. Sommer und Winter sind hierbei in etwa gleich stark betroffen (+3 K), am deutlichsten tritt die Erwärmung im Herbst zu Tage (+3,3 K). Mit +1,7 K fällt die Erwärmung im Frühjahr wesentlich schwächer aus.

Für die Niederschläge ergeben sich signifikante Änderungen im Sommer (-19 %, Juli -33 %). In den Monaten Oktober bis März können leichte, bis auf den Dezember mit +33 %, jedoch nicht signifikante Niederschlagszunahmetrends verzeichnet werden.



#### Vergleichende Beschreibung der Emissionsszenarios

Zunächst kann festgehalten werden, dass die Erwärmungsraten des Szenarios B1 deutlich unter denen von A2 und A1B liegen. Zwischen A2 und A1B bestehen im Jahresmittel keine deutlichen Unterschiede hinsichtlich des Grades der Erwärmung im 21. Jahrhundert. Eine tiefgehende Beurteilung des weitergehenden Temperaturverlaufs soll an dieser Stelle nicht erfolgen. Die vorliegenden Daten bis 2200 für das A1B-Szenario deuten jedoch an, dass sich die Erwärmungsrate mit fortschreitender Zeit verringert, während die Erwärmung im Szenario A2 zumindest im Verlauf des 21. Jahrhundert keine Dämpfung des Erwärmungstrends erkennen lässt.

Bezüglich des Niederschlagsverhaltens besteht in allen Szenarios ein deutlicher Trend zu Niederschlagsabnahmen im Sommer, vor allem in den Monaten Juli, August sowie im September. In den Monaten Dezember bis April ergeben sich in den Szenarios A2 und A1B Zunahmetrends. Insbesondere aufgrund der ausgleichenden Wirkung der Niederschlagszunahmen im Winter, teilweise auch im Frühjahr und Herbst, sind im Jahresmittel in allen untersuchten Emissionsszenarios nur unwesentlichen Veränderungen festzustellen.

### 3.1.9 HadGEM – Hadley Centre Global Environmental Model (version 1)

**Modellbetreibende Institution:**

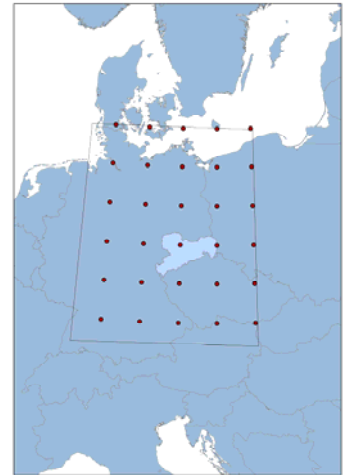
Met Office (METO)/Hadley Centre, Großbritannien

**Datenquellen/Datensätze:** CERA-Datenbank (DKRZ)

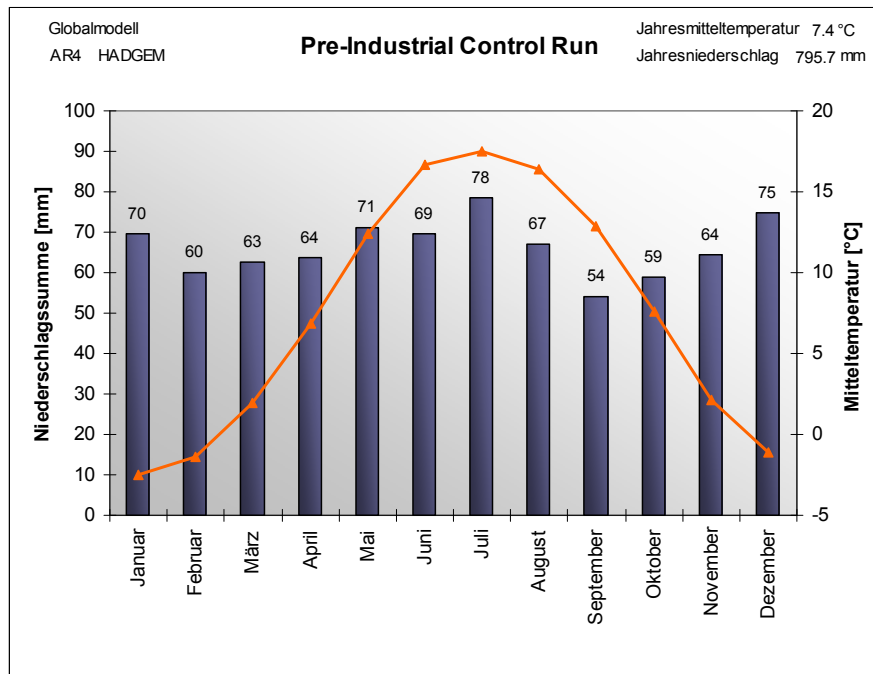
- IPCC DDC AR4 UKMO-HadGEM PICNTRL run 1
- IPCC DDC AR4 UKMO-HadGEM SRESA1B run 1
- IPCC DDC AR4 UKMO-HadGEM SRESA2 run 1

**Untersuchungsgebiet:** 8-17° ö. L./48-55° n. Br.

**Anzahl der Gitterpunkte:** 30 (5 x 6)



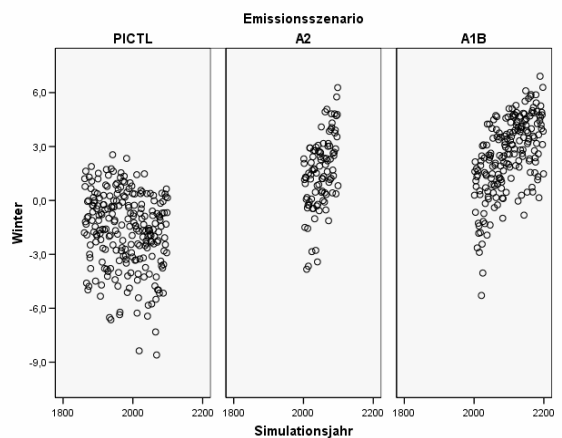
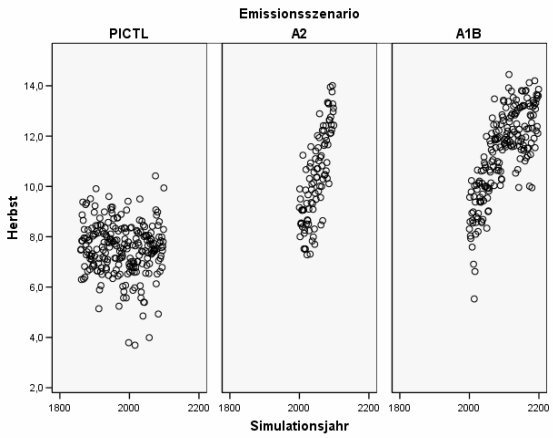
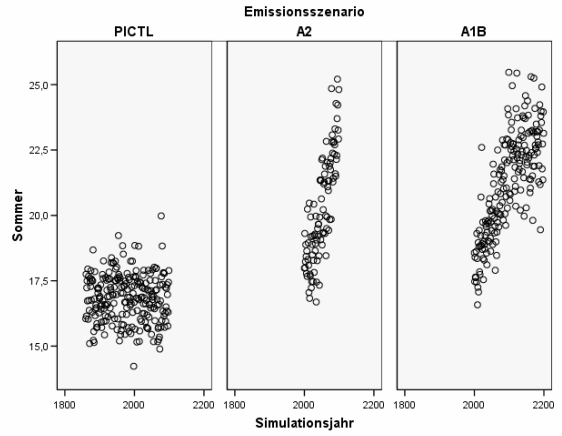
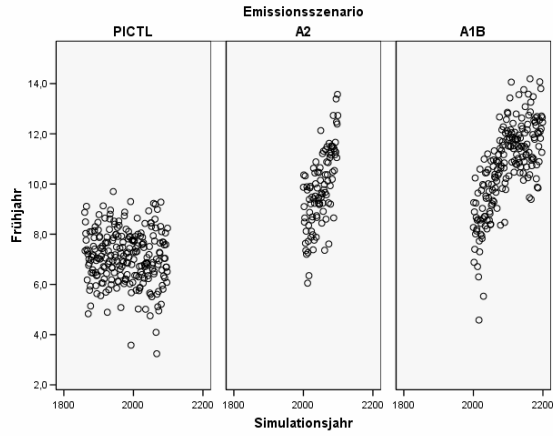
**Statistische Kennzahlen Kontroll-Lauf (PICTL):** für 30 Gitterpunkte x 240 Simulationsjahre



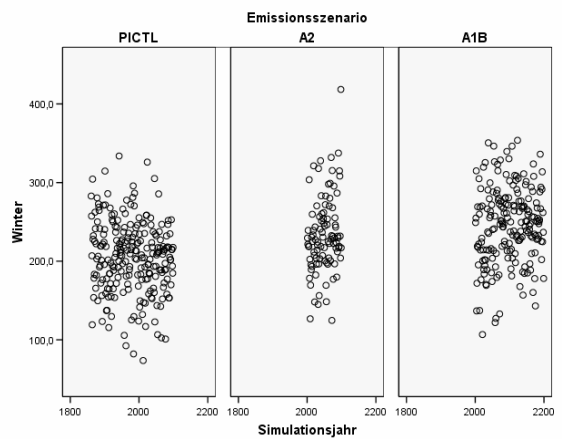
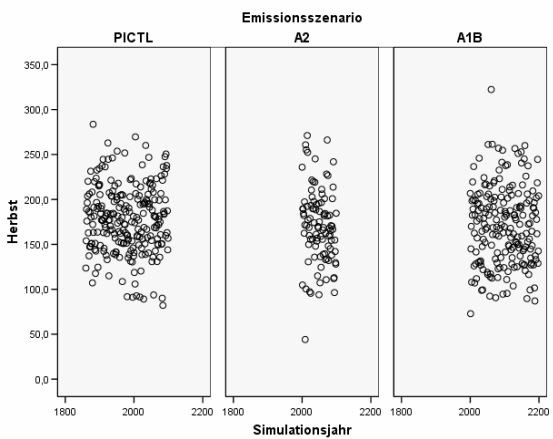
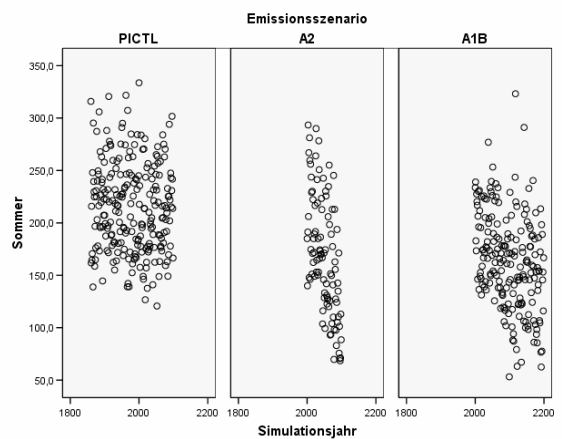
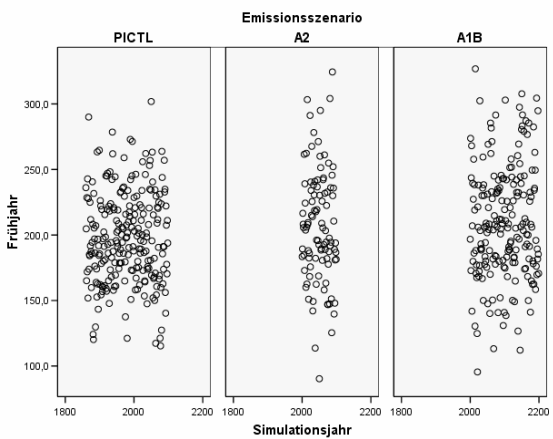
Temperatur	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	FJ	SO	HE	WI
Mittelwert	-2.5	-1.4	1.9	6.9	12.4	16.6	17.5	16.4	12.8	7.6	2.1	-1.1	7.4	7.1	16.9	7.5	-1.7
Std.abw.	4.0	3.6	2.2	1.9	2.1	2.1	1.8	1.6	1.5	1.8	2.5	3.1	1.0	1.5	1.5	1.4	2.8
Minimum	-21.3	-21.9	-14.3	-1.8	1.9	7.4	11.4	11.6	7.3	1.5	-10.0	-14.0	3.7	-0.5	10.9	2.3	-14.4
Maximum	5.1	5.8	7.5	12.5	17.6	22.9	26.7	22.3	18.6	13.3	8.9	6.2	10.1	10.9	23.5	12.6	4.3
Spannweite	26.4	27.7	21.8	14.3	15.7	15.5	15.2	10.7	11.3	11.8	18.9	20.3	6.4	11.4	12.6	10.3	18.7
N	7200	7200	7200	7170	7200	7170	7200	7200	7200	7200	7200	7200	7140	7170	7170	7200	7170

Niederschlag	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	FJ	SO	HE	WI
Mittelwert	69.7	60.1	62.5	63.8	71.2	69.5	78.4	67.0	54.3	59.1	64.3	74.9	795.7	197.6	214.9	177.6	204.8
Std.abw.	34.4	29.9	31.2	30.6	36.2	40.6	40.0	35.2	29.5	30.0	30.8	35.6	207.5	71.3	91.2	57.9	67.7
Minimum	4.2	2.5	3.5	2.2	1.2	0.7	2.2	2.6	0.8	1.1	7.0	6.9	383.1	33.4	28.1	39.9	31.3
Maximum	282.5	241.2	268.3	243.3	245.7	261.5	297.3	252.1	217.3	239.2	329.5	401.3	1836.4	564.4	662.2	542.2	697.7
Spannweite	278.3	238.7	264.9	241.1	244.5	260.8	295.1	249.5	216.6	238.2	322.5	394.4	1453.3	531.1	634.1	502.3	666.3
N	7200	7200	7200	7170	7200	7170	7200	7200	7200	7200	7200	7200	7140	7170	7170	7200	7170

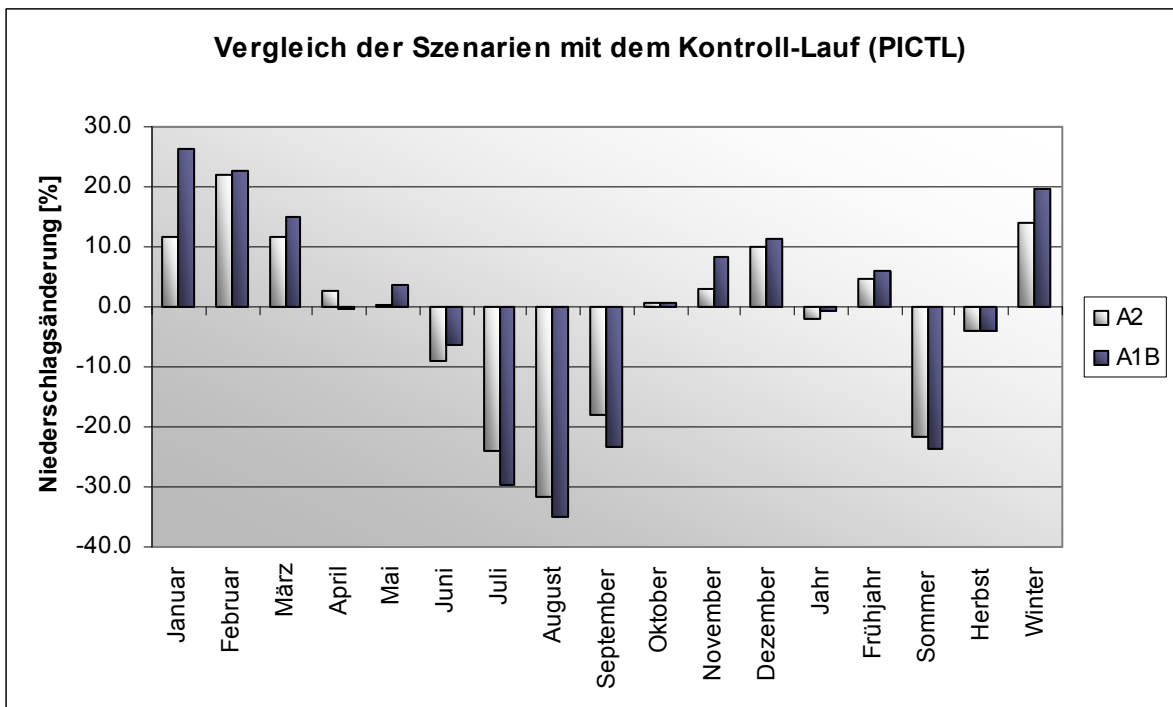
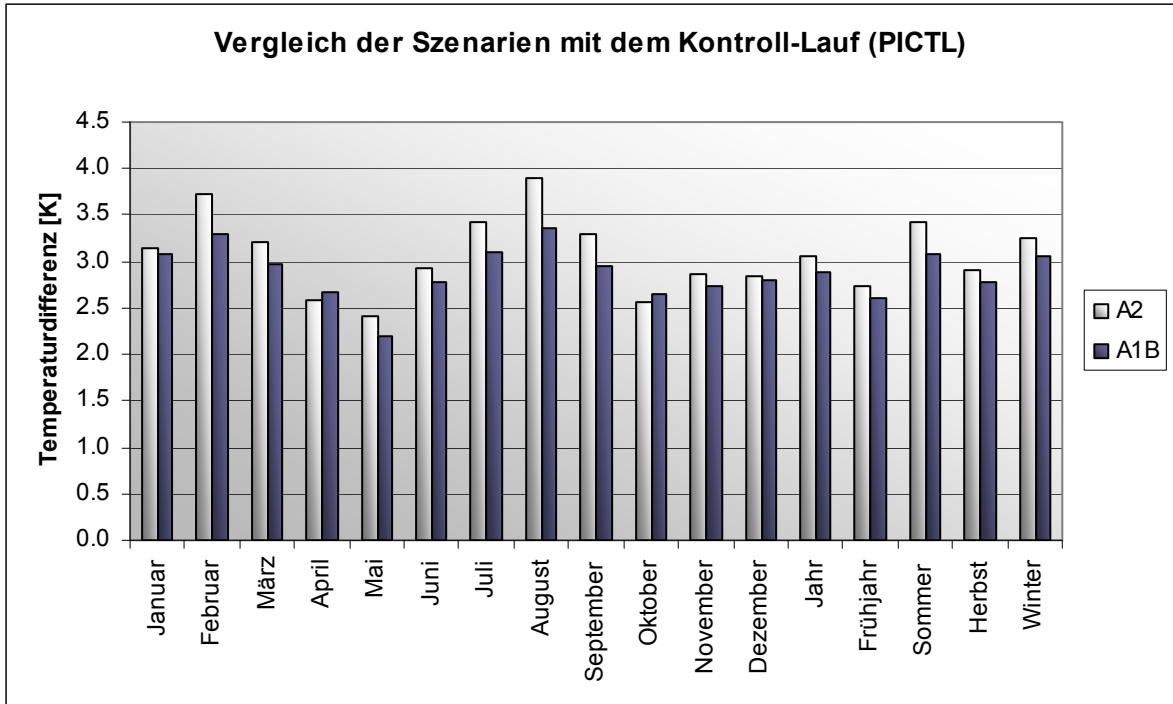
**Projizierter Verlauf der mittleren Temperaturen [°C] im Untersuchungsgebiet:**



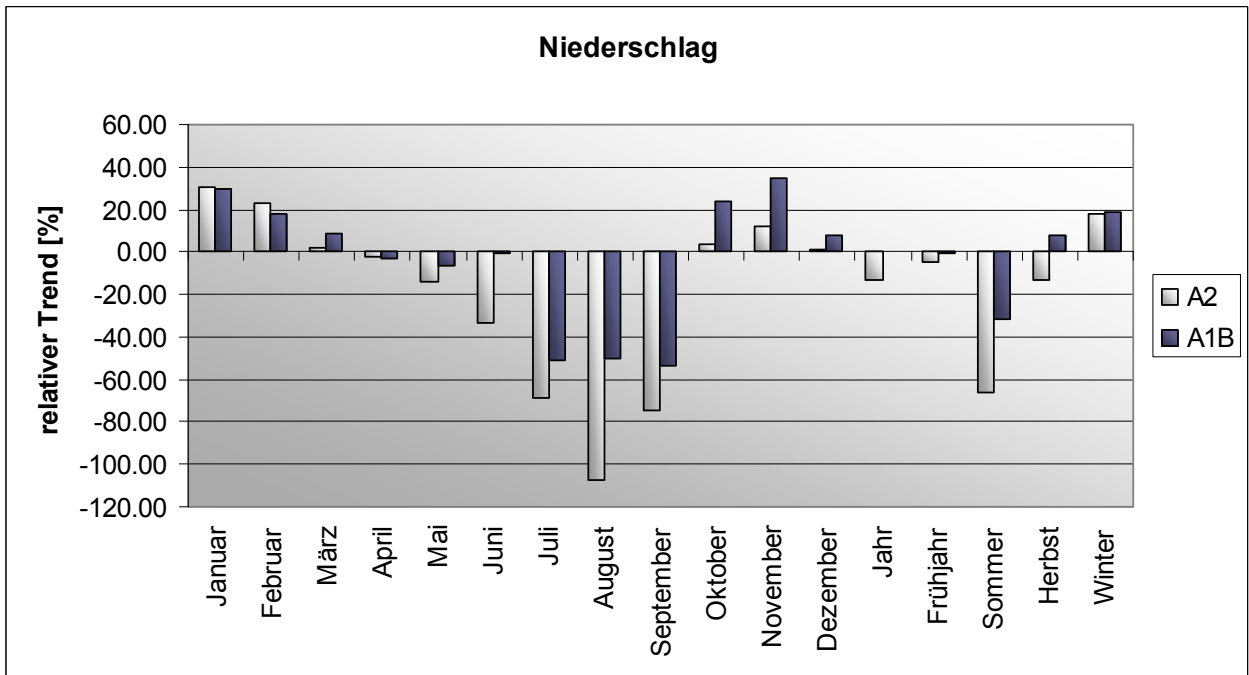
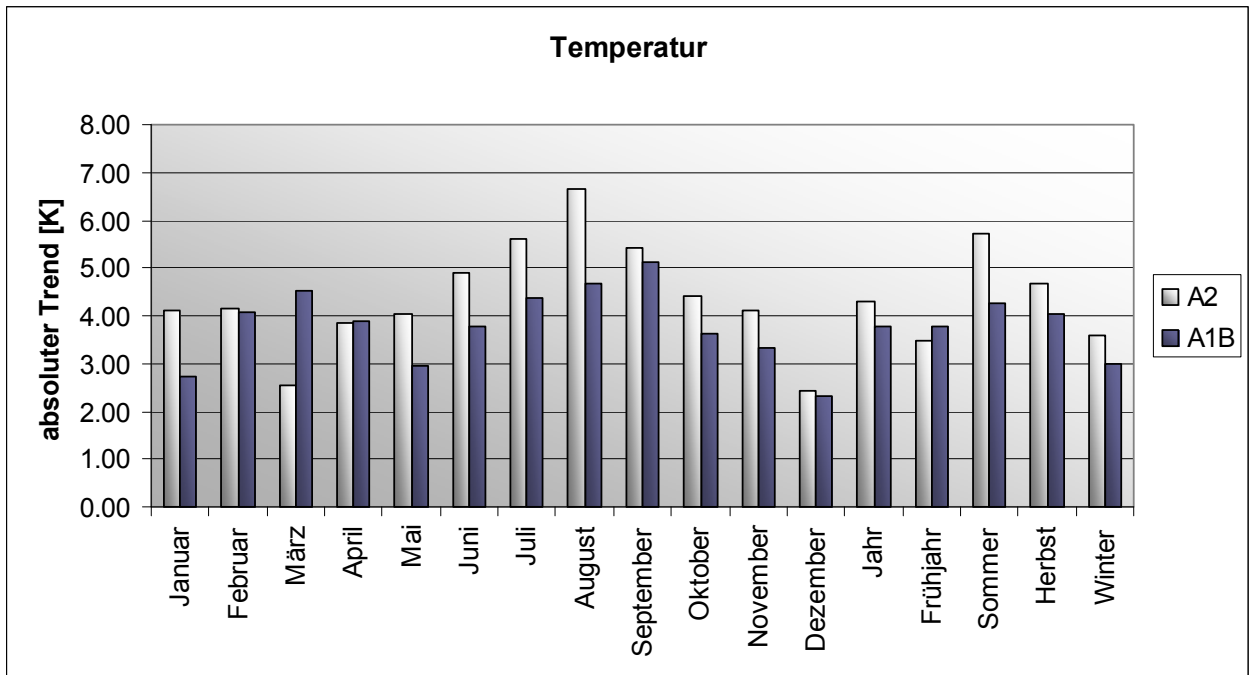
**Projizierter Verlauf der mittleren Niederschlagssummen [mm] im Untersuchungsgebiet:**



Klimaänderungssignale des Modells (Emissionsszenarios im 21. Jahrhundert/Kontroll-Lauf):



**Temperatur- und Niederschlagstrends im 21. Jahrhundert:**



## Trendstatistik HadGEM A1B

Temperatur	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter
Beginn	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2001
Ende	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Mittelwert	0.59	1.87	4.91	9.56	14.61	19.43	20.61	19.76	15.78	10.23	4.83	1.70	10.32	9.69	19.93	10.28	1.38
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																	
m	0.03	0.04	0.05	0.04	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.04	0.03	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03
c	-56.27	-82.75	-88.91	-71.15	-46.45	-58.85	-69.97	-76.80	-90.29	-65.20	-63.82	-46.06	-68.04	-68.84	-68.54	-73.10	-61.31
R²	0.07	0.20	0.36	0.36	0.27	0.34	0.34	0.50	0.55	0.39	0.22	0.08	0.72	0.50	0.57	0.58	0.20
absoluter Trend	2.75	4.09	4.53	3.90	2.95	3.78	4.38	4.66	5.12	3.64	3.32	2.31	3.79	3.79	4.27	4.03	3.00
relativer Trend	467.51	219.09	92.24	40.79	20.19	19.46	21.23	23.60	32.47	35.63	68.68	135.67	36.67	39.14	21.44	39.19	217.15
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																	
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	2.79	4.65	6.30	6.10	5.09	5.97	6.06	7.91	8.01	6.62	4.96	2.56	10.19	7.80	8.73	8.42	4.23
Irrtumswahrscheinlichkeit	0.01	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.05	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Bewertung	signifikant	hoch signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	hoch signif.	signif.	signif.	signifikant	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.
<b>Niederschlag</b>																	
Beginn	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2001
Ende	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Mittelwert	85.86	71.57	70.29	63.34	71.83	65.32	60.91	49.34	44.98	58.02	68.67	84.58	794.72	205.47	175.57	171.67	241.80
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																	
m	0.26	0.13	0.06	-0.02	-0.04	0.00	-0.31	-0.25	-0.24	0.14	0.24	0.07	0.02	0.00	-0.57	0.14	0.45
c	-442.52	-192.25	-53.30	106.51	162.38	74.56	702.16	559.61	546.86	-231.16	-428.93	-53.88	750.03	215.59	1336.33	-113.23	-689.08
R²	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.12	0.10	0.03	0.06	0.00	0.00	0.00	0.17	0.01	0.06
absoluter Trend	25.52	12.74	5.97	-2.09	-4.37	-0.45	-30.98	-24.65	-24.24	13.97	24.04	6.69	2.16	-0.49	-56.07	13.76	44.50
relativer Trend	29.73	17.81	8.49	-3.29	-6.09	-0.68	-50.86	-49.95	-53.90	24.08	35.00	7.91	0.27	-0.24	-31.94	8.02	18.40
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																	
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	negativ	negativ	positiv	negativ	negativ	negativ	positiv	positiv	positiv	negativ	positiv	negativ	positiv	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	2.42	1.51	0.58	-0.30	-0.50	0.35	-3.92	-3.77	-3.32	1.23	2.24	0.66	-0.04	0.45	-3.93	0.66	2.42
Irrtumswahrscheinlichkeit	0.05	0.2					0.001	0.001	0.001		0.05				0.001		0.05
Bewertung	signifikant	schwach signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	nicht signif.	signifikant	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	hoch signif.	nicht signif.	signifikant

## Trendstatistik HadGEM A2

Temperatur	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter
Beginn	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2001
Ende	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2098	2098	2099	2099	2099	2099
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	100	100	100	99
Mittelwert	0.65	2.31	5.16	9.46	14.82	19.57	20.92	20.32	16.13	10.14	4.97	1.74	10.49	9.81	20.27	10.41	1.57
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																	
m	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	0.07	0.05	0.04	0.04	0.02	0.04	0.04	0.06	0.05	0.04
c	-84.72	-83.58	-47.21	-70.42	-68.46	-81.85	-95.02	-117.70	-96.36	-80.98	-80.53	-49.22	-79.34	-62.03	-98.19	-85.95	-73.37
R <sup>2</sup>	0.16	0.25	0.13	0.36	0.43	0.47	0.47	0.61	0.57	0.38	0.28	0.08	0.70	0.45	0.67	0.60	0.27
absoluter Trend	4.12	4.15	2.53	3.86	4.02	4.90	5.60	6.67	5.43	4.40	4.13	2.44	4.30	3.47	5.72	4.65	3.58
relativer Trend	633.93	179.85	49.05	40.80	27.14	25.03	26.77	32.82	33.69	43.39	83.15	140.42	40.95	35.37	28.23	44.70	227.98
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																	
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	4.19	4.84	3.73	6.17	6.62	7.62	6.94	8.45	7.97	6.76	5.55	3.17	9.36	7.20	9.20	8.45	5.08
Irrtumswahrscheinlichkeit	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.01	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Bewertung	signif.	hoch signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	hoch signif.	signif.	signif.	signifikant	signif.	signif.	signif.	signif.

Niederschlag	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter
Beginn	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2001
Ende	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2098	2098	2099	2099	2099	2099
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	100	100	100	99
Mittelwert	77.86	73.30	69.86	65.38	71.36	63.29	59.46	45.85	44.48	59.44	66.28	82.52	779.83	206.60	168.60	170.20	233.51
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																	
m	0.24	0.17	0.01	-0.02	-0.10	-0.21	-0.41	-0.50	-0.34	0.02	0.08	0.01	-1.03	-0.10	-1.12	-0.23	0.44
c	-408.41	-269.93	39.99	101.14	278.87	498.39	901.95	1064.22	733.46	11.35	-97.94	65.18	2889.65	420.00	2464.56	646.87	-659.14
R <sup>2</sup>	0.06	0.03	0.00	0.00	0.02	0.07	0.19	0.32	0.20	0.00	0.01	0.00	0.08	0.00	0.34	0.03	0.07
absoluter Trend	23.49	16.58	1.44	-1.73	-10.02	-21.02	-40.70	-49.19	-33.28	2.32	7.93	0.83	-100.91	-10.31	-110.90	-23.03	42.67
relativer Trend	30.17	22.62	2.07	-2.64	-14.05	-33.21	-68.44	-107.29	-74.82	3.91	11.97	1.01	-12.94	-4.99	-65.78	-13.53	18.27
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																	
Trendrichtung	positiv	positiv	negativ	negativ	negativ	negativ	negativ	negativ	negativ	negativ	positiv	negativ	negativ	negativ	negativ	negativ	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	2.30	1.58	-0.26	-0.57	-1.07	-2.47	-4.60	-5.87	-4.53	-0.14	0.70	-0.08	-3.08	-0.80	-6.06	-2.15	2.26
Irrtumswahrscheinlichkeit	0.05	0.2	nicht	nicht	nicht	0.05	0.001	0.001	0.001	nicht	nicht	nicht	0.01	nicht	0.001	0.05	0.05
Bewertung	signifikant	schwach signif.	signif.	signif.	signif.	signifikant	hoch	hoch	hoch signif.	signif.	signif.	signif.	signifikant	signif.	hoch	signifikant	signifikant

## **Zusammenfassung:**

### Kontroll-Lauf

Aus dem Modell ergibt sich eine Jahresmitteltemperatur von 7,4 °C. Wärmster Monat ist der Juli mit 17,5 °C (Maximum 26,7 °C), im Januar gehen die Mitteltemperaturen mit -2,5 °C (Minimum -21,3 °C) am stärksten zurück. Von insgesamt 769 mm Jahresniederschlag entfällt der größte Anteil auf den Sommer (215 mm). Der niederschlagsreichste Monat ist der Juli mit 78 mm. In Einzelfällen können im gesamten Jahresverlauf niedrige monatliche Niederschlagssummen von < 7 mm auftreten.

### Klimatrends im 21. Jahrhundert

*A1B – Szenario:* In diesem Szenario weist die Jahresmitteltemperatur einen hoch signifikanten Aufwärtstrend von 3,8 K auf. Im Sommer und Herbst fällt die Erwärmung mit +4,3 bzw. +4,0 K am stärksten aus. Entsprechend deutlich zeigt sich die Erwärmung in den Spätsommermonaten August (+4,7 K) und September (+5,1 K). In den Monaten um den Jahreswechsel ist der Erwärmungstrend am schwächsten ausgeprägt (Dezember +2,3 K, Januar +2,8 K).

Während die Jahresniederschlagssumme keinen signifikanten Trend aufweist, ist die Entwicklung in den Jahreszeiten durch signifikante Niederschlagsabnahmen (-32 % im Sommer) bzw. Niederschlagszunahmen (+18 % im Winter) gekennzeichnet. Für die Übergangsjahreszeiten fallen die Trends weniger deutlich aus (im Frühjahr keine wesentliche Veränderungstendenz, im Herbst leichte Zunahmetendenz von 8 %). Insbesondere die Monate Juli bis September sind von hoch signifikanten Niederschlagsabnahmen von ca. 50 % betroffen. Für den Zeitraum Oktober bis März ergibt sich in den Einzelmonaten ein undeutlicheres, jedoch positives Trendverhalten (Zunahmen der monatlichen Niederschlagssummen).

*A2 - Szenario:* Der Temperaturzunahmetrend beträgt im Jahresmittel 4,3 K. Mit +5,7 K fällt die stärkste Erwärmung auf den Sommer, insbesondere jedoch auf die Monate Juli (+5,6 K), August (+6,7 K) und September (+5,4 K). Frühjahr und Winter sind mit ca. 3,5 K Temperaturzunahme weniger stark betroffen.

Im Niederschlagsverhalten besteht ein ausgeprägter Trend zu sinkenden Sommerniederschlägen (-65 %), sinkenden Herbstniederschlägen (-14 %) sowie ansteigenden Winterniederschlägen (+18 %). Die relativen Trendbeträge in den Einzelmonaten weisen eine hohe Spannweite auf. Die stärksten Zunahmen sind im Januar mit 30 % zu verzeichnen, die stärksten Abnahmetrends ergeben sich rechnerisch für die Monate Juli (-68 %), August (-107 %) und September (-75 %).

### Vergleichende Beschreibung der Emissionsszenarios

Die Temperaturentwicklung in den Szenarios A1B und A2 unterscheidet sich hinsichtlich der Stärke der Erwärmung, jedoch nur unwesentlich hinsichtlich der jahreszeitlichen Unterschiede. Eine Ausnahme bildet hier ein im Szenario A1B deutlich stärker ausgeprägter Erwärmungstrend in den Monaten Februar bis April. Verallgemeinert liegen die Temperaturen im Szenario A2 über denen von A1B (die Differenz der Jahresmitteltemperaturen zwischen A2 und A1B im 21. Jahrhundert beträgt 0,5 K). Beim Vergleich des Niederschlagsverhaltens wird deutlich, dass die im Szenario A1B erkennbaren Abnahmetrends im Sommer im Szenario A2 in verschärfter Form zu Tage treten. Die zusätzlich abnehmenden Herbstniederschläge führen im Szenario A2 zu insgesamt trockeneren Verhältnissen als im Szenario A1B.



### 3.1.10 INM-CM3

#### Modellbetreibende Institution:

Institute for Numerical Mathematics (INM), Academy of Science, Russland

#### Datenquellen/Datensätze: CERA-Datenbank (DKRZ)

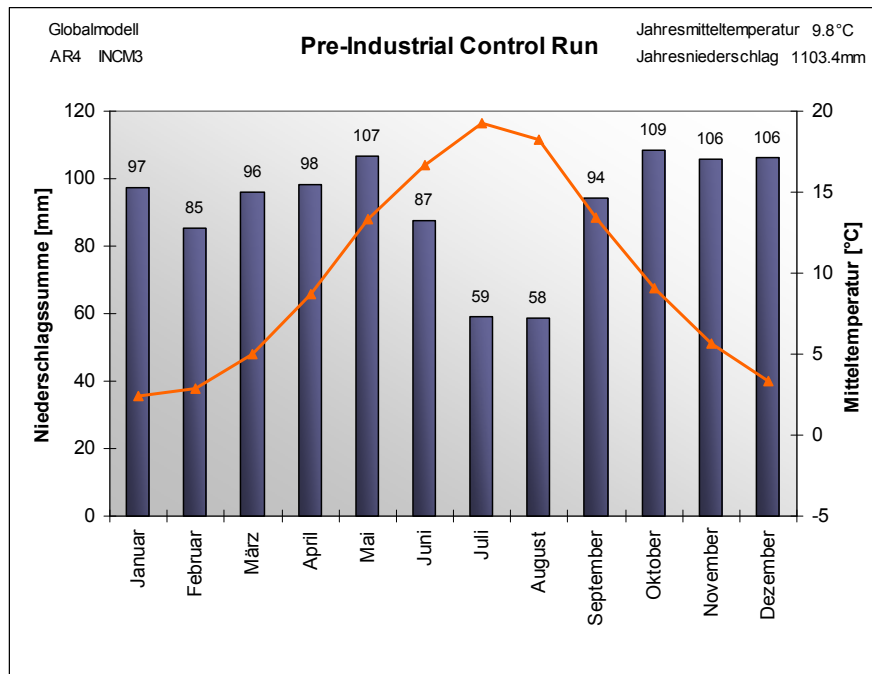
- IPCC DDC AR4 INM-CM3.0 PICNTRL run 1
- IPCC DDC AR4 INM-CM3.0 SRESA1B run 1
- IPCC DDC AR4 INM-CM3.0 SRESA2 run 1
- IPCC DDC AR4 INM-CM3.0 SRESB1 run 1

**Untersuchungsgebiet:** 8-17° ö. L./48-55° n. Br.

**Anzahl der Gitterpunkte:** 4 (2 x 2)



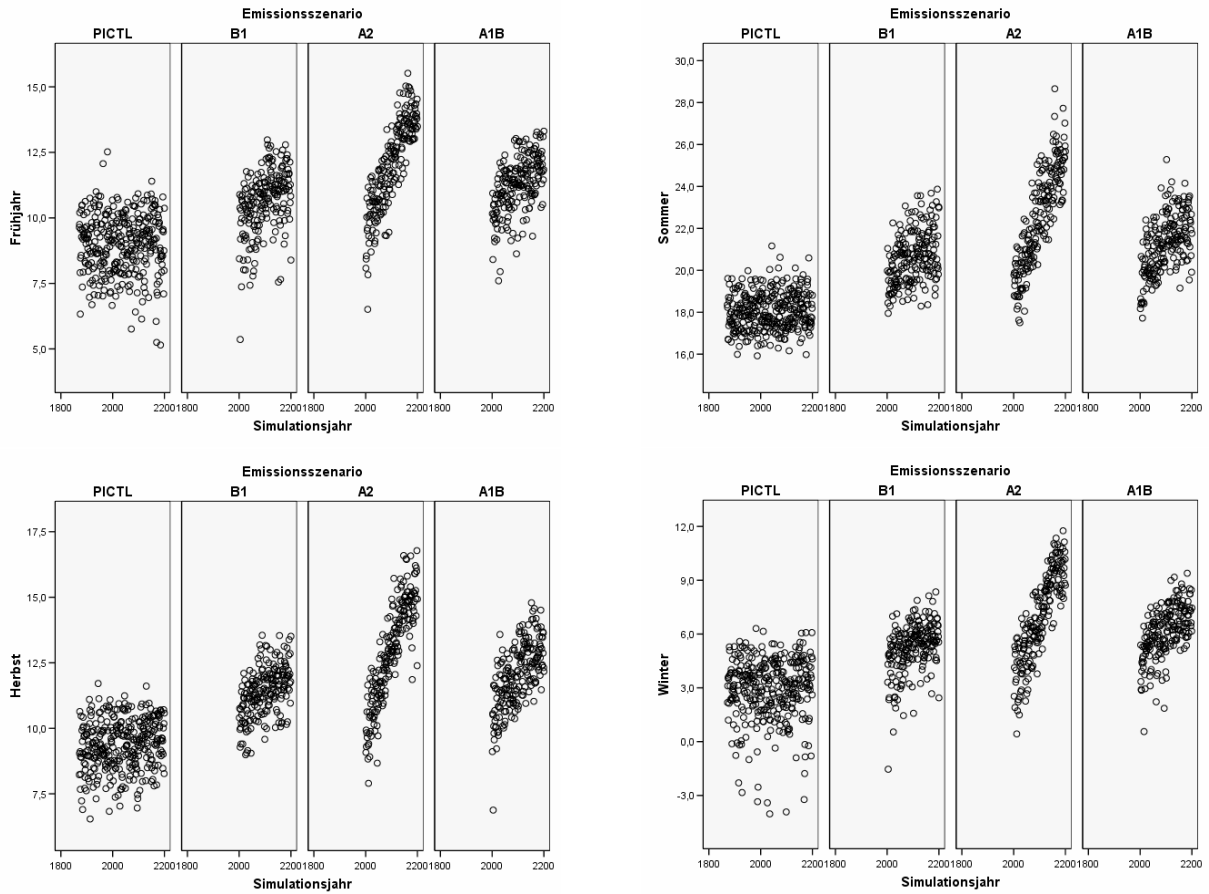
**Statistische Kennzahlen Kontroll-Lauf (PICTL):** für 4 Gitterpunkte x 330 Simulationsjahre



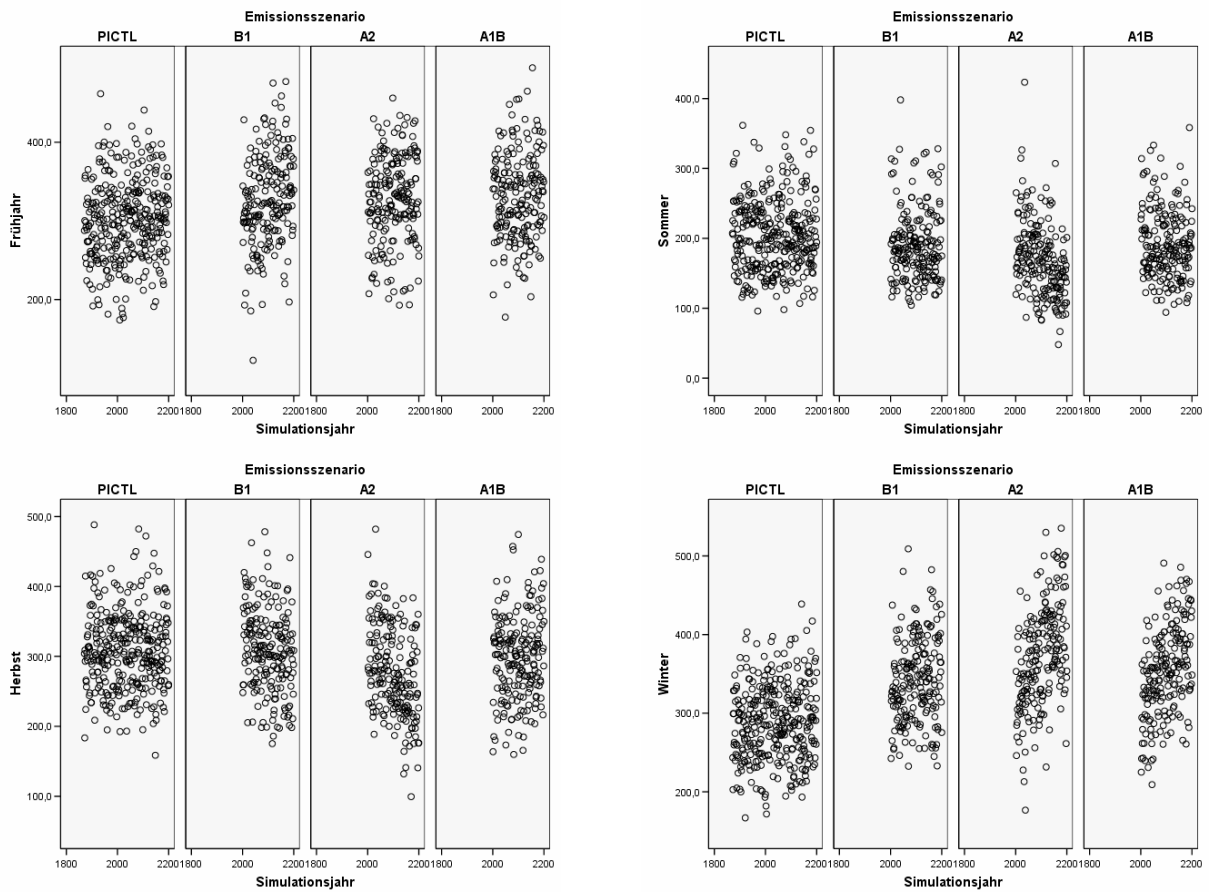
Temperatur	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	FJ	SO	HE	WI
Mittelwert	2.4	2.9	5.0	8.7	13.3	16.7	19.2	18.3	13.5	9.1	5.6	3.3	9.8	9.0	18.1	9.4	2.9
Std.abw.	2.6	2.8	2.2	1.7	1.3	1.3	1.9	1.8	1.4	1.8	2.1	2.6	0.8	1.2	1.2	1.1	1.9
Minimum	-9.7	-8.4	-7.8	2.7	8.8	13.1	14.0	12.9	9.4	1.9	-2.4	-13.6	6.0	4.5	15.3	6.0	-6.5
Maximum	8.0	8.9	10.5	14.3	18.1	24.2	26.0	25.1	18.9	14.2	10.2	8.6	11.7	13.3	22.5	12.2	7.0
Spannweite	17.7	17.2	18.3	11.7	9.3	11.1	12.0	12.2	9.5	12.3	12.6	22.1	5.7	8.8	7.2	6.2	13.5
N	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1316

Niederschlag	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	FJ	SO	HE	WI
Mittelwert	97.3	85.5	96.2	98.3	106.7	87.4	59.2	58.5	94.1	108.5	105.7	106.1	1103.4	301.2	205.1	308.3	289.0
Std.abw.	34.0	34.2	37.8	42.8	47.3	39.7	29.3	28.6	40.5	44.0	40.3	37.3	168.6	86.8	63.3	75.1	68.6
Minimum	21.8	11.9	12.3	5.1	5.0	6.5	4.7	6.8	12.9	10.4	15.4	16.3	594.2	86.2	72.8	91.0	103.4
Maximum	204.3	222.5	277.6	318.1	339.2	286.2	200.0	223.8	266.9	302.4	263.4	233.1	1674.5	620.9	516.4	586.1	530.6
Spannweite	182.5	210.7	265.3	313.0	334.2	279.7	195.3	216.9	254.0	292.0	248.0	216.8	1080.3	534.7	443.6	495.1	427.2
N	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1316

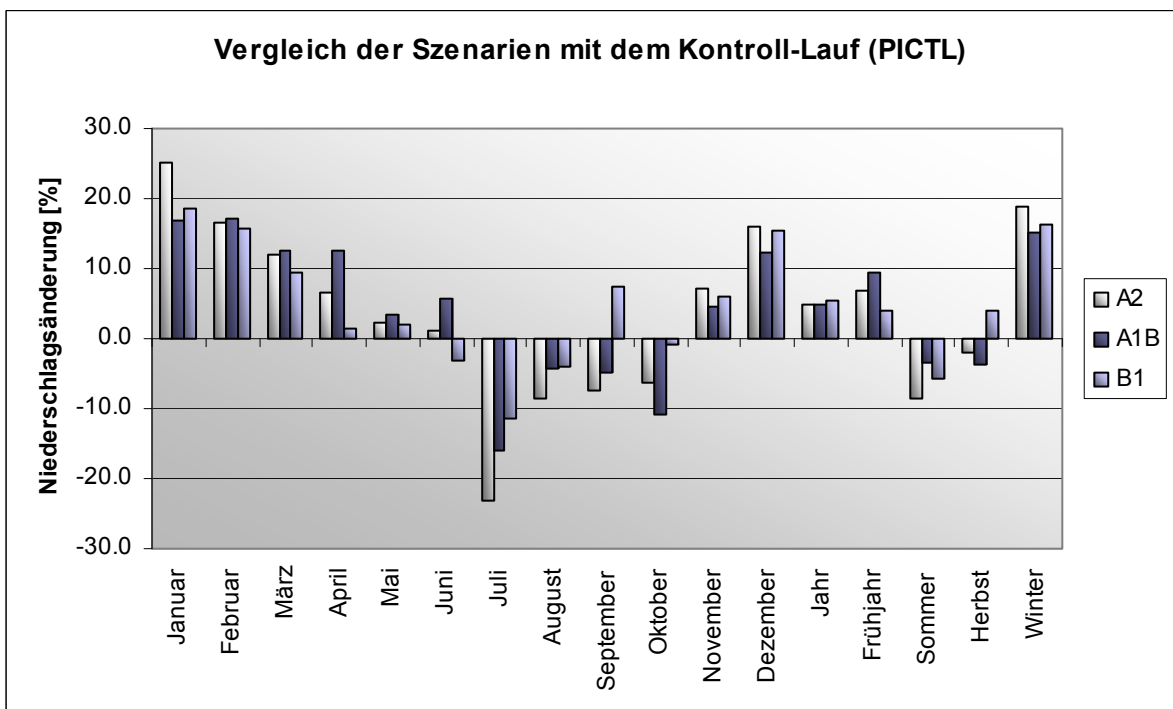
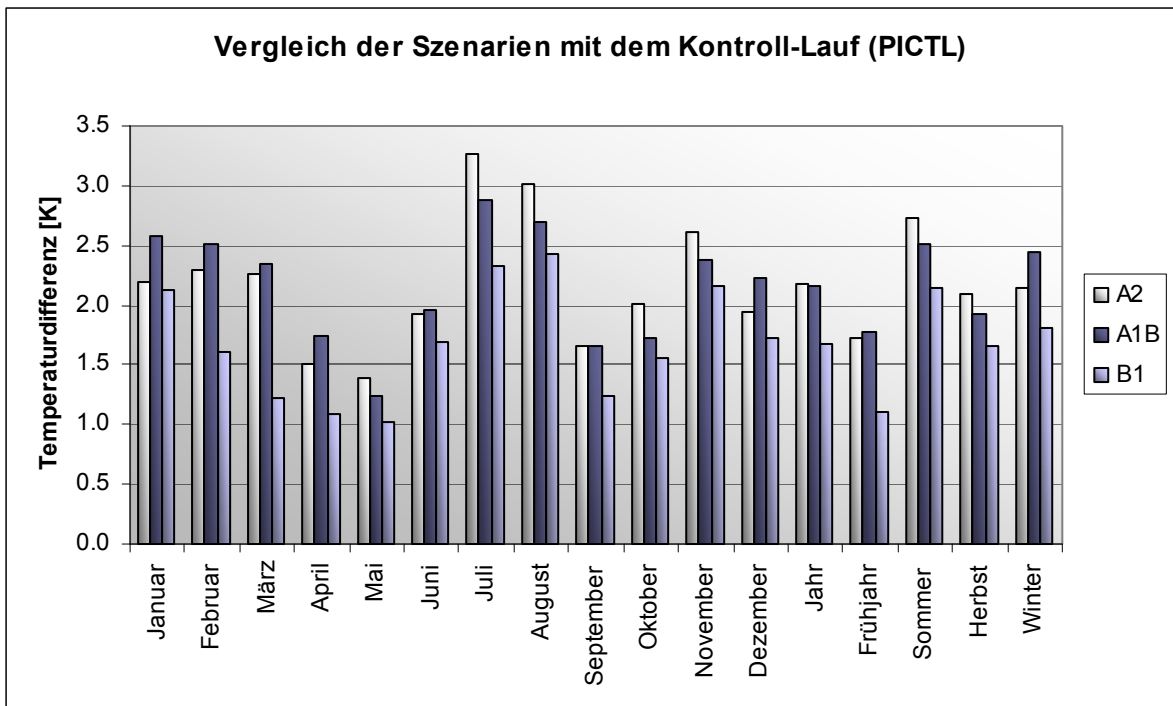
**Projizierter Verlauf der mittleren Temperaturen [°C] im Untersuchungsgebiet:**



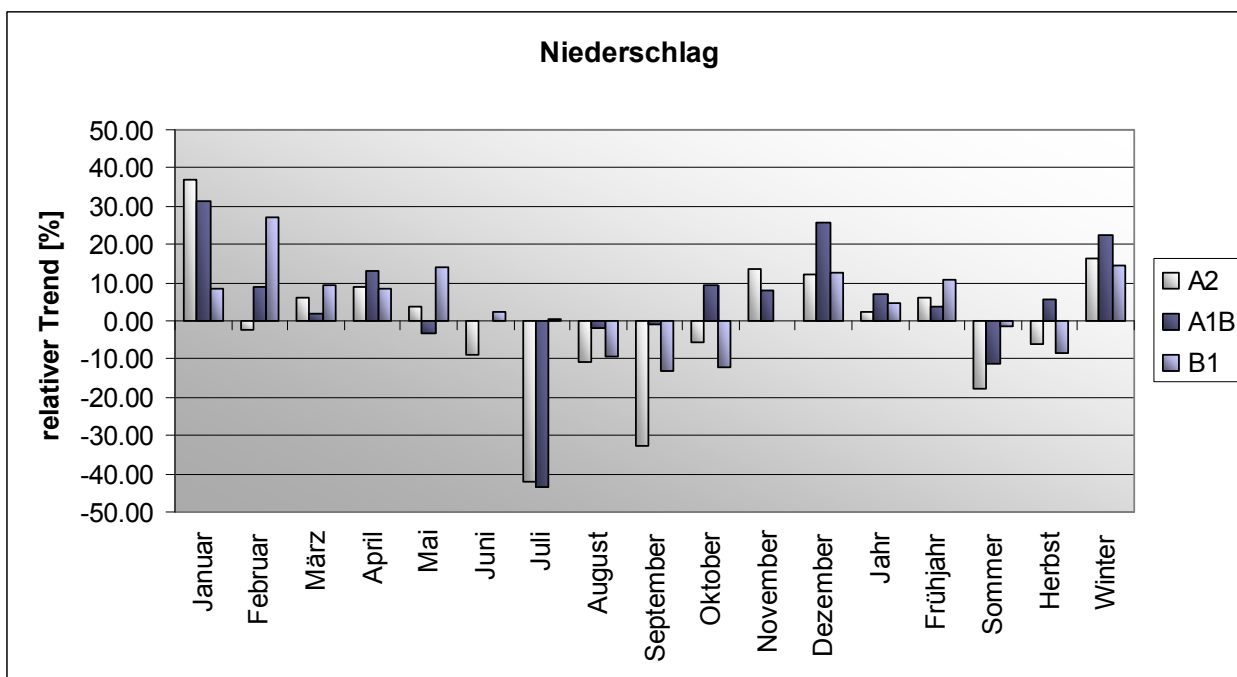
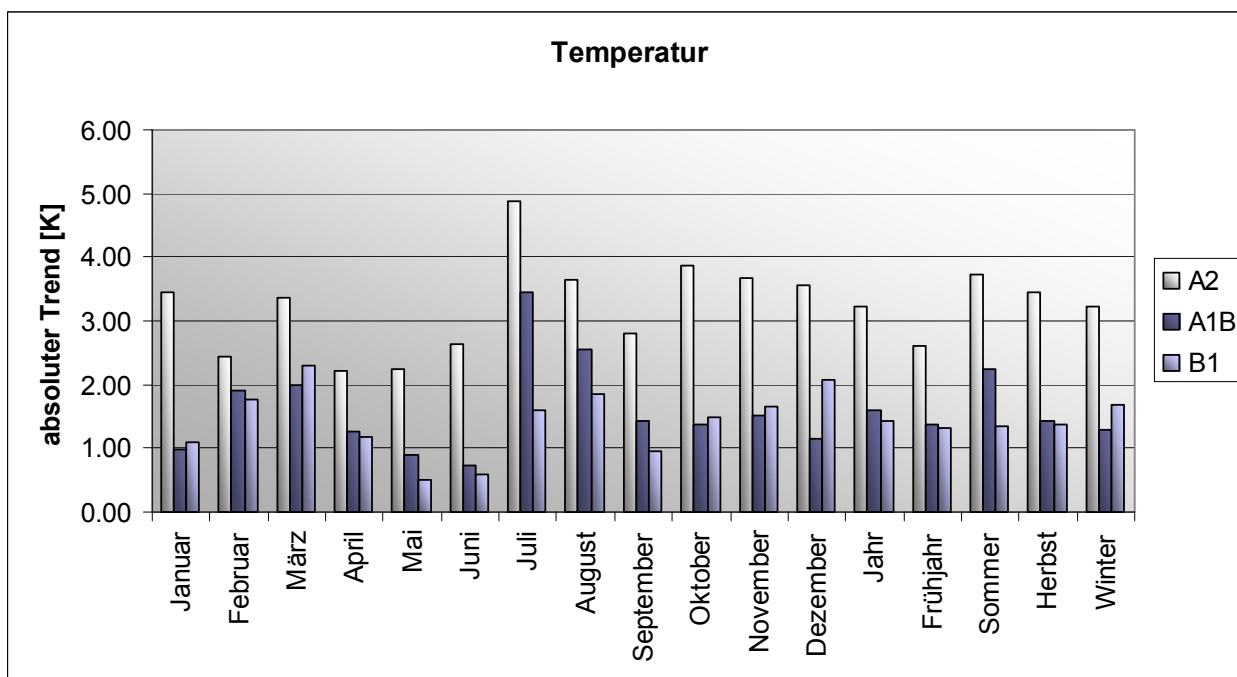
**Projizierter Verlauf der mittleren Niederschlagssummen [mm] im Untersuchungsgebiet:**



Klimaänderungssignale des Modells (Emissionsszenarios im 21. Jahrhundert/Kontroll-Lauf):



**Temperatur- und Niederschlagstrends im 21. Jahrhundert:**



## Trendstatistik INM-CM3 A1B

Temperatur	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter
Beginn	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2002
Ende	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Mittelwert	5.02	5.41	7.36	10.44	14.55	18.63	22.12	20.94	15.11	10.80	7.98	5.56	11.99	10.78	20.56	11.30	5.34
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																	
m	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01
c	-15.36	-33.82	-33.79	-15.85	-3.77	3.39	-49.12	-32.18	-14.55	-17.48	-23.36	-18.30	-21.18	-17.80	-25.97	-18.46	-21.93
R²	0.02	0.06	0.11	0.09	0.04	0.02	0.28	0.16	0.09	0.07	0.06	0.03	0.35	0.16	0.28	0.16	0.08
absoluter Trend	0.98	1.89	1.99	1.27	0.88	0.74	3.44	2.56	1.43	1.37	1.51	1.15	1.60	1.38	2.25	1.44	1.30
relativer Trend	19.60	34.99	26.99	12.15	6.08	3.95	15.55	12.25	9.48	12.64	18.96	20.71	13.35	12.80	10.93	12.72	24.41
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																	
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	2.21	2.55	3.98	3.03	1.89	1.36	5.31	3.62	2.89	2.40	2.01	1.50	6.11	4.33	5.09	3.72	3.19
Irrtumswahrscheinlichkeit	0.05	0.05	0.001	0.01	0.1	0.2	0.001	0.001	0.01	0.05	0.05	0.2	0.001	0.001	0.001	0.001	0.01
Bewertung	signifikant	signifikant	signif.	signifikant	signifikant	signif.	signif.	signif.	signifikant	signifikant	signifikant	signif.	hoch signif.	signif.	signif.	signif.	signifikant
<b>Niederschlag</b>																	
Beginn	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2002
Ende	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Mittelwert	113.81	100.26	108.22	110.81	110.44	92.24	49.77	55.90	89.63	96.58	110.38	118.93	1156.98	329.47	197.92	296.58	332.71
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																	
m	0.36	0.09	0.02	0.15	-0.03	0.00	-0.22	-0.01	-0.01	0.09	0.09	0.31	0.83	0.13	-0.23	0.17	0.77
c	-622.28	-86.73	68.05	-187.71	181.44	90.77	496.54	75.73	109.99	-87.79	-72.04	-509.41	-543.44	61.79	663.03	-49.83	-1237.69
R²	0.12	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.01	0.01	0.07	0.03	0.01	0.02	0.01	0.17
absoluter Trend	35.54	9.03	1.94	14.41	-3.43	0.07	-21.57	-0.96	-0.98	8.90	8.81	30.34	82.10	12.92	-22.46	16.73	75.04
relativer Trend	31.23	9.00	1.79	13.01	-3.10	0.08	-43.34	-1.71	-1.10	9.22	7.98	25.51	7.10	3.92	-11.35	5.64	22.55
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																	
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	negativ	positiv	negativ	negativ	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	negativ	positiv	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	3.26	0.72	0.24	1.20	-0.56	0.35	-2.54	-1.25	0.09	0.29	0.71	3.09	1.41	0.29	-1.10	0.10	4.25
Irrtumswahrscheinlichkeit	0.01						0.05					0.01	0.2				0.001
Bewertung	signifikant	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	signifikant	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	signifikant	schwach signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	hoch signif.



## Trendstatistik INM-CM3 B1

Temperatur	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter	
Beginn	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2002
Ende	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Mittelwert	4.55	4.51	6.23	9.80	14.33	18.37	21.57	20.68	14.69	10.62	7.78	5.07	11.52	10.12	20.21	11.03	4.70	
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																		
m	0.01	0.02	0.02	0.01	0.00	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
c	-18.07	-32.34	-41.23	-14.42	4.10	6.42	-11.37	-17.93	-5.00	-20.34	-26.49	-37.85	-17.88	-17.18	-7.63	-17.28	-30.49	
R²	0.02	0.05	0.09	0.05	0.02	0.01	0.07	0.10	0.05	0.09	0.10	0.08	0.31	0.11	0.13	0.19	0.11	
absoluter Trend	1.09	1.78	2.29	1.17	0.49	0.58	1.59	1.86	0.95	1.50	1.65	2.07	1.42	1.32	1.34	1.37	1.68	
relativer Trend	24.00	39.43	36.76	11.93	3.45	3.14	7.37	9.01	6.47	14.07	21.27	40.89	12.32	13.03	6.65	12.39	35.75	
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																		
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	1.46	2.20	2.65	2.14	1.29	1.16	2.56	3.03	2.46	3.16	3.19	2.71	5.61	3.17	3.49	4.36	3.18	
Irrtumswahrscheinlichkeit	0.2	0.05	0.01	0.05	0.2	nicht signif.	0.05	0.01	0.05	0.01	0.01	0.01	0.001	0.01	0.001	0.001	0.01	
Bewertung	schwach signif.	signifikant	signifikant	signifikant	schwach signif.	signif.	signifikant	signifikant	signifikant	signifikant	signifikant	signifikant	hoch signif.	signifikant	hoch signif.	signif.	signif.	signifikant

Niederschlag	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter	
Beginn	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2002	
Ende	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	
Mittelwert	115.28	98.92	105.16	99.70	108.73	84.59	52.47	56.15	101.17	107.48	112.06	122.33	1164.03	313.59	193.21	320.70	336.05	
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																		
m	0.10	0.27	0.10	0.08	0.15	0.02	0.00	-0.05	-0.13	-0.13	0.00	0.16	0.56	0.34	-0.03	-0.27	0.49	
c	-81.53	-456.07	-101.51	-73.42	-208.90	43.17	46.26	165.88	377.33	375.44	117.05	-197.76	5.94	-383.83	255.30	869.82	-677.16	
R²	0.01	0.09	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.02	0.03	0.00	0.02	0.08	
absoluter Trend	9.50	26.80	9.98	8.36	15.34	2.00	0.30	-5.30	-13.33	-12.94	-0.24	15.45	55.91	33.67	-3.00	-26.51	48.41	
relativer Trend	8.24	27.09	9.49	8.38	14.10	2.36	0.57	-9.43	-13.18	-12.04	-0.21	12.63	4.80	10.74	-1.55	-8.27	14.41	
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																		
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	negativ	negativ	negativ	negativ	negativ	positiv	positiv	positiv	positiv	negativ	positiv	
Mann-Kendall-Trendwert Q	0.77	3.25	0.82	1.10	0.99	0.64	-0.39	-0.57	-1.01	-1.25	-0.81	1.14	0.85	1.52	0.42	-1.69	2.90	
Irrtumswahrscheinlichkeit		0.01		nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	schwach signif.	nicht signif.	0.1	0.01	
Bewertung	nicht signif.	signifikant	nicht signif.	signif.	nicht signif.	signif.	signif.	signif.	nicht signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signifikant	signifikant	

## **Zusammenfassung:**

### Kontroll-Lauf

Aus den Modelldaten ergibt sich im Untersuchungsgebiet eine Jahresmitteltemperatur von 9,8 °C. Wärmster Monat ist der Juli mit 19,2 °C, am kältesten ist der Januar (Mittelwert 2,4 °C). Die mittlere Jahresniederschlagssumme beträgt 1.103 mm, der größte Anteil daran fällt im Herbst (308 mm). Für den Sommer ergeben sich die geringsten Niederschlagssummen (205 mm), insbesondere während der Monate Juli (59 mm) und August (58 mm) fällt vergleichsweise wenig Niederschlag.

### Klimatrends im 21. Jahrhundert

*A1B – Szenario:* Der Erwärmungstrend im 21. Jahrhundert beträgt im Jahresmittel 1,6 K. Am stärksten sind hierbei die Sommermonate Juli (+3,4 K) und August (+2,6 K) betroffen. Hinsichtlich der Niederschläge ist ein hoch signifikanter Zunahmetrend im Winter zu verzeichnen (+23 %). Im restlichen Jahr ist ein eher indifferentes Trendverhalten festzustellen. Eine bemerkenswerte Ausnahme bildet hierbei der Monat Juli, für den sich ein signifikanter Abnahmetrend von -43 % ergibt.

*A2 - Szenario:* In diesem Szenario weist die Jahresmitteltemperatur einen Zunahmetrend von 3,2 K auf. Der Sommer ist mit 3,7 K (der Juli mit 4,9 K) am stärksten betroffen. Geringer fällt die Erwärmung im Frühjahr (+2,6 K) aus. Die Winterniederschläge nehmen signifikant zu (+17 %), während im Juli ein signifikanter Abnahmetrend von -42 % zu verzeichnen ist. Aufgrund dieser gegenläufigen Entwicklungen ergeben sich für den Trend der Jahresniederschlagssumme keine wesentlichen Veränderungen.

*B1- Szenario:* Der mittlere Erwärmungstrend beträgt für das Jahresmittel 1,4 K. Die Wintermonate sind dabei stärker betroffen als der Rest des Jahres (Winter +1,7 K). Niederschlagszunahmen um 11 bzw. 14 % im Frühjahr und Herbst führen trotz signifikant abnehmender Herbstniederschläge (-8 %) zu einem leichten Anstieg der Jahresniederschlagssumme (+5 %).

### Vergleichende Beschreibung der Emissionsszenarios

Im Vergleich wird deutlich, dass die Temperaturentwicklung in Abhängigkeit vom Emissionsszenario erfolgt (A2 > A1B > B1). Ausnahmen stellen hier die Monate Oktober bis Januar (also auch der komplette Winter) dar, in denen die Mitteltemperaturen von B1 über denen von A1B liegen.

Im Hinblick auf die Niederschläge ist für die Szenarios A2 und A1B ein dramatischer Rückgang der Juliniederschläge zu verzeichnen, welcher für B1 nicht festzustellen ist. In allen Szenarios ergeben sich für das Frühjahr und den Winter leichte Zunahmetendenzen, die sich auch in einem leichten Anstieg der Jahresniederschlagssummen widerspiegeln.



### 3.1.11 IPSL-CM4

#### Modellbetreibende Institution:

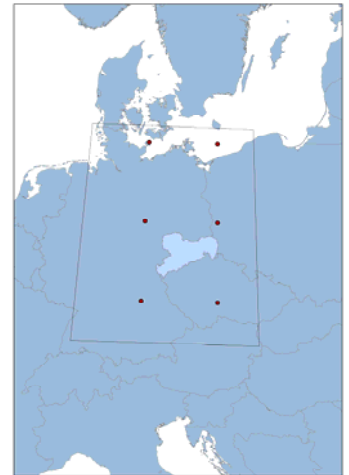
Institut Pierre Simon Laplace (IPSL), Frankreich

#### Datenquellen/Datensätze: CERA-Datenbank (DKRZ)

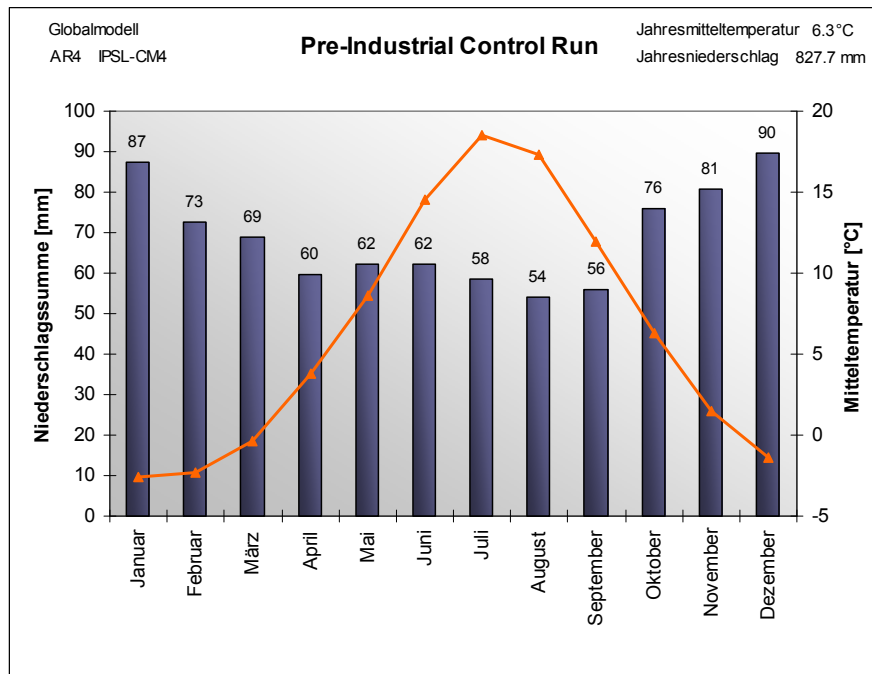
- IPCC DDC AR4 IPSL-CM4 PICNTRL run 1
- IPCC DDC AR4 IPSL-CM4 SRESA1B run 1
- IPCC DDC AR4 IPSL-CM4 SRESA2 run 1
- IPCC DDC AR4 IPSL-CM4 SRESB1 run 1

**Untersuchungsgebiet:** 8-17° ö. L./48-55° n. Br.

**Anzahl der Gitterpunkte:** 6 (2 x 3)



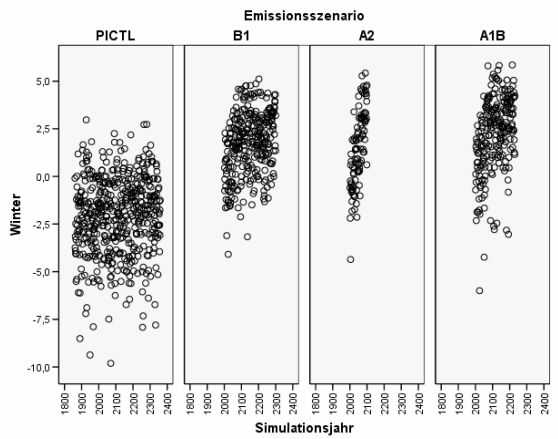
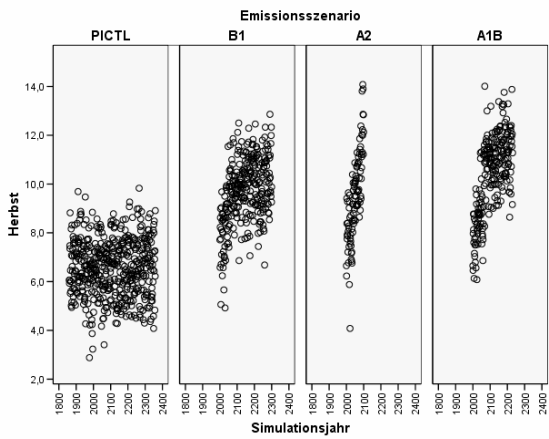
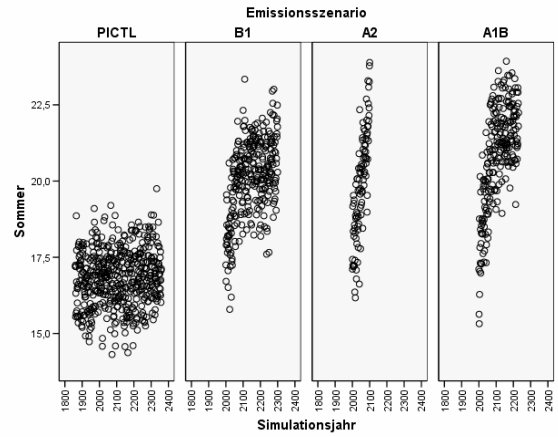
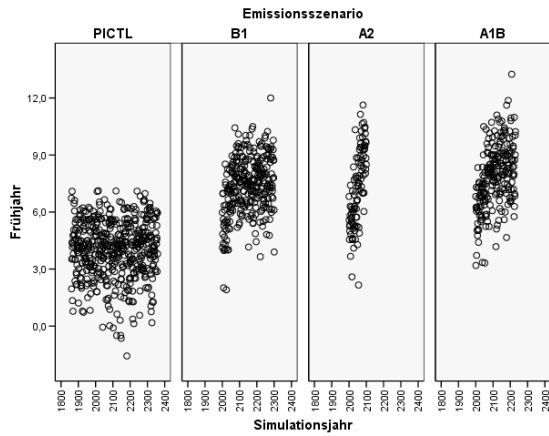
**Statistische Kennzahlen Kontroll-Lauf (PICTL):** für 6 Gitterpunkte x 500 Simulationsjahre



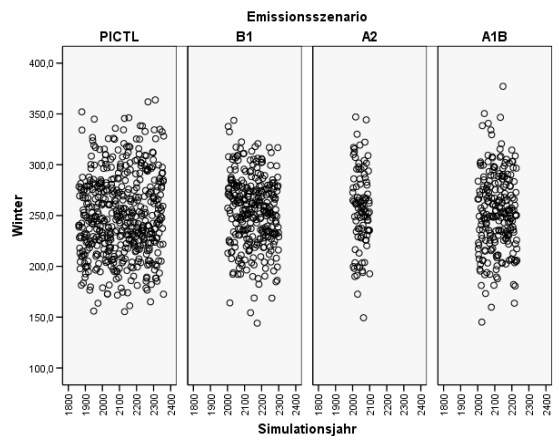
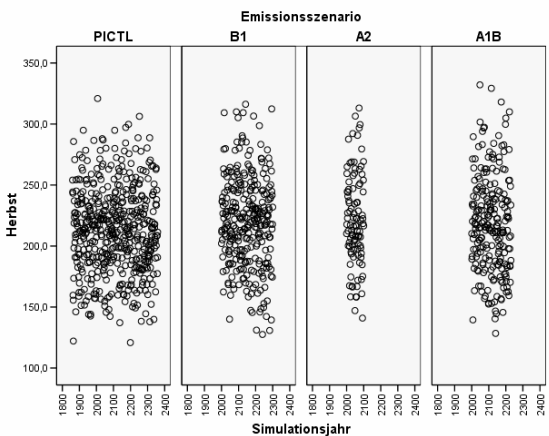
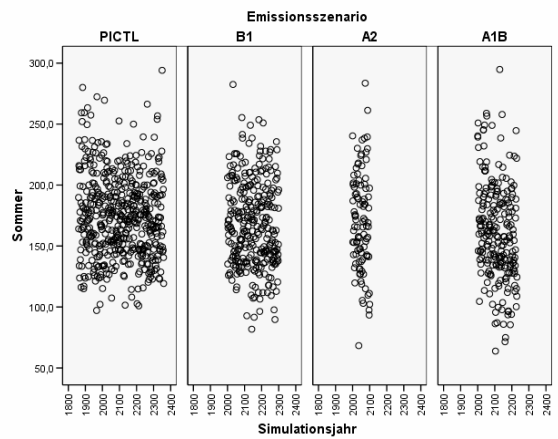
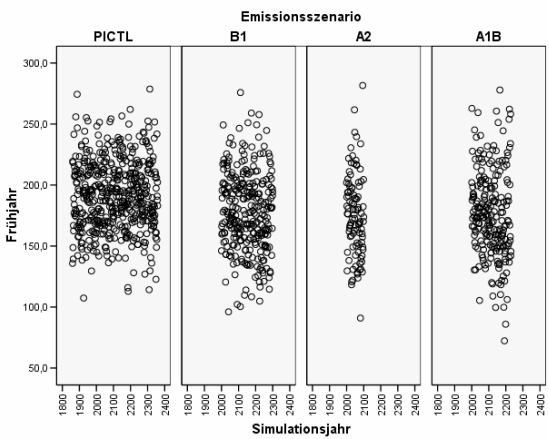
Temperatur	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	FJ	SO	HE	WI
Mittelwert	-2.6	-2.3	-0.3	3.8	8.6	14.5	18.6	17.4	11.9	6.3	1.5	-1.4	6.3	4.0	16.8	6.6	-2.1
Std.abw.	3.2	3.4	3.0	2.3	1.8	1.8	1.6	1.7	1.7	1.9	2.5	2.9	1.0	1.7	1.3	1.4	2.3
Minimum	-16.3	-16.0	-11.2	-4.7	2.6	8.3	13.5	12.4	6.5	-2.0	-7.7	-13.3	2.8	-2.4	13.0	1.0	-12.3
Maximum	4.6	5.4	7.6	10.5	14.4	20.0	24.3	23.7	17.8	11.0	7.6	5.4	9.2	8.6	22.0	10.6	3.8
Spannweite	20.9	21.4	18.7	15.2	11.8	11.7	10.9	11.4	11.2	13.1	15.3	18.7	6.4	11.0	9.1	9.6	16.1
N	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	2994

Niederschlag	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	FJ	SO	HE	WI
Mittelwert	87.3	72.7	69.0	59.7	62.2	62.2	58.5	53.9	55.7	75.9	80.9	89.8	827.7	191.0	174.5	212.5	249.7
Std.abw.	28.7	24.6	25.9	25.4	32.3	41.8	48.0	40.7	32.2	29.4	27.1	29.4	224.5	60.3	114.1	59.7	57.0
Minimum	15.0	14.8	6.1	3.7	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	9.3	15.2	17.8	342.0	38.5	1.0	73.6	123.3
Maximum	207.2	180.1	172.0	177.3	216.6	229.0	307.9	242.5	218.5	203.1	209.6	223.4	1515.6	433.5	538.7	433.4	481.1
Spannweite	192.2	165.2	165.9	173.6	216.1	229.0	307.9	242.5	218.4	193.8	194.3	205.6	1173.5	395.0	537.8	359.8	357.8
N	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	2994

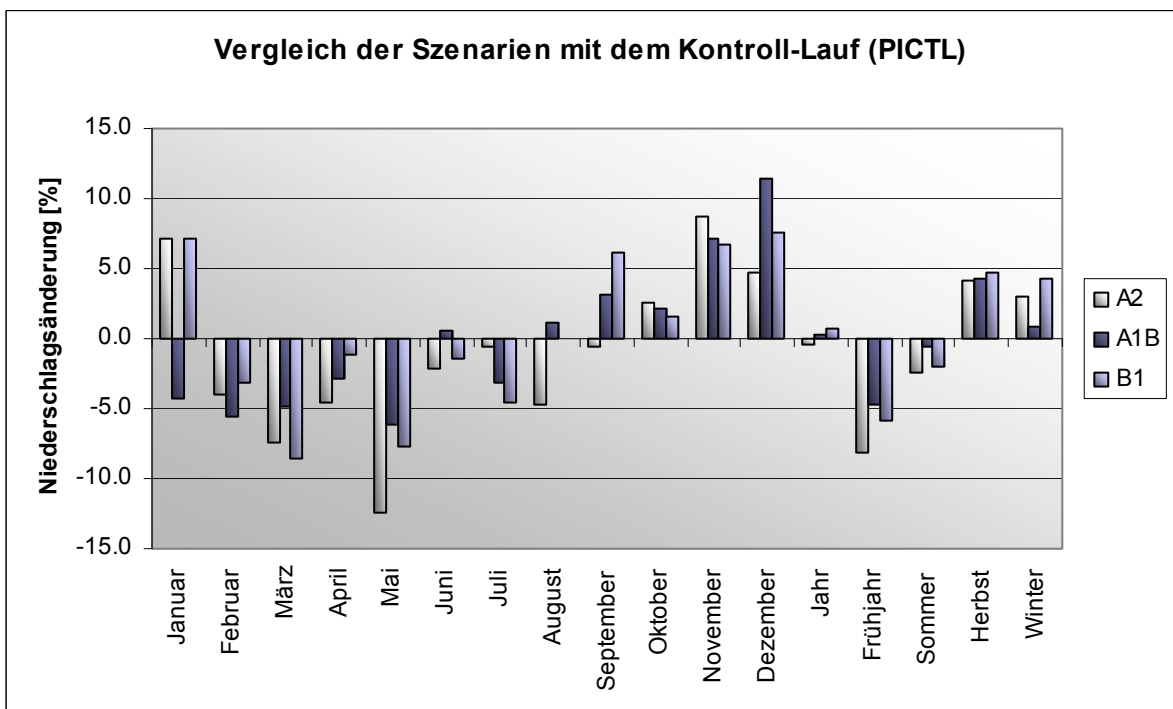
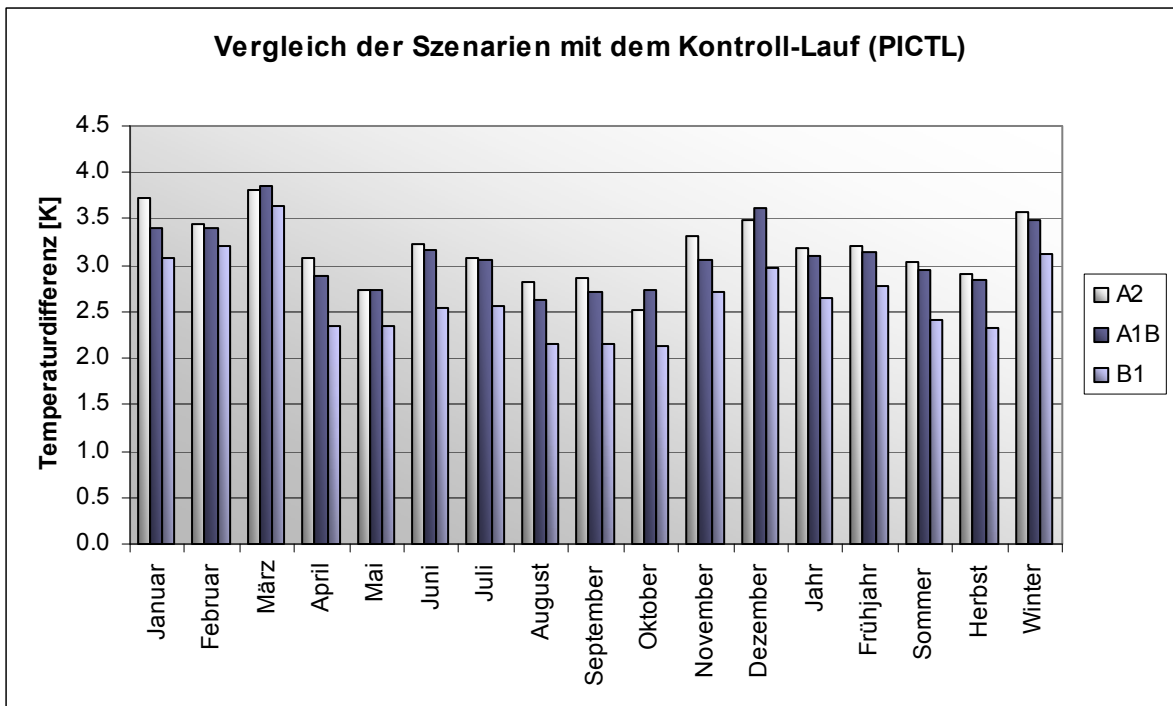
**Projizierter Verlauf der mittleren Temperaturen [°C] im Untersuchungsgebiet:**



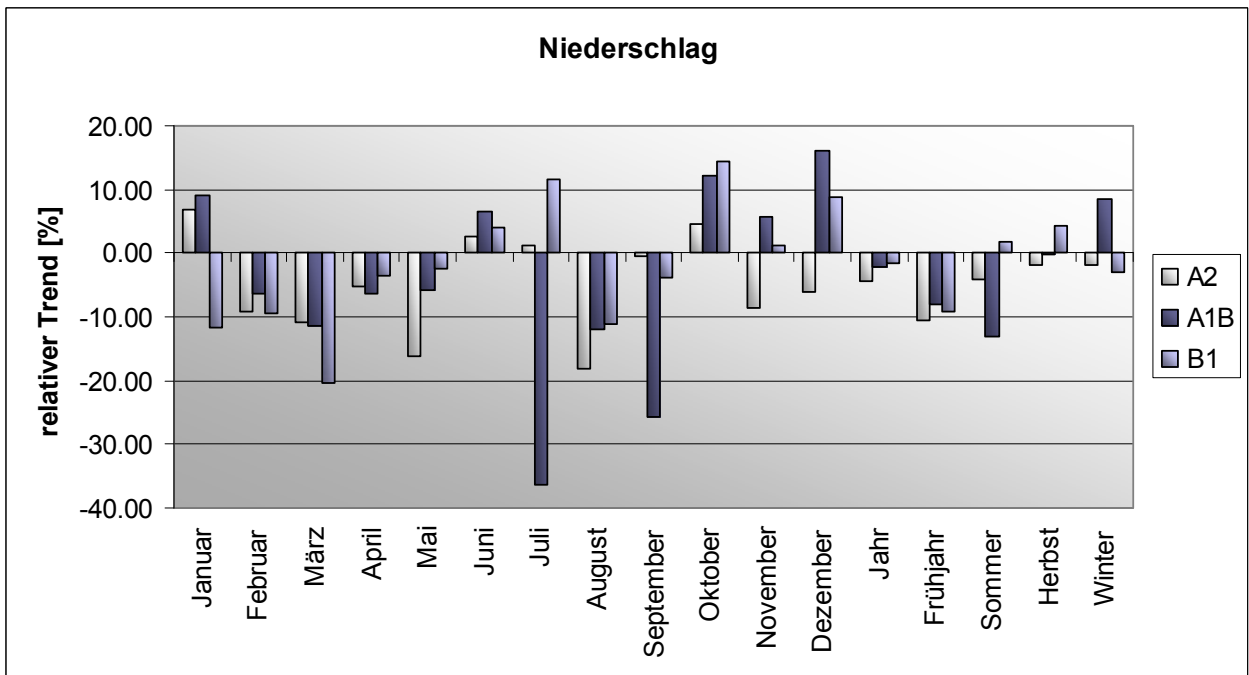
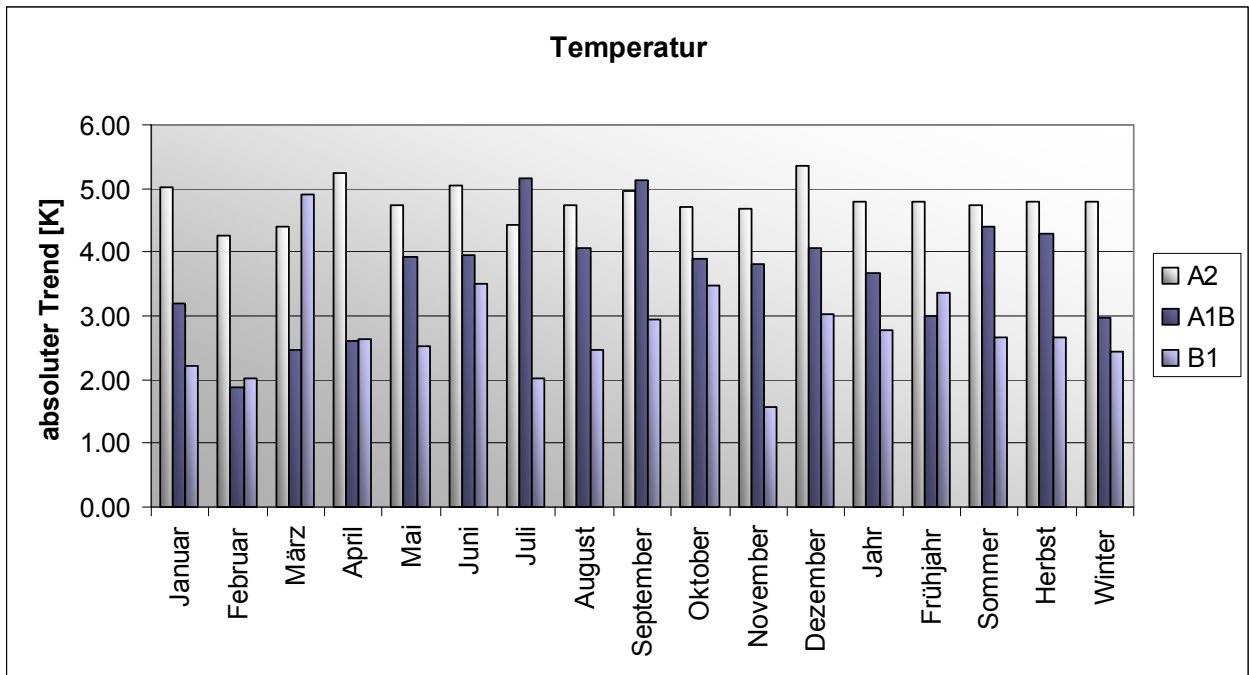
**Projizierter Verlauf der mittleren Niederschlagssummen [mm] im Untersuchungsgebiet:**



Klimaänderungssignale des Modells (Emissionsszenarios im 21. Jahrhundert/Kontroll-Lauf):



**Temperatur- und Niederschlagstrends im 21. Jahrhundert:**



## Trendstatistik IPSL-CM4 A1B

Temperatur	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter	
Beginn	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2001
Ende	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Mittelwert	0.81	1.12	3.51	6.65	11.33	17.68	21.63	19.98	14.61	9.04	4.55	2.22	9.43	7.16	19.76	9.40	1.39	
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																		
m	0.03	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03
c	-65.43	-37.59	-47.75	-47.05	-70.03	-64.33	-85.05	-64.41	-91.89	-71.51	-74.14	-81.77	-66.75	-54.94	-71.26	-79.18	-60.72	
R <sup>2</sup>	0.10	0.04	0.09	0.16	0.29	0.30	0.53	0.38	0.49	0.37	0.24	0.25	0.63	0.31	0.56	0.56	0.18	
absoluter Trend	3.20	1.87	2.48	2.59	3.93	3.96	5.15	4.08	5.14	3.89	3.80	4.06	3.68	3.00	4.40	4.28	2.97	
relativer Trend	394.58	167.07	70.64	38.99	34.69	22.40	23.82	20.41	35.21	43.04	83.60	183.07	39.03	41.88	22.25	45.52	213.26	
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																		
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	3.54	2.11	3.23	4.46	5.43	5.50	7.92	6.26	7.40	6.33	5.25	5.00	8.73	5.95	8.22	7.91	4.48	
Irrtumswahrscheinlichkeit	0.001	0.05	0.01	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	
Bewertung	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.

Niederschlag	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter	
Beginn	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	
Ende	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	
Mittelwert	83.51	68.66	65.68	58.03	58.40	62.54	56.60	54.52	57.52	77.51	86.68	100.03	829.67	182.10	173.66	221.71	251.93	
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																		
m	0.08	-0.04	-0.07	-0.04	-0.03	0.04	-0.21	-0.07	-0.15	0.10	0.05	0.16	-0.19	-0.15	-0.23	0.00	0.22	
c	-72.47	157.65	219.04	135.14	129.99	-23.51	481.78	188.86	361.91	-119.53	-15.95	-232.67	1210.24	484.18	647.13	226.43	-189.88	
R <sup>2</sup>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.09	0.01	0.05	0.01	0.00	0.03	0.01	0.02	0.03	0.00	0.02	
absoluter Trend	7.53	-4.30	-7.41	-3.72	-3.46	4.16	-20.54	-6.49	-14.70	9.52	4.96	16.07	-18.38	-14.59	-22.87	-0.23	21.12	
relativer Trend	9.02	-6.26	-11.28	-6.42	-5.92	6.65	-36.28	-11.90	-25.56	12.28	5.72	16.07	-2.22	-8.01	-13.17	-0.10	8.38	
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																		
Trendrichtung	positiv	negativ	negativ	negativ	negativ	positiv	negativ	negativ	negativ	positiv	positiv	positiv	negativ	negativ	negativ	positiv	positiv	
Mann-Kendall-Trendwert Q	0.95	-0.73	-0.69	-0.66	-0.97	0.11	-2.82	-1.14	-2.45	1.37	0.59	1.90	-0.71	-1.27	-1.46	0.04	1.57	
Irrtumswahrscheinlichkeit	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	signifikant	nicht signif.	signifikant	schwach signif.	nicht signif.	signifikant	nicht signif.	nicht signif.	schwach signif.	nicht signif.	schwach signif.	
Bewertung	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	signifikant	nicht signif.	signifikant	schwach signif.	nicht signif.	signifikant	nicht signif.	nicht signif.	schwach signif.	nicht signif.	schwach signif.	

## Trendstatistik IPSL-CM4 A2

Temperatur	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter	
Beginn	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2001
Ende	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Mittelwert	1.12	1.15	3.47	6.87	11.34	17.74	21.64	20.17	14.77	8.83	4.80	2.09	9.50	7.23	19.85	9.47	1.46	
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																		
m	0.05	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
c	-102.82	-87.00	-87.54	-101.41	-86.80	-86.89	-70.02	-77.87	-87.87	-88.92	-92.35	-108.79	-89.86	-91.92	-78.26	-89.71	-98.99	
R <sup>2</sup>	0.31	0.21	0.21	0.37	0.40	0.51	0.54	0.44	0.38	0.48	0.41	0.38	0.81	0.48	0.65	0.61	0.51	
absoluter Trend	5.02	4.26	4.40	5.23	4.74	5.05	4.43	4.74	4.96	4.72	4.69	5.36	4.80	4.79	4.74	4.79	4.80	
relativer Trend	446.90	369.33	126.67	76.18	41.79	28.48	20.46	23.48	33.57	53.46	97.75	256.40	50.52	66.27	23.87	50.60	328.69	
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																		
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	5.95	4.63	4.43	6.70	6.53	7.86	7.95	7.10	6.17	7.56	6.94	6.45	10.58	7.41	9.17	8.86	7.50	
Irrtumswahrscheinlichkeit	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	
Bewertung	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.

Niederschlag	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter	
Beginn	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2001	
Ende	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	
Mittelwert	93.49	69.76	63.83	56.99	54.52	60.89	58.16	51.38	55.43	77.85	87.95	93.99	824.24	175.34	170.43	221.23	257.15	
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																		
m	0.07	-0.07	-0.07	-0.03	-0.09	0.02	0.01	-0.09	0.00	0.04	-0.08	-0.06	-0.36	-0.19	-0.07	-0.04	-0.05	
c	-40.59	203.89	205.51	119.97	235.54	28.16	42.99	243.94	59.79	4.01	242.09	214.63	1559.91	561.01	315.09	305.89	357.59	
R <sup>2</sup>	0.01	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	
absoluter Trend	6.48	-6.48	-6.84	-3.04	-8.74	1.58	0.73	-9.30	-0.21	3.57	-7.45	-5.83	-35.54	-18.63	-6.99	-4.09	-4.80	
relativer Trend	6.93	-9.29	-10.72	-5.34	-16.04	2.60	1.26	-18.10	-0.38	4.58	-8.47	-6.20	-4.31	-10.62	-4.10	-1.85	-1.87	
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																		
Trendrichtung	positiv	negativ	negativ	negativ	negativ	positiv	negativ	negativ	negativ	positiv	negativ	negativ	negativ	negativ	negativ	negativ	negativ	negativ
Mann-Kendall-Trendwert Q	0.91	-1.25	-0.92	-1.07	-1.50	0.16	-0.38	-1.75	-0.02	0.37	-1.02	-0.92	-2.07	-2.05	-0.79	-0.62	-0.70	
Irrtumswahrscheinlichkeit					0.2			0.1					0.05	0.05				
Bewertung	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	schwach signif.	nicht signif.	nicht signif.	signifikant	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	signifikant	signifikant	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	

## Trendstatistik **IPSL-CM4 B1**

Temperatur	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter
Beginn	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2001
Ende	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Mittelwert	0.48	0.91	3.29	6.12	10.95	17.06	21.12	19.51	14.06	8.43	4.20	1.56	8.97	6.79	19.23	8.90	1.01
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																	
m	0.02	0.02	0.05	0.03	0.03	0.04	0.02	0.02	0.03	0.04	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02
c	-45.33	-40.77	-98.36	-48.28	-41.09	-55.72	-20.75	-31.47	-46.89	-63.38	-28.13	-60.84	-48.42	-62.58	-35.98	-46.13	-50.24
R²	0.07	0.05	0.28	0.14	0.17	0.32	0.17	0.21	0.26	0.30	0.06	0.13	0.48	0.35	0.36	0.33	0.18
absoluter Trend	2.21	2.01	4.91	2.63	2.51	3.52	2.02	2.46	2.94	3.47	1.56	3.01	2.77	3.35	2.67	2.66	2.45
relativer Trend	463.64	221.38	149.05	42.91	22.95	20.60	9.58	12.62	20.94	41.14	37.20	192.84	30.89	49.35	13.87	29.88	242.82
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																	
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	3.12	2.27	5.38	3.44	4.33	5.71	4.30	4.29	5.10	5.47	2.14	4.01	7.60	6.11	6.12	5.92	4.29
Irrtumswahrscheinlichkeit	0.01	0.05	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.05	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Bewertung	signifikant	signifikant	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	hoch signif.	signif.	signifikant	signif.	signif.	hoch signif.	signif.	signif.	signif.

Niederschlag	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter
Beginn	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2001
Ende	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2099
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Mittelwert	93.51	70.44	63.12	59.10	57.47	61.33	55.74	53.95	59.15	77.01	86.34	96.54	833.69	179.69	171.02	222.50	260.42
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																	
m	-0.11	-0.07	-0.13	-0.02	-0.01	0.02	0.07	-0.06	-0.02	0.11	0.01	0.09	-0.13	-0.17	0.03	0.10	-0.08
c	319.53	209.06	330.46	102.49	86.78	10.84	-78.38	179.49	105.75	-150.69	63.48	-80.56	1098.24	519.72	111.94	18.54	418.17
R²	0.02	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00
absoluter Trend	-10.92	-6.70	-12.91	-2.10	-1.42	2.44	6.48	-6.06	-2.25	11.00	1.10	8.55	-12.78	-16.43	2.85	9.85	-7.54
relativer Trend	-11.68	-9.51	-20.46	-3.55	-2.46	3.98	11.62	-11.24	-3.81	14.28	1.28	8.86	-1.53	-9.14	1.67	4.43	-2.90
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																	
Trendrichtung	negativ	negativ	negativ	negativ	negativ	positiv	positiv	negativ	negativ	positiv	negativ	positiv	negativ	negativ	positiv	positiv	negativ
Mann-Kendall-Trendwert Q	-1.44	-1.13	-2.00	-0.49	-0.32	0.26	1.19	-0.99	-0.20	1.81	-0.17	1.22	-0.75	-1.52	0.13	0.61	-0.70
Irrtumswahrscheinlichkeit	0.2		0.05							0.1				0.2			
Bewertung	schwach signif.	nicht signif.	signifikant	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	signifikant	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	schwach signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.

## **Zusammenfassung:**

### Kontroll-Lauf

Das Untersuchungsgebiet weist eine Jahresmitteltemperatur von 6,3 °C auf. Die Temperaturen bewegen sich im Jahresverlauf zwischen -2,6 °C im Januar und 18,6 °C im Monat Juli.

Im Hinblick auf die Niederschlagsverteilung kann festgestellt werden, dass der größte Anteil des Jahresniederschlags (828 mm) in den Wintermonaten fällt (250 mm). Etwas weniger Niederschlag ergibt sich in den Herbstmonaten, am geringsten fallen die Niederschlagssummen während der Sommermonate aus (im Mittel 175 mm). Im Frühjahr, jedoch insbesondere Sommer und Spätsommer, können extrem trockene bzw. niederschlagsfreie Monate (Juni bis September), andererseits jedoch auch sehr ergiebige Niederschläge auftreten (Maximum im Juli 308 mm).

### Klimatrends im 21. Jahrhundert

*A1B – Szenario:* Für die Jahresmitteltemperatur besteht ein hoch signifikanter Erwärmungstrend von +3,7 K. Die stärkste Erwärmung ist im Sommer mit +4,4 K bzw. Herbst (+4,3 K) zu verzeichnen. Besonders deutlich ist dieser Trend in den Monaten Juli (+5,2 K) und September (+5,1 K). Vergleichsweise gering erscheint der Erwärmungstrend im Winter und insbesondere Februar (+1,9 K) auszufallen.

Die Niederschlagsentwicklung ist durch schwach signifikante Abnahmen im Sommer (-13 %) bzw. Zunahmen im Winter (+8 %) geprägt. Zu signifikanten Niederschlagsabnahmen kommt es in den Monaten Juli (-35 %) und September (-26 %). Der Dezember weist einen signifikanten Zunahmetrend um 16 % auf.

*A2 - Szenario:* Für die Jahresmitteltemperatur beträgt der Temperaturzunahmetrend 4,8 K. Diese intensive Erwärmung ist in alle Jahreszeiten in etwa gleich stark ausgeprägt. Bei der Betrachtung des Trendverhaltens einzelner Monate ergeben sich die stärksten Temperaturzunahmen mit über 5 K im Januar, April, Juni und Dezember (+5,4 K).

Die Jahresniederschlagssumme nimmt signifikant um -4 % ab, wobei der Hauptanteil der Abnahmen dem Frühjahr (-11 %) und Sommer (-4 %) zuzuordnen ist. Erwähnenswert erscheint weiterhin der signifikante Abnahmetrend im Monat August (-18 %).

*B1- Szenario:* Im Szenario B1 besteht ein Erwärmungstrend von ca. +2,8 K. Am stärksten betroffen ist hierbei das Frühjahr mit +3,4 K (März +4,9 K). Tendenziell abnehmende Frühjahrs- (-9 %) und Winter-niederschläge (-3 %) führen zu einer leichten, rückläufigen Entwicklung des Jahresniederschlags.

### Vergleichende Beschreibung der Emissionsszenarios

Im Allgemeinen liegen die Temperaturen des Szenarios A2 über denen von A1B und diese wiederum über denen von B1. Eine Ausnahme ergibt sich für das Frühjahr, hierbei insbesondere für den März, in dem die Erwärmung von B1 die Temperaturzunahmen der beiden anderen Szenarios übersteigt. In den Monaten Juli und September ergibt sich in A1B eine stärkere Erwärmungsrate als in Szenario A2.

Bezüglich der Niederschläge bestehen z. T. gegenläufige Entwicklungstendenzen, in allen Emissionsszenarios ist jedoch eine deutliche Abnahme der Frühjahrsniederschläge zu verzeichnen.



### 3.1.12 MRI-CGCM2.3.2 – Coupled General Circulation Model

#### Modellbetreibende Institution:

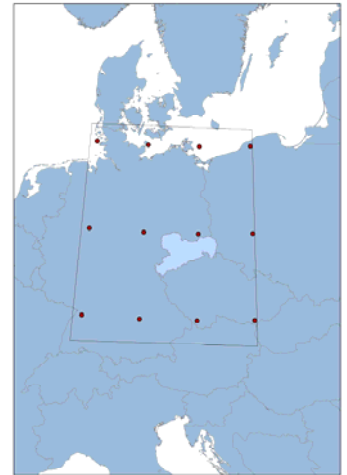
Meteorological Research Institute (MRI), Japan

#### Datenquellen/Datensätze: CERA-Datenbank (DKRZ)

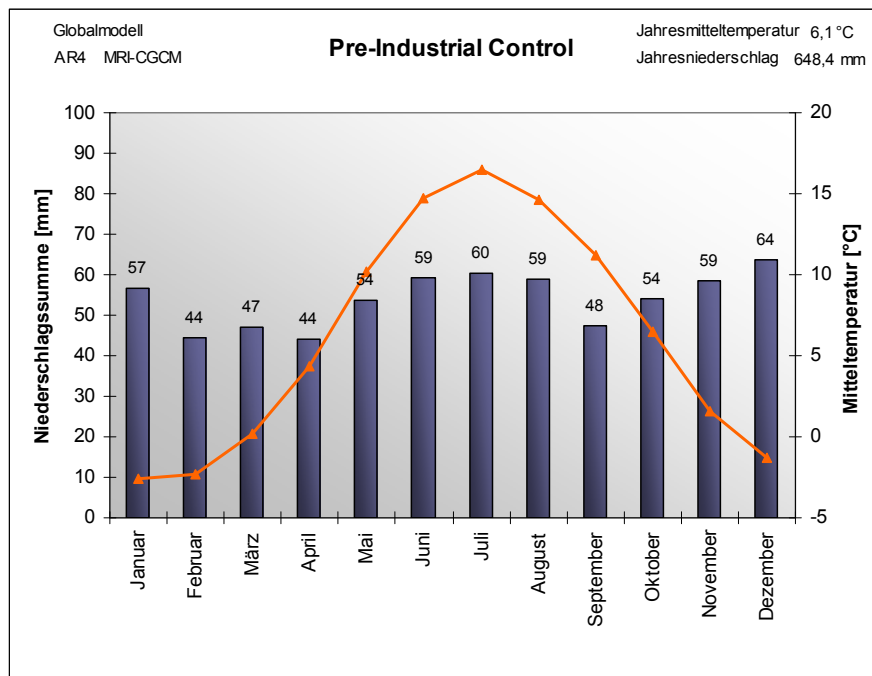
- IPCC DDC AR4 MRI-CGCM2.3.2 PICNTRL
- IPCC DDC AR4 MRI-CGCM2.3.2 SRESA1B run 1
- IPCC DDC AR4 MRI-CGCM2.3.2 SRESA2 run 1
- IPCC DDC AR4 MRI-CGCM2.3.2 SRESB1 run 1

**Untersuchungsgebiet:** 8-17° ö. L. / 48-55° n. Br.

**Anzahl der Gitterpunkte:** 12 (4 x 3)



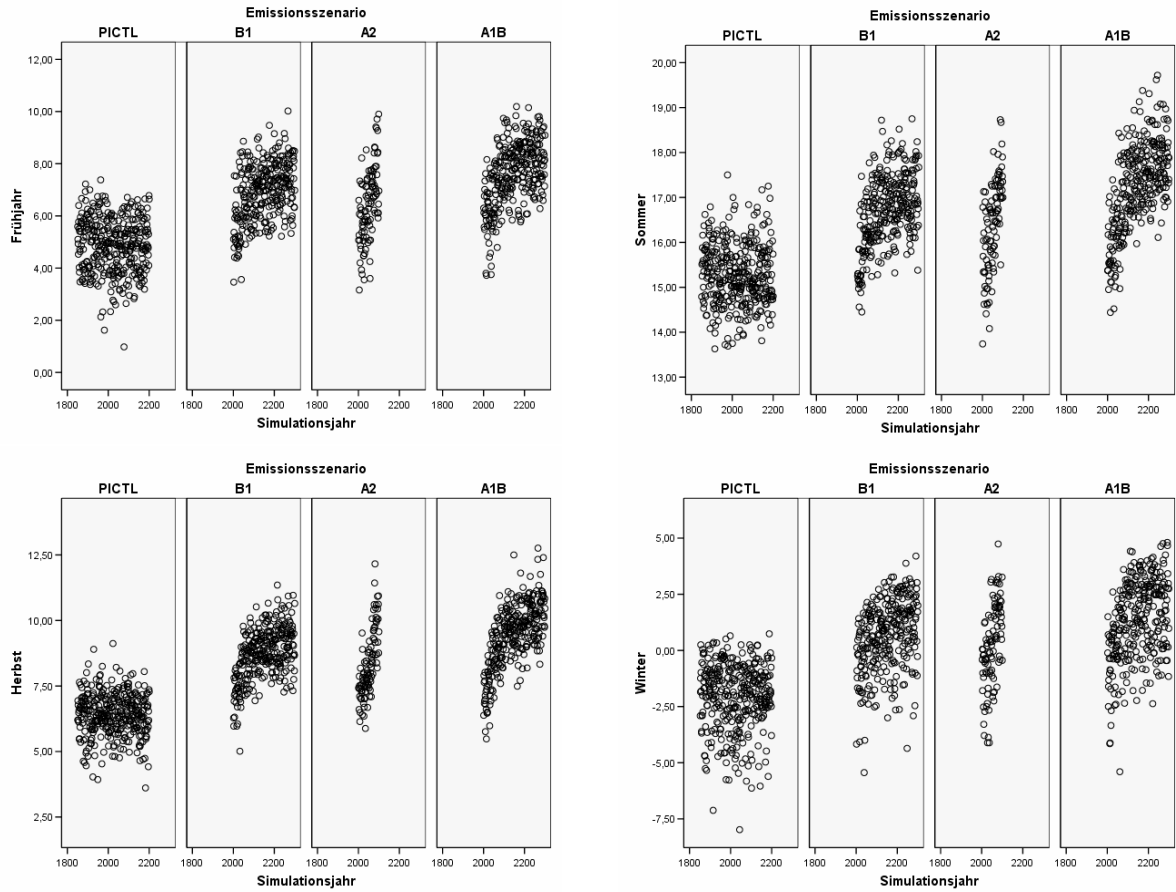
**Statistische Kennzahlen Kontroll-Lauf (PICTL):** für 12 Gitterpunkte x 350 Simulationsjahre



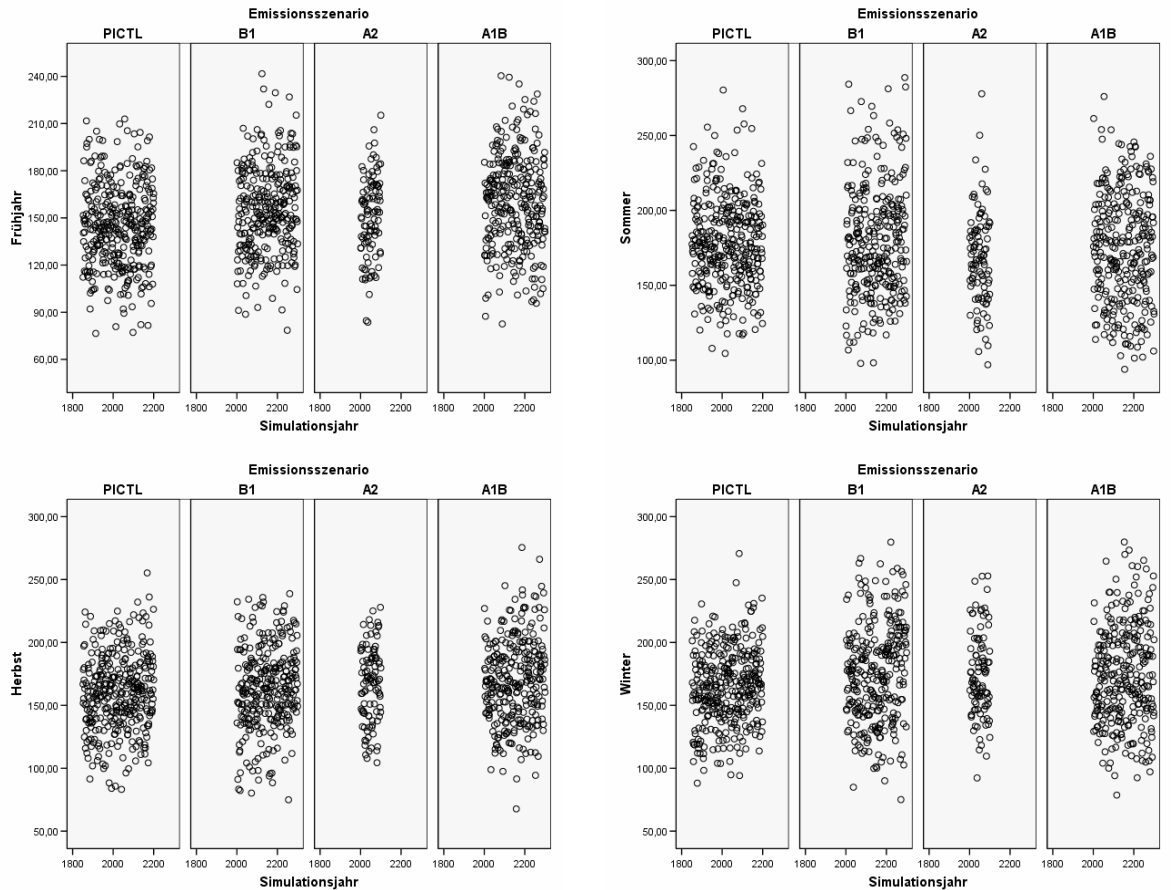
Temperatur	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	FJ	SO	HE	WI
Mittelwert	-2,6	-2,4	0,1	4,3	10,1	14,7	16,4	14,7	11,2	6,5	1,5	-1,3	6,1	4,9	15,3	6,4	-2,1
Std.abw.	2,7	2,7	2,0	1,5	1,4	1,5	1,3	1,0	1,1	1,6	2,2	2,4	0,8	1,2	1,0	1,2	2,1
Minimum	-13,4	-13,1	-8,6	0,3	5,7	9,9	12,1	11,7	7,2	0,5	-6,8	-11,6	3,2	0,0	12,5	1,3	-10,1
Maximum	3,9	3,6	4,9	9,7	15,3	20,2	20,7	18,2	15,6	10,9	7,7	5,4	8,3	8,5	18,6	10,5	3,7
Spannweite	17,3	16,7	13,4	9,4	9,6	10,2	8,6	6,5	8,4	10,4	14,5	17,1	5,1	8,5	6,1	9,2	13,8
N	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4188

Niederschlag	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	FJ	SO	HE	WI
Mittelwert	56,7	44,3	47,0	44,2	53,7	59,1	60,3	58,9	47,6	54,1	58,6	63,8	648,4	144,9	178,4	160,3	164,8
Std.abw.	23,9	20,9	21,7	20,1	28,7	37,0	30,9	24,3	27,0	26,9	24,3	26,3	113,8	45,2	66,6	55,1	47,1
Minimum	3,6	3,3	4,4	0,7	2,6	1,4	3,8	5,6	1,0	3,5	6,9	2,7	332,9	30,7	46,6	30,9	53,2
Maximum	187,1	172,1	160,0	127,4	200,7	300,6	246,0	166,4	216,3	246,4	197,1	211,8	1060,4	322,3	463,5	423,0	400,1
Spannweite	183,5	168,8	155,6	126,7	198,2	299,2	242,1	160,8	215,3	242,9	190,2	209,1	727,5	291,6	417,0	392,1	346,8
N	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4188

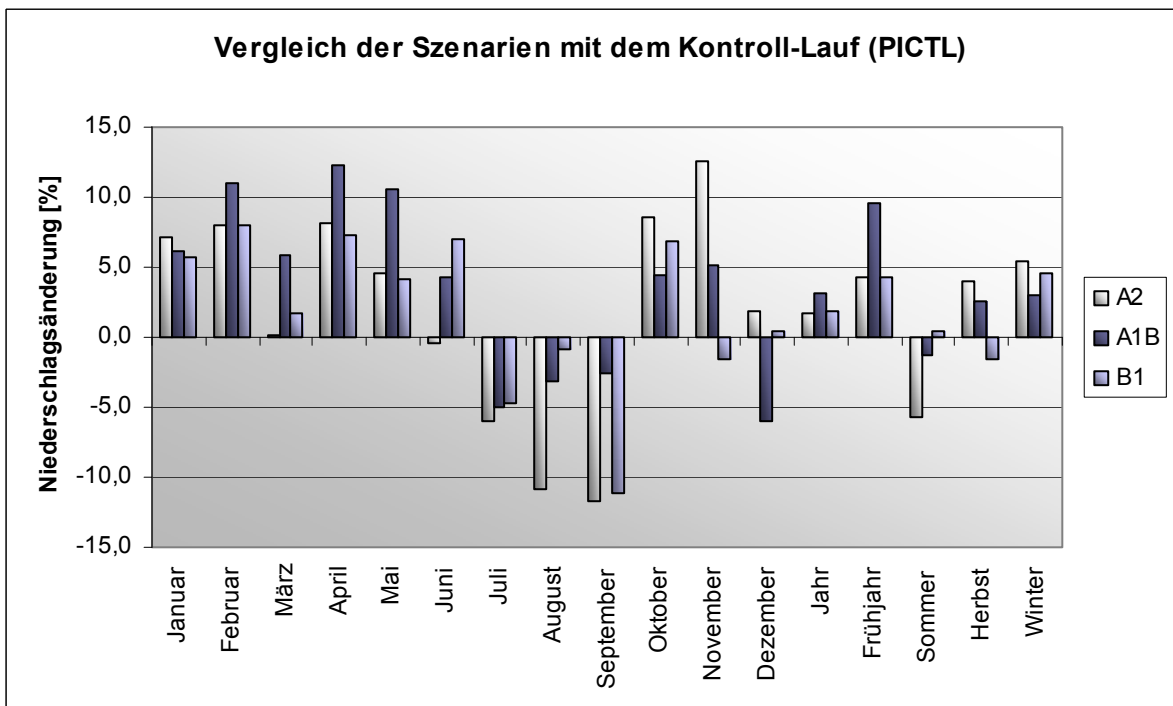
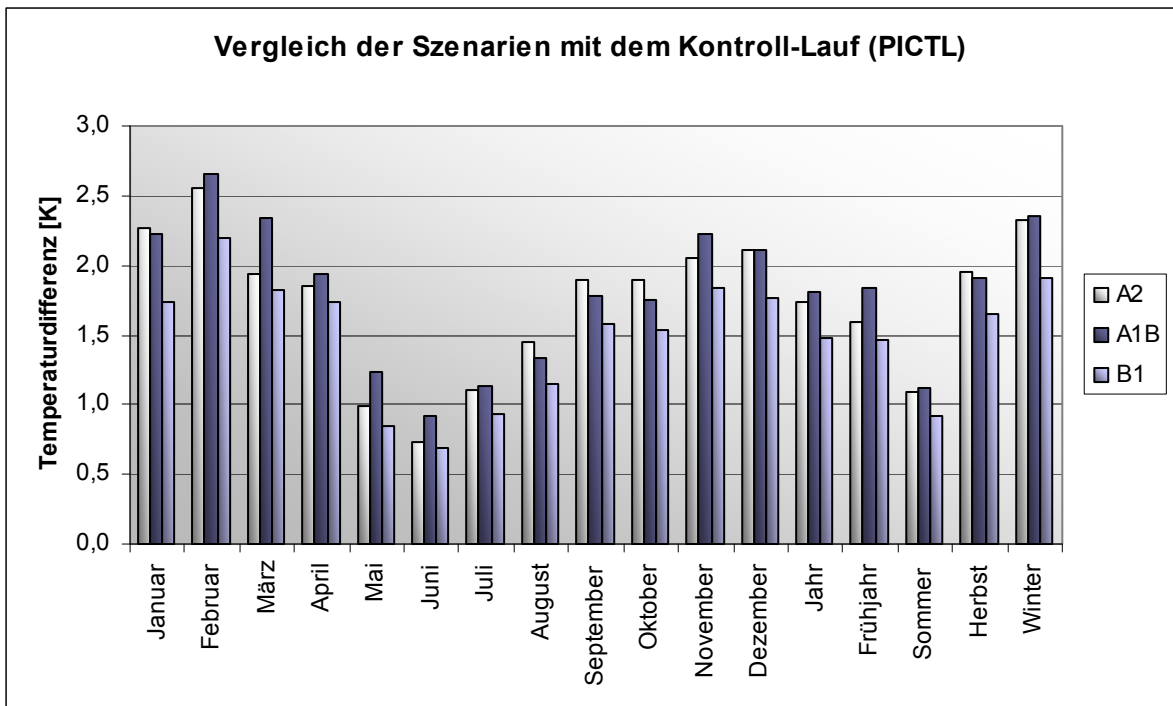
**Projizierter Verlauf der mittleren Temperaturen [°C] im Untersuchungsgebiet:**



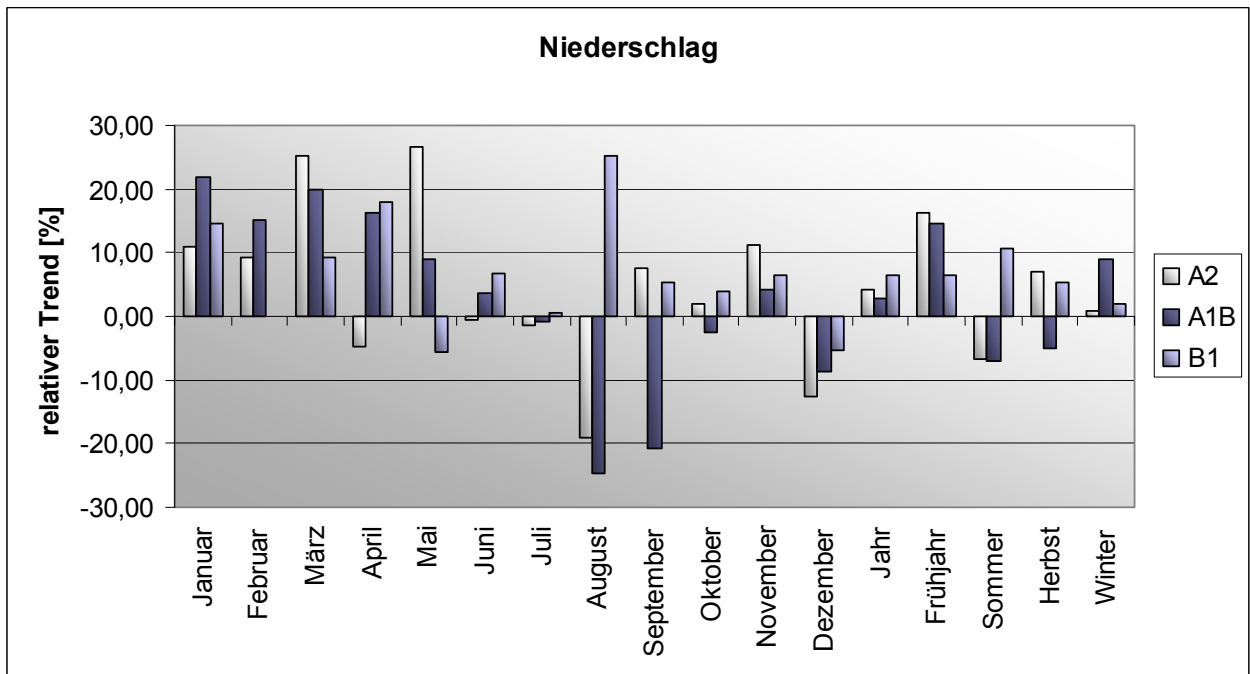
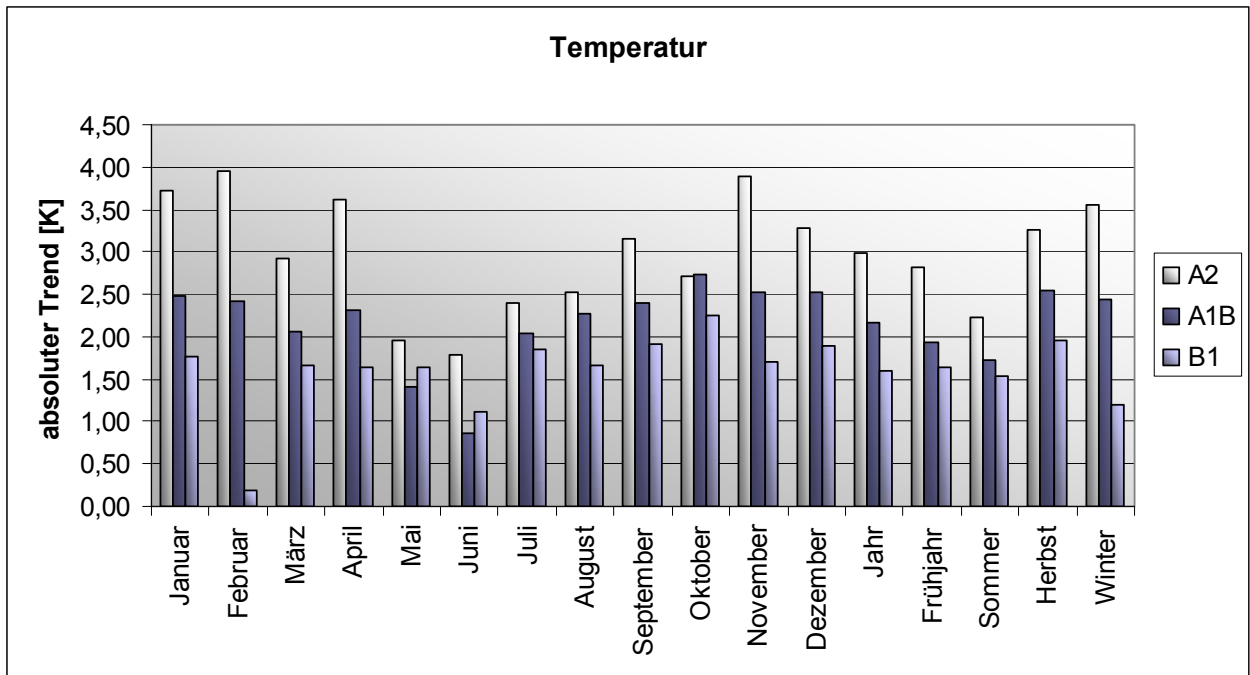
**Projizierter Verlauf der mittleren Niederschlagssummen [mm] im Untersuchungsgebiet:**



Klimaänderungssignale des Modells (Emissionsszenarios im 21. Jahrhundert/Kontroll-Lauf):



**Temperatur- und Niederschlagstrends im 21. Jahrhundert:**



## Trendstatistik

## MRI-CGCM A1B

Temperatur	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter
Beginn	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2002
Ende	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Mittelwert	-0,40	0,30	2,48	6,27	11,38	15,66	17,58	16,00	13,00	8,22	3,75	0,84	7,92	6,71	16,41	8,32	0,27
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																	
m	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02
c	-51,72	-49,65	-40,29	-41,52	-17,90	-2,02	-24,74	-31,02	-36,80	-48,23	-48,41	-51,48	-36,98	-33,24	-19,26	-44,48	-50,96
R <sup>2</sup>	0,10	0,10	0,10	0,22	0,12	0,05	0,25	0,37	0,34	0,30	0,20	0,16	0,44	0,22	0,32	0,45	0,17
absoluter Trend	2,48	2,41	2,06	2,31	1,41	0,85	2,04	2,27	2,40	2,73	2,52	2,53	2,17	1,93	1,72	2,55	2,45
relativer Trend	-624,45	800,38	83,32	36,79	12,42	5,45	11,62	14,19	18,50	33,16	67,14	300,18	27,36	28,74	10,49	30,63	896,67
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																	
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	3,75	2,74	2,88	4,54	3,52	2,03	5,08	6,06	6,04	5,54	4,76	4,63	7,27	4,55	5,86	7,04	4,44
Irrtumswahrscheinlichkeit	0,001	0,01	0,01	0,001	0,001	0,05	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bewertung	hoch	signifikant	signifikant	hoch	signif.	signifikant	signif.	signif.	hoch	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	hoch
<b>Niederschlag</b>																	
Beginn	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2002
Ende	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Mittelwert	60,24	49,19	49,79	49,59	59,37	61,69	57,32	57,09	46,30	56,44	61,63	59,97	668,62	158,75	176,10	164,38	169,75
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																	
m	0,13	0,08	0,10	0,08	0,05	0,02	0,00	-0,14	-0,10	-0,01	0,03	-0,05	0,18	0,24	-0,12	-0,09	0,16
c	-212,87	-105,19	-156,06	-118,28	-50,62	16,04	66,36	347,58	246,02	86,28	6,76	168,32	294,33	-324,97	429,98	339,05	-150,14
R <sup>2</sup>	0,03	0,02	0,04	0,03	0,01	0,00	0,00	0,05	0,03	0,00	0,00	0,01	0,01	0,06	0,01	0,01	0,02
absoluter Trend	13,19	7,45	9,94	8,10	5,31	2,20	-0,44	-14,03	-9,64	-1,44	2,65	-5,23	18,07	23,35	-12,26	-8,43	15,29
relativer Trend	21,89	15,15	19,96	16,34	8,95	3,57	-0,76	-24,57	-20,82	-2,55	4,30	-8,72	2,70	14,71	-6,96	-5,13	9,00
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																	
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	negativ	negativ	negativ	negativ	positiv	negativ	positiv	positiv	negativ	negativ	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	1,65	1,29	1,77	1,56	0,79	0,33	-0,30	-2,14	-1,71	-0,39	0,33	-1,05	0,96	2,57	-0,98	-0,62	1,44
Irrtumswahrscheinlichkeit	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,05	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05	0,05	0,2
Bewertung	signifikant	schwach	signifikant	schwach	nicht	nicht	nicht	signifikant	signifikant	nicht	nicht	nicht	nicht	signifikant	nicht	nicht	schwach

## Trendstatistik

## MRI-CGCM A2

Temperatur	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter
Beginn	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2002
Ende	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Mittelwert	-0,35	0,20	2,08	6,18	11,14	15,47	17,55	16,12	13,12	8,36	3,58	0,84	7,86	6,47	16,38	8,36	0,23
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																	
m	0,04	0,04	0,03	0,04	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,04
c	-77,33	-81,63	-58,27	-68,70	-29,33	-21,51	-32,04	-35,96	-52,37	-47,95	-76,99	-67,16	-54,10	-52,10	-29,84	-59,11	-73,97
R <sup>2</sup>	0,29	0,19	0,15	0,39	0,22	0,15	0,32	0,42	0,42	0,31	0,37	0,25	0,62	0,34	0,42	0,55	0,31
absoluter Trend	3,72	3,95	2,91	3,62	1,95	1,79	2,39	2,51	3,16	2,72	3,89	3,28	2,99	2,83	2,23	3,26	3,55
relativer Trend	-1050,91	2019,77	139,78	58,53	17,54	11,54	13,64	15,60	24,10	32,52	108,58	392,44	38,07	43,72	13,62	38,98	1516,29
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																	
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	5,49	4,40	3,72	6,58	4,70	4,01	5,60	6,87	6,83	5,73	6,21	5,02	8,60	5,98	6,93	8,27	5,68
Irrtumswahrscheinlichkeit	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bewertung	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.	hoch signif.
<b>Niederschlag</b>																	
Beginn	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2002
Ende	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Mittelwert	60,74	47,83	47,08	47,76	56,17	58,83	56,70	52,55	42,00	58,71	66,02	64,98	659,37	151,01	168,07	166,73	173,85
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																	
m	0,07	0,05	0,12	-0,02	0,15	0,00	-0,01	-0,10	0,03	0,01	0,08	-0,08	0,28	0,25	-0,11	0,12	0,02
c	-76,27	-44,99	-199,79	94,60	-253,03	66,35	72,62	261,51	-23,51	34,86	-87,94	235,98	80,37	-358,22	400,48	-76,60	140,03
R <sup>2</sup>	0,01	0,01	0,05	0,00	0,08	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,08	0,01	0,01	0,00
absoluter Trend	6,62	4,48	11,92	-2,26	14,93	-0,36	-0,77	-10,09	3,16	1,15	7,43	-8,26	27,95	24,59	-11,22	11,75	1,62
relativer Trend	10,89	9,37	25,32	-4,74	26,58	-0,62	-1,36	-19,20	7,53	1,96	11,26	-12,71	4,24	16,28	-6,68	7,05	0,93
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																	
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	negativ	positiv	positiv	negativ	negativ	positiv	positiv	positiv	negativ	positiv	positiv	negativ	positiv	negativ
Mann-Kendall-Trendwert Q	1,26	0,65	2,22	-0,24	2,94	0,03	-0,36	-2,03	0,74	0,11	1,06	-1,22	1,65	2,73	-0,99	0,96	-0,16
Irrtumswahrscheinlichkeit			0,05		0,01			0,05					0,1	0,01			
Bewertung	nicht signif.	nicht signif.	signifikant	nicht signif.	signifikant	nicht signif.	nicht signif.	signifikant	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	signifikant	signifikant	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.

## Trendstatistik

## MRI-CGCM B1

Temperatur	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter	
Beginn	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2002
Ende	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Mittelwert	-0,88	-0,16	1,96	6,07	11,00	15,44	17,38	15,81	12,80	8,00	3,37	0,49	7,61	6,34	16,21	8,05	-0,18	
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																		
m	0,02	0,00	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
c	-37,58	-3,89	-32,32	-27,83	-23,04	-7,56	-20,75	-18,80	-26,92	-38,54	-31,74	-38,82	-25,65	-27,73	-15,70	-32,40	-25,33	
R <sup>2</sup>	0,07	0,00	0,07	0,11	0,16	0,11	0,25	0,19	0,22	0,21	0,10	0,12	0,33	0,16	0,33	0,35	0,05	
absoluter Trend	1,77	0,18	1,66	1,64	1,64	1,11	1,84	1,67	1,92	2,25	1,69	1,90	1,61	1,65	1,54	1,95	1,20	
relativer Trend	-200,67	-110,24	84,34	26,98	14,94	7,19	10,59	10,57	14,99	28,08	50,36	385,71	21,11	25,94	9,51	24,25	-681,19	
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																		
Trendrichtung	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv
Mann-Kendall-Trendwert Q	2,54	0,31	2,92	3,31	3,76	3,34	5,18	4,70	4,78	4,35	3,42	3,25	5,71	4,00	5,89	6,16	2,04	
Irrtumswahrscheinlichkeit	0,05		0,01	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,01	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,05
Bewertung	signifikant	nicht signif.	signifikant	hoch signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	signif.	hoch signif.	signif.	signif.	signifikant	hoch signif.	signif.	signif.	signif.	signifikant
<b>Niederschlag</b>																		
Beginn	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2002
Ende	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Mittelwert	60,00	47,89	47,80	47,35	55,92	63,28	57,47	58,44	42,27	57,73	57,75	64,12	660,01	151,07	179,18	157,75	172,27	
<b>linearer Trend (y= mx+c)</b>																		
m	0,09	0,00	0,04	0,09	-0,03	0,04	0,00	0,15	0,02	0,02	0,04	-0,03	0,43	0,10	0,19	0,08	0,03	
c	-122,59	47,05	-43,78	-128,32	121,25	-24,00	50,65	-245,83	-5,16	10,12	-20,20	135,59	-225,23	-50,86	-219,18	-15,24	105,74	
R <sup>2</sup>	0,01	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,02	0,01	0,00	
absoluter Trend	8,82	0,04	4,42	8,48	-3,15	4,21	0,33	14,69	2,29	2,30	3,76	-3,45	42,74	9,75	19,23	8,35	3,18	
relativer Trend	14,69	0,08	9,25	17,91	-5,64	6,66	0,57	25,14	5,42	3,98	6,52	-5,38	6,48	6,45	10,73	5,29	1,85	
<b>Mann-Kendall-Trendtest</b>																		
Trendrichtung	positiv	negativ	positiv	positiv	negativ	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	negativ	positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	negativ
Mann-Kendall-Trendwert Q	1,25	-0,27	0,87	1,47	-0,46	0,46	0,04	2,37	0,75	0,30	1,10	-0,46	1,63	0,88	1,80	0,66	-0,34	
Irrtumswahrscheinlichkeit				0,2				0,05					0,2		0,1			
Bewertung	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	schwach signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	signifikant	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	nicht signif.	schwach signif.	nicht signif.	signifikant	nicht signif.	nicht signif.	

## **Zusammenfassung:**

### Kontroll-Lauf

Das Untersuchungsgebiet weist eine Jahresmitteltemperatur von 6,1 °C auf. Im Winter gehen die Temperaturen auf durchschnittlich -2,1 °C zurück. Wärmster Monat ist der Juli mit 16,4 °C (Sommer: 15,3 °C). Der größte Teil des jährlichen Niederschlages (Mittelwert: 648 mm) fällt im Sommer (178 mm). Auch die Monate November bis Januar sind mit > 54 mm relativ feucht. Geringer fallen die Niederschläge in den Übergangsjahreszeiten aus (Frühjahr 145 mm, Herbst 160 mm).

### Klimatrends im 21. Jahrhundert

*A1B – Szenario:* Die Jahresmitteltemperatur weist einen Zunahmetrend von +2,2 K auf. Mit +2,6 bzw. +2,5 K fällt die Erwärmung im Herbst und Winter am deutlichsten aus. Die geringsten Erwärmungsraten sind in den Frühsommermonaten Mai (+1,4 K) und Juni (+0,9 K) festzustellen. Im Niederschlagsverhalten ist eine signifikante Zunahme im Frühjahr (+15 %) zu verzeichnen. Hauptverantwortlich sind hierbei die Niederschlagszunahmen während der Monate März (+20 %) und April (+16 %). Auch die Monate Januar (+22 %) und Februar (+15 %) weisen Zunahmetrends auf. Signifikante Abnahmen hingegen sind im Spätsommer (August -25 %, September -21 %) festzustellen.

*A2 – Szenario:* Der Temperaturtrend der Jahresmitteltemperatur im 21. Jahrhundert beträgt 3 K. Am stärksten von der Erwärmung betroffen sind der Herbst (+3,3 K) und der Winter (+3,6 K). Besonders hervorzuheben ist die Trendentwicklung in den Monaten Januar (+3,7 K), Februar (+4 K) und November (+3,9 K). Weitaus geringer fällt die Erwärmung im Früh- bzw. Sommer aus (Mai 2 K, Juni 1,8 K, Juli 2,4 K).

Für die Jahresniederschlagssummen zeichnet sich ein Zunahmetrend um 4 % ab. Dieser ist vor allem durch signifikant ansteigende Frühjahrsniederschläge (+16 %), insbesondere in den Monaten März (+25 %) und Mai (+27 %) zu erklären. Diesen deutlichen Zunahmetrends stehen ebenso signifikante Niederschlagsabnahmen im August (-19 %) gegenüber.

*B1 – Szenario:* Für die Jahresmitteltemperatur ergibt sich ein Zunahmetrend von 1,6 K. Schwerpunkt der Erwärmung ist der Herbst (+2 K). Im Monat Februar ist kein signifikanter Trend festzustellen. Die Niederschläge nehmen in allen Jahreszeiten leicht zu, dies jedoch statistisch nicht immer signifikant. Deutlicher fallen die Zunahmen im Monat April (+18 %) bzw. August (25 %) aus. Für die restlichen Monate ist kein signifikantes Trendverhalten festzustellen.

### Vergleichende Beschreibung der Emissionsszenarios

Im Allgemeinen gilt für die Temperaturtrends  $A2 > A1B > B1$ . In den insgesamt durch relativ schwache Erwärmungsraten gekennzeichneten Monaten Mai und Juni übersteigen die Zunahmen im Szenario B1 die von A1B. Im Oktober ist der Zunahmetrend von A1B und A2 in etwa gleich stark ausgeprägt.

In allen Emissionsszenarios sind im Jahr und vor allem im Frühjahr leichte Niederschlagszunahmen festzustellen. Weit uneinheitlicher gestalten sich die Niederschläge in den einzelnen Emissionsszenarios im restlichen Jahresverlauf. Am deutlichsten werden die Unterschiede im August (B1: +25 %, A1B: -25 %).



### **3.2 Vergleichende Analyse der Klimamodell-Ergebnisse**

Die von Klimamodellen wiedergegebene vergangene und zukünftige klimatische Entwicklung ist je nach Modell von verschiedenen methodischen Komponenten sowie von den berücksichtigten Einflussfaktoren abhängig. Betrachtet man diese verschiedenen Randbedingungen und Vorgehensweisen als eine Vielzahl von Erklärungsansätzen für das klimatische Geschehen, so erscheint es nachvollziehbar, dass unterschiedliche Methoden auch zu voneinander abweichenden Ergebnissen kommen können.

Eine erschöpfende Bewertung von Modellen, den zugrundeliegenden Methoden und ihren Ergebnissen stellt eine umfangreiche Aufgabe dar und kann in diesem Rahmen nicht erfolgen. Nichtsdestotrotz können die vorliegenden Ergebnisse dafür verwendet werden, den potenziell möglichen klimatischen Rahmen für das 21. Jahrhundert im Sinne einer Bandbreitenabschätzung einzugrenzen und darzustellen.

Auf diesem Wege können wesentliche Gemeinsamkeiten und Unterschiede identifiziert werden und die von verschiedenen Modellen als gleichförmig, gegenläufig oder indifferent projizierten klimatischen Charakteristika oder Entwicklungen als ein Maß für die Sicherheit bzw. Unsicherheit der projizierten Entwicklungen herangezogen werden.

Im Rahmen der Untersuchung konnten die Ergebnisse von zwölf verschiedenen globalen Klimamodellen ausgewertet werden. In Abhängigkeit der Maschenweite der Modelle variiert die Anzahl der Gitterpunkte im Untersuchungsgebiet zwischen zwei und 30 Punkten (vgl. Tabelle 4 bzw. Abbildung 4). Bei einer Gesamtausdehnung des Untersuchungsgebietes von rund 480.000 km<sup>2</sup> entspricht das einer räumlichen Auflösung der Modelle von ca. 130 x 130 bis 500 x 500 km.

Die modellspezifische Beschaffenheit der Datensätze äußert sich weiterhin in der unterschiedlichen Länge der Kontroll-Simulationen für das pre-industrielle Treibhausgasniveau (PICTL) sowie im Vorhandensein bzw. der unterschiedlichen Länge der Simulationsläufe in den einzelnen Emissionsszenarios A1B, A2 und B1).

Nachfolgende Auswertungen beziehen sich stets auf den räumlichen Mittelwert aus allen Gitterpunkten im Untersuchungsgebiet (vgl. Abschnitt 3.1.2).



BCM 2.0  
Bergen Climate Model



CCSM3  
Community Climate  
System Model



CGCM3.1-T47  
Coupled Global Climate  
Model (Medium Res.)



CSIRO-Mk3.0  
Mark3 Coupled  
Climate Model



ECHAM5/MPI-OM  
European Center  
Hamburg Model



ECHO-G  
ECHAM4 + HOPE-G



GISS-ER  
ModelE20/Russel



HadCM3  
Hadley Centre  
Coupled Model 3



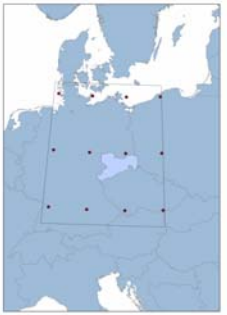
HadGEM  
Hadley Centre Global  
Environmental Model V1



INM-CM3.0



IPSL-CM4



MRI-CGCM2.3.2  
Coupled General  
Circulation Model

**Abbildung 4: Gitterpunkte der Globalmodelle im Untersuchungsgebiet**

### 3.2.1 Charakterisierung der klimatischen Verhältnisse der Kontroll-Läufe

Die vergleichende Betrachtung der Modellergebnisse bezieht sich zunächst auf die Kontroll-Läufe. Hierbei soll beurteilt werden, in welchem Umfang verschiedene Modelle ähnliche Ergebnisse hervorbringen bzw. welche Spannweiten der Klimaelemente in den Monaten und Jahreszeiten von den Modellen simuliert werden.

#### Referenzreihe

Um die klimatischen Charakteristika der Kontroll-Läufe einzuordnen, werden die klimatischen Mittelwerte der Modelloutputs hier mit einem Beobachtungsdatensatz verglichen. Hierfür wurden meteorologische Flächendaten des Deutschen Wetterdienstes (RAPP 2000) sowie die entsprechend ergänzte Datenreihe nach BAUR (BAUR'sche Reihe<sup>2</sup>) als ein mittlerer Referenz-Jahresgang<sup>3</sup> für Temperatur und Niederschlag herangezogen.

**Tabelle 5: Langjährige Mittelwerte der Referenzreihe (Temperatur in °C, Niederschlag in mm)**

Referenz	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	FJ	SO	HE	WI
Temperatur	-1.0	1.0	3.7	8.5	13.2	16.6	18.1	17.7	14.2	9.2	4.0	0.5	8.8	8.5	17.4	9.1	0.1
Niederschlag	43	39	46	42	58	77	80	71	55	58	51	52	670	146	227	165	133

Dieser Datensatz entspricht den ältesten am LfULG vorliegenden flächendeckenden Beobachtungsdaten für Deutschland. Im Hinblick auf das Treibhausgasniveau der pre-industriellen Kontroll-Klimate wurden für den Modellvergleich die langjährigen klimatischen Mittelwerte 1761-1900 (Temperatur) bzw. 1851-1900 (Niederschlag) als Referenzzeiträume definiert (Mittelwerte siehe Tabelle 5).

In Anbetracht der Tatsache, dass in diesem Zeitraum bereits anthropogene Treibhausgase emittiert wurden, soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass der Referenzdatensatz hierbei als ein einheitliches Bezugsniveau für die vergleichende Beurteilung der Modellergebnisse herangezogen wird und nicht im Sinne einer Beurteilung der Modellgüte (also einem Vergleich der Modellergebnisse mit den Beobachtungsdaten) verstanden werden sollte.

#### Temperaturen im Kontroll-Klima: Jahresgang

Die mittleren Jahresgänge der Temperatur weisen im Allgemeinen die für die Nordhalbkugel typischen Maxima im Sommer bzw. Minima im Winter auf (Abbildung 5). Allerdings bestehen Unterschiede hinsichtlich des Temperaturniveaus, des Auftretens von minimalen und maximalen Monatsmitteltemperaturen im Jahresverlauf sowie hinsichtlich der Amplituden der Jahresgänge.

---

<sup>2</sup> BAUR'sche Reihe: Temperaturreihe nach Franz Baur (verwendet von 1761 bis 1890, entnommen aus der Berliner Wetterkarte von 1975)

**Tabelle 6: Differenzen zwischen wärmsten und kältesten Monat im Jahresgang**

Modell	Tmax – Tmin [K]
GISS-ER	24.1
BCM2.0	21.7
CGCM3	21.2
IPSL-CM4	21.2
HadGEM	20.0
MRI-CGCM2.3.2	19.1
ECHAM5	18.6
HadCM3	17.9
CSIRO-Mk3	17.6
INM-CM3	16.8
CCSM3.1	15.5
ECHO-G	11.5

Während für den Großteil der Modelle eine weitgehend einheitliche Grobcharakteristik des Jahresganges erkennbar ist (Minimaltemperatur im Januar, Maximaltemperatur im Juli), stellt das Modell ECHO-G eine Besonderheit dar. Der Jahresgang dieses Modells weist mit niedrigen Sommertemperaturen und vergleichsweise hohen Wintertemperaturen eine deutlich maritime Ausprägung des Klimas auf (geringe Amplitude im Jahresverlauf, vgl. Tabelle 7). Zudem treten Minimum und Maximum der Monatsmitteltemperaturen mit einer Verzögerung um ca. einen Monat im Jahresverlauf auf.

Als ein vereinfachtes Maß für den Grad der Kontinentalität sind die Differenzen zwischen dem wärmsten und dem kältesten Monat der Kontroll-Klimate in Tabelle 6 zusammengefasst. Die Spannweite variiert modellabhängig zwischen 11,5 K (ECHO-G, maritim geprägtes Klima) und 24,1 K (GISS-ER, kontinental geprägtes Klima).

#### Temperaturen im Kontroll-Klima: Bandbreite

Die Bandbreite bzw. Spannweite der Jahresmitteltemperaturen der verschiedenen Modell-Läufe umfasst 5,5 K (Werte siehe Tabelle 7). Das mit Abstand kälteste mittlere Kontroll-Klima wird durch das kanadische Modell CGCM3.1 simuliert (Jahresmitteltemperatur 4,3 °C, Winter -4,7 °C, Sommer 14,5 °C, Januar -5,6° C), während das russische Modell INM-CM3.0 das mit Abstand wärmste mittlere Kontroll-Klima aufweist. Bei diesem Modell beträgt die Jahresmitteltemperatur im Untersuchungsgebiet 9,8 °C und die Temperatur während der Wintermonate 2,9 °C (Sommer: 18,1 °C).

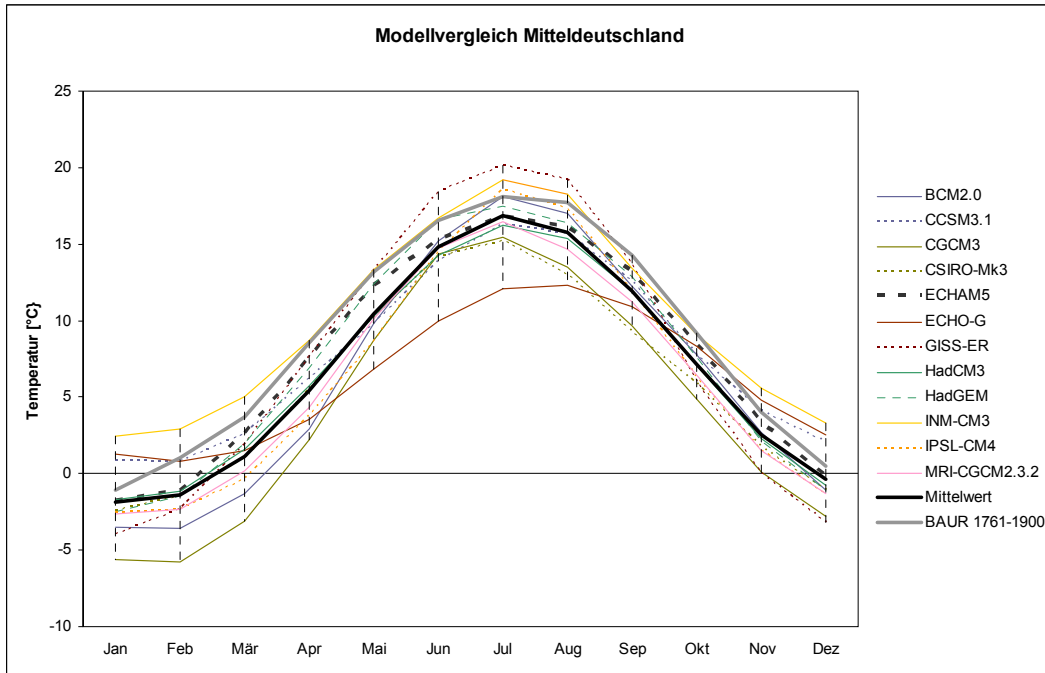
Es wurde bereits auf die für den mitteldeutschen Raum uncharakteristischen Ergebnisse des Modells ECHO-G hingewiesen. Lässt man dieses Modell bei der Beurteilung der klimatischen Charakteristika bzw. Bandbreite des Kontroll-Klimas außer Acht (Ausreißereliminierung), so lassen sich weitere Schlussfolgerungen für die restlichen elf Modelle ziehen.

So wird deutlich, dass die Modelle bei der Wintertemperatur eine hohe Temperaturbandbreite (Winter 7,6 K) aufweisen, während die Abweichungen in den Frühjahrs-, Sommer- und Herbstmonaten geringer ausfallen. Insbesondere die Monate Mai (4,7 K), Juni (4,5 K) sowie September (4,4 K) und Oktober (4,2 K) sind durch vergleichsweise geringe Spannen gekennzeichnet (siehe Abbildung 6 bzw. Tabelle 7).

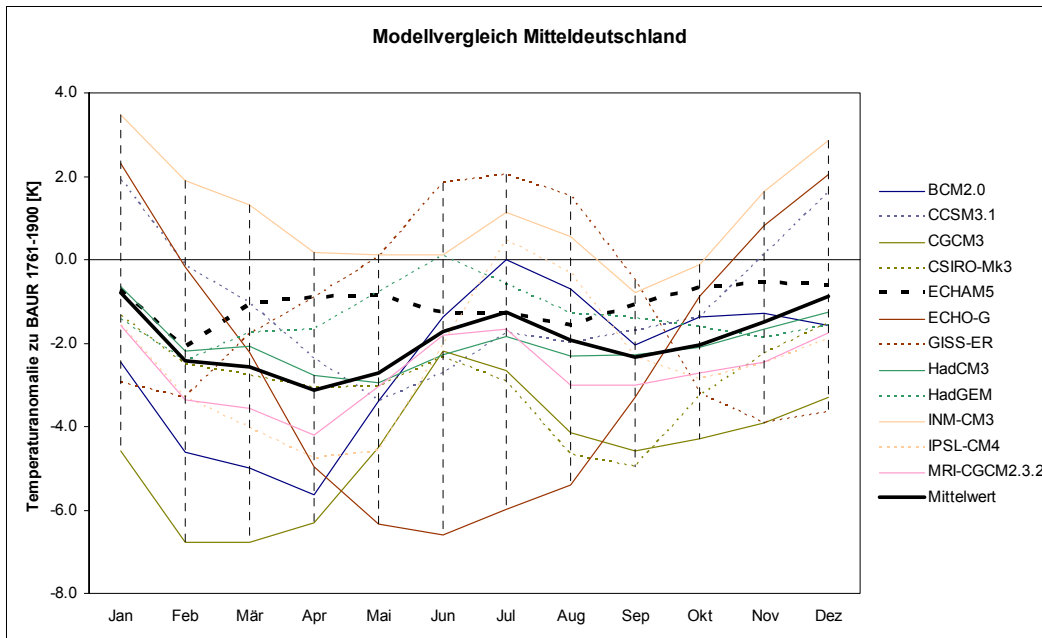
Zusammenfassend kann geschlussfolgert werden, dass die verschiedenen Kontroll-Läufe hinsichtlich der simulierten Wintertemperaturen ein geringeres Maß an Übereinstimmung aufweisen als für den Rest des Jahresverlaufs.

#### Temperaturen im Kontroll-Klima: Ensemble-Betrachtung

Im Mittel über alle Modelle (Ensemble-Betrachtung) ergibt sich eine durchschnittliche Jahrestemperatur von 6,9 °C (siehe auch Tabelle 7). Die mittlere Wintertemperatur beträgt im Mittel -1,2 °C (ohne ECHO-G -1,5 °C). Der Sommer weist im Ensemble-Mittel eine Durchschnittstemperatur von 15,8 °C (ohne ECHO-G 16,2 °C) auf.



**Abbildung 5: Vergleich der Kontroll-Läufe auf pre-industriellem Treibhausgasniveau (PICTL), Monatsmitteltemperaturen der Modelle, des Modellmittels und der BAUR'schen Reihe**



**Abbildung 6: Vergleich der Kontroll-Läufe auf pre-industriellem Treibhausgasniveau (PICTL), Temperaturabweichungen zwischen den Modellen und der BAUR'schen Reihe**

**Tabelle 7: Langjährige Mittelwerte der simulierten Temperaturen im pre-industriellen Kontroll-Lauf sowie zusammengefasste statistische Kennzahlen des Kontroll-Lauf-Ensembles**

Temperatur [°C/K]	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	FJ	SO	HE	WI
BCM2.0	-3.5	-3.6	-1.3	2.9	9.8	15.2	18.1	17	12.2	7.8	2.7	-1.1	6.4	3.8	16.8	7.6	-2.7
CCSM3.1	0.9	0.8	2.6	6.2	9.8	13.9	16.3	15.7	12.5	7.8	4.1	2.1	7.7	6.2	15.3	8.1	1.3
CGCM3	-5.6	-5.8	-3.1	2.2	8.7	14.4	15.5	13.5	9.7	4.9	0.1	-2.8	4.3	2.6	14.5	4.9	-4.7
CSIRO-Mk3	-2.4	-1.5	0.9	5.5	10.2	14.2	15.2	13.0	9.3	5.9	1.7	-1.0	5.9	5.5	14.1	5.6	-1.6
ECHAM5	-1.7	-1.1	2.7	7.7	12.3	15.3	16.8	16.1	13.2	8.5	3.4	-0.1	7.7	7.5	16.1	8.4	-1.0
ECHO-G	1.3	0.8	1.5	3.6	6.9	10.0	12.1	12.3	10.9	8.3	4.8	2.5	6.2	4.0	11.5	8.0	1.5
GISS-ER	-4.0	-2.3	1.9	7.6	13.2	18.4	20.1	19.2	13.7	6.0	0.1	-3.2	7.6	7.6	19.3	6.6	-3.2
HadCM3	-1.7	-1.2	1.6	5.8	10.2	14.3	16.2	15.4	12.0	7.1	2.3	-0.8	6.8	5.9	15.3	7.1	-1.2
HadGEM	-2.5	-1.4	1.9	6.9	12.4	16.6	17.5	16.4	12.8	7.6	2.1	-1.1	7.4	7.1	16.9	7.5	-1.7
INM-CM3	2.4	2.9	5.0	8.7	13.3	16.7	19.2	18.3	13.5	9.1	5.6	3.3	9.8	9.0	18.1	9.4	2.9
IPSL-CM4	-2.6	-2.3	-0.3	3.8	8.6	14.5	18.6	17.4	11.9	6.3	1.5	-1.4	6.3	4.0	16.8	6.6	-2.1
MRI-CGCM2.3.2	-2.6	-2.4	0.1	4.3	10.1	14.7	16.4	14.7	11.2	6.5	1.5	-1.3	6.1	4.9	15.3	6.4	-2.1
<b>Statistische Kennzahlen aller Kontroll-Kimate</b>																	
Mittelwert	-1.8	-1.4	1.1	5.4	10.5	14.8	16.8	15.7	11.9	7.1	2.5	-0.4	6.9	5.7	15.8	7.2	-1.2
Std.abw.	2.2	2.1	2.0	2.0	1.9	1.9	2.0	2.0	1.4	1.2	1.7	1.9	1.3	1.8	1.9	1.2	2.1
Minimum	-5.6	-5.8	-3.1	2.2	6.9	10.0	12.1	12.3	9.3	4.9	0.1	-3.2	4.3	2.6	11.5	4.9	-4.7
Maximum	2.4	2.9	5.0	8.7	13.3	18.4	20.1	19.2	13.7	9.1	5.6	3.3	9.8	9.0	19.3	9.4	2.9
Spannweite	8.1	8.7	8.1	6.5	6.5	8.4	8.0	6.9	4.4	4.2	5.6	6.5	5.5	6.4	7.8	4.5	7.6
N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
<b>Statistische Kennzahlen der Kontroll-Kimate unter Eliminierung von ECHO-G</b>																	
Mittelwert	-2.1	-1.6	1.1	5.6	10.8	15.3	17.3	16.1	12.0	7.0	2.3	-0.7	6.9	5.8	16.2	7.1	-1.5
Std.abw.	2.1	2.1	2.1	2.0	1.6	1.3	1.5	1.8	1.4	1.2	1.6	1.8	1.3	1.8	1.5	1.2	2.0
Minimum	-5.6	-5.8	-3.1	2.2	8.6	13.9	15.2	13.0	9.3	4.9	0.1	-3.2	4.3	2.6	14.1	4.9	-4.7
Maximum	2.4	2.9	5.0	8.7	13.3	18.4	20.1	19.2	13.7	9.1	5.6	3.3	9.8	9.0	19.3	9.4	2.9
Spannweite	8.1	8.7	8.1	6.5	4.7	4.5	5.0	6.2	4.4	4.2	5.6	6.5	5.5	6.4	5.1	4.5	7.6
N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11

Niederschläge im Kontroll-Klima: Jahresgang

Die durch die Modelle simulierten Niederschlagsverteilungen im Jahresverlauf stellen sich vielfältiger dar als es bei der Temperatur der Fall ist (siehe Abbildung 7). Insgesamt sieben der untersuchten Modelle (namentlich BCM2.0, CGCM3.1, CSIRO-Mk3, GISS-ER, HADCM3, HADGEM und MRI-CGCM2.3.2) weisen ihr Niederschlagsmaximum in den Sommermonaten auf, während das Niederschlagsmaximum des Modells INM-CM3 in den Herbst verlagert ist. Bei den übrigen Modellen treten die höchsten Niederschlagssummen im Winter auf. Für ECHAM5 zeigen sich im Untersuchungsgebiet zwei Maxima der Niederschläge, zum einen den Sommer (im Mittel 210 mm) und zum anderen die Wintermonate (216 mm). Im Fall von CCSM3.1 und IPSL-CM4 stellen die Sommermonate die trockenste und die Wintermonate die feuchteste Jahreszeit dar. Ebenso ungewöhnlich stellen sich die Ergebnisse des Modells ECHO-G im Untersuchungsgebiet dar. Das deutlich ausgeprägte Nieder-

schlagsmaximum im Winter bzw. Niederschlagsminimum im Sommer ist ebenso untypisch für das Untersuchungsgebiet wie der bereits beschriebene Jahresgang der Temperatur.

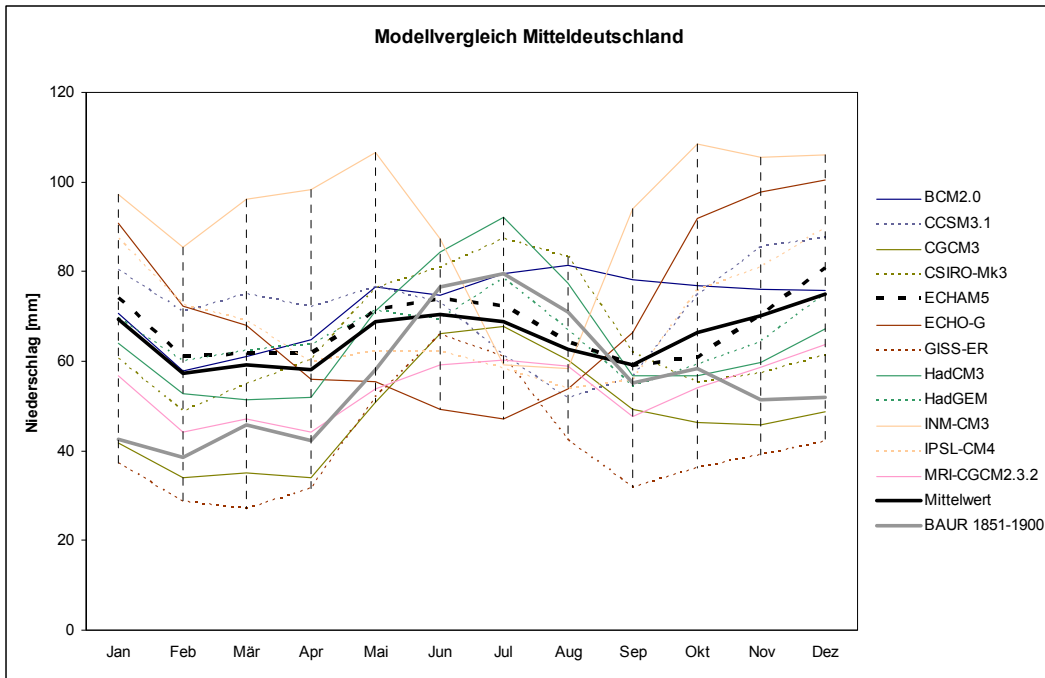
#### Niederschläge im Kontroll-Klima: Bandbreite

Aus Abbildung 7 bzw. Tabelle 8 geht hervor, dass sich die Modelle nicht nur hinsichtlich der modellierten Niederschlagsverteilung, sondern auch hinsichtlich der absoluten Niederschlagssummen unterscheiden. Dies kommt insbesondere in der von den verschiedenen Modellen wiedergegebenen Spanne der Jahresniederschlagssummen (GISS-ER: 494 mm, INCM-CM3: 1103 mm) zum Ausdruck. Aus Abbildung 8 bzw. den Zahlenwerten in Tabelle 8 ist weiterhin erkennbar, dass sich die geringsten Spannweiten bzw. die stärksten Übereinstimmungen der modellierten Niederschlagssummen während der Sommermonate ergeben. Die Spannweite der mittleren Sommerniederschläge beträgt 104 mm (85 mm bei Vernachlässigung von ECHO-G). Vor allem im Herbst (Spanne von 201 mm), aber auch in den anderen Jahreszeiten weichen die mittleren Jahresgänge der Modelle stärker voneinander ab.

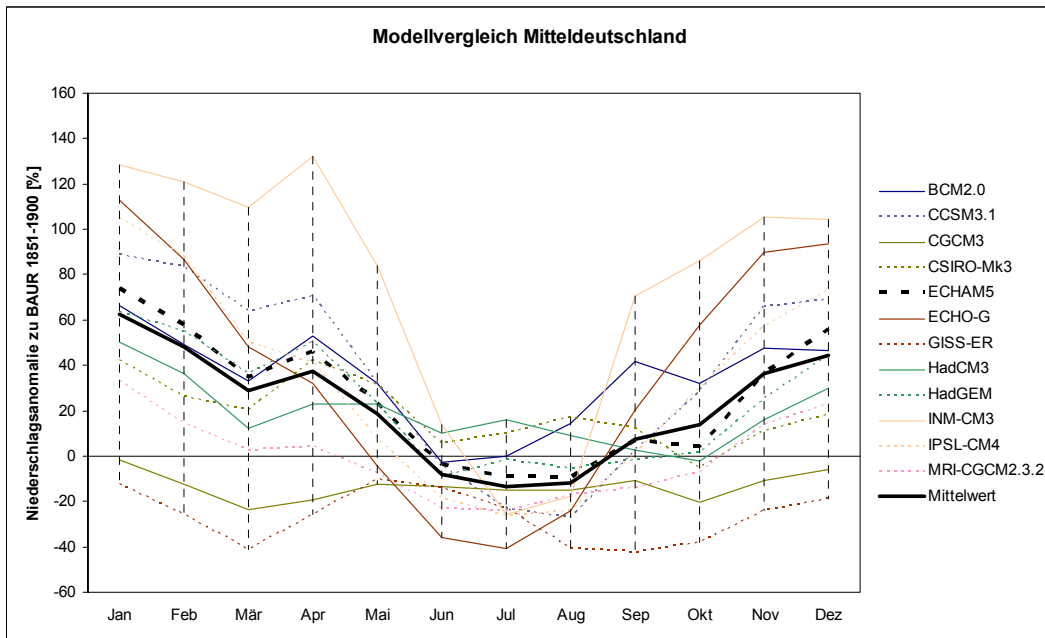
#### Niederschläge im Kontroll-Klima: Ensemble-Betrachtung

Der mittlere Jahresniederschlag aus allen Modellen beträgt 785 mm. Für den Winter ergibt sich aus der Ensemble-Betrachtung eine Niederschlagssumme von 202 mm (ohne ECHO-G 196 mm), im Sommer von 202 mm (ohne ECHO-G 207 mm). Im Frühjahr und Herbst fallen die mittleren Niederschlagssummen mit ca. 190 mm geringer aus. Auch ist bei der Ensemble-Betrachtung ein typischer Jahresgang des Niederschlags erkennbar. Das Niederschlagsmaximum im Sommer übersteigt das zweite Maximum in den Wintermonaten nur geringfügig.





**Abbildung 7: Vergleich der Kontroll-Läufe auf pre-industriellem Treibhausgasniveau (PICTL), mittlere Monatsniederschläge der Modelle, des Modellmittels und der BAUR'schen Reihe**



**Abbildung 8: Vergleich der Kontroll-Läufe auf pre-industriellem Treibhausgasniveau (PICTL), Niederschlagsabweichungen zwischen den Modellen und der BAUR'schen Reihe**

**Tabelle 8: Langjährige Mittelwerte der simulierten Niederschlagssummen im pre-industriellen Kontroll-Lauf sowie statistische Kennzahlen des Kontroll-Lauf-Ensembles**

Niederschlag [mm]	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	FJ	SO	HE	WI
BCM2.0	71	58	61	65	77	75	80	81	78	77	76	76	874	202	235	231	205
CCSM3.1	80.4	70.9	75.0	72.2	76.7	73.1	61.4	51.8	56.6	74.7	85.3	87.5	865.6	223.9	186.3	216.6	239.0
CGCM3	41.9	33.9	35.1	34.1	50.9	66.2	67.8	60.2	49.3	46.4	45.9	48.6	580.3	120.1	194.2	141.6	124.4
CSIRO-Mk3	60.7	48.8	55.0	60.2	76.4	80.9	87.4	83.2	61.9	55.2	57.3	61.4	788.3	191.6	251.5	174.4	170.7
ECHAM5	74.1	61.1	61.7	61.7	71.6	73.9	72.2	64.3	58.9	60.8	70.3	81.0	811.7	195.1	210.4	190.1	216.3
ECHO-G	90.8	72.3	68.0	56.0	55.4	49.2	47.0	53.9	66.5	91.9	97.7	100.4	849.1	179.4	150.1	256.1	263.4
GISS-ER	37.3	28.7	27.0	31.5	52.1	65.9	61.0	42.3	31.8	36.1	39.1	42.0	494.9	110.6	169.2	107.0	108.1
HadCM3	64.0	52.8	51.3	52.1	71.2	84.3	92.3	77.5	56.7	56.9	59.7	67.3	786.2	174.6	254.1	173.3	184.2
HadGEM	69.7	60.1	62.5	63.8	71.2	69.5	78.4	67.0	54.3	59.1	64.3	74.9	795.7	197.6	214.9	177.6	204.8
INM-CM3	97.3	85.5	96.2	98.3	106.7	87.4	59.2	58.5	94.1	108.5	105.7	106.1	1103.4	301.2	205.1	308.3	289.0
IPSL-CM4	87.3	72.7	69.0	59.7	62.2	62.2	58.5	53.9	55.7	75.9	80.9	89.8	827.7	191.0	174.5	212.5	249.7
MRI-CGCM2.3.2	56.7	44.3	47.0	44.2	53.7	59.1	60.3	58.9	47.6	54.1	58.6	63.8	648.4	144.9	178.4	160.3	164.8
Statistische Kennzahlen aller Kontroll-Klimate																	
Mittelwert	69.3	57.4	59.1	58.2	68.7	70.5	68.7	62.7	59.3	66.4	70.1	74.9	785.4	186.0	202.0	195.7	201.6
Std.abw.	17.7	16.0	17.5	16.9	15.0	10.5	12.8	12.0	14.9	19.3	19.1	18.6	149.2	47.6	31.5	51.4	52.2
Minimum	37.3	28.7	27.0	31.5	50.9	49.2	47.0	42.3	31.8	36.1	39.1	42.0	494.9	110.6	150.1	107.0	108.1
Maximum	97.3	85.5	96.2	98.3	106.7	87.4	92.3	83.2	94.1	108.5	105.7	106.1	1103.4	301.2	254.1	308.3	289.0
Spannweite	60.0	56.8	69.2	66.8	55.8	38.2	45.2	40.9	62.3	72.4	66.5	64.0	608.6	190.6	103.9	201.2	180.9
N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Statistische Kennzahlen der Kontroll-Klimate unter Eliminierung von ECHO-G																	
Mittelwert	67.3	56.0	58.3	58.4	69.9	72.5	70.7	63.5	58.6	64.1	67.6	72.6	779.6	186.6	206.7	190.3	196.0
Std.abw.	17.2	16.1	18.0	17.7	15.1	8.6	11.5	12.3	15.4	18.5	18.0	17.7	154.6	49.6	28.6	50.2	50.9
Minimum	37.3	28.7	27.0	31.5	50.9	59.1	58.5	42.3	31.8	36.1	39.1	42.0	494.9	110.6	169.2	107.0	108.1
Maximum	97.3	85.5	96.2	98.3	106.7	87.4	92.3	83.2	94.1	108.5	105.7	106.1	1103.4	301.2	254.1	308.3	289.0
Spannweite	60.0	56.8	69.2	66.8	55.8	28.2	33.8	40.9	62.3	72.4	66.5	64.0	608.6	190.6	84.9	201.2	180.9
N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11

### 3.2.2 Entwicklungen der klimatischen Verhältnisse im 21. Jahrhundert

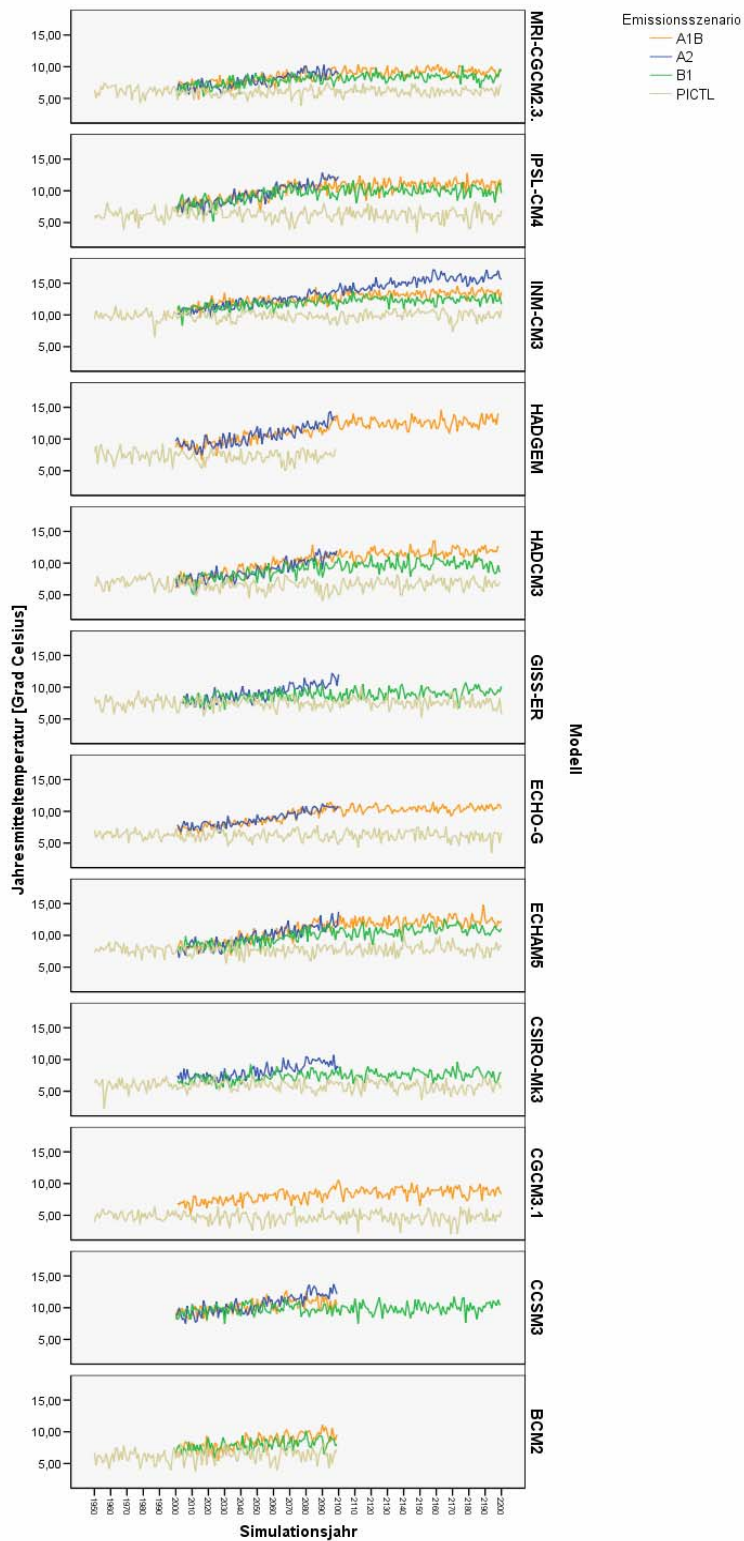
Für eine Beurteilung der durch verschiedene Modelle simulierten potenziellen klimatischen Entwicklungen können verschiedene Kennzahlen Verwendung finden. Die vergleichende Darstellung der Modellergebnisse erfolgte in der vorliegenden Untersuchung anhand von linearen Trendanalysen der Größen Temperatur und Niederschlag sowie durch die Berechnung der jeweiligen statistischen Signifikanz des Klimaänderungssignals. Um eine übersichtliche Darstellung der grundlegenden Entwicklungstendenzen der Modelle in den Einzelmonaten und Jahreszeiten zu ermöglichen, sind die jeweils abgeleiteten Trends in tabellarischer Form zusammengefasst dargestellt (Tabelle 12 bzw. Tabelle 13). Für mögliche Schlussfolgerungen hinsichtlich verschiedener Ausprägung der klimatischen Entwicklungen in Abhängigkeit des vorherrschenden Treibhausgas-Emissionsszenarios sind die klimatischen Entwicklungen für die Szenarios B1, A1B und A2 getrennt aufgeführt.

Eine Beurteilung der Bandbreite potenzieller klimatischer Entwicklungen erfolgte hier anhand der durch die Modelle verschieden deutlich projizierten Trends (Spannweite als Differenz zwischen stärkstem und schwächstem simulierten Trend). Die Auswertungen beziehen sich stets auf den Verlauf der klimatischen Größen im Laufe des 21. Jahrhunderts (vgl. Tabelle 4).

#### Temperaturen im 21. Jahrhundert: projizierte Trends

Zunächst kann auf Grundlage der Auswertungen allgemein geschlussfolgert werden, dass die durch die Modelle projizierte klimatische Entwicklung im 21. Jahrhundert in allen betrachteten Treibhausgas-Emissionsszenarios sowie in allen Jahreszeiten durch einen Anstieg der Jahresmitteltemperaturen gekennzeichnet ist. Diese Grundaussage wird von allen untersuchten Modellen wiedergegeben (siehe Tabelle 12).

In Tabelle 9 sind die Temperaturtrends als Mittelwert aus allen untersuchten Modellen zusammengefasst (Ensemble-Betrachtung). Daraus geht hervor, dass deutliche Unterschiede hinsichtlich des Ausmaßes der Erwärmung in den einzelnen Emissionsszenarios und Jahreszeiten bestehen. Das Emissionsszenario A2 weist im Laufe des 21. Jahrhundert mit 3,8 K eine um 0,7 K höhere Erwärmungsrate der Jahresmitteltemperatur auf, als dies im Szenario A1B der Fall ist (vgl. auch Abbildung 9). Besonders groß stellt sich der unterschiedlich starke Erwärmungstrend zwischen dem Emissionsszenario B1 (1,7 K) und den anderen beiden Szenarios dar.



**Abbildung 9: Simulierter Verlauf der Jahresmitteltemperaturen im pre-industriellen Kontroll-Lauf (PICTL) sowie in den Emissionsszenarios A2, A1B und B1**

Auch die Temperaturentwicklung in den einzelnen Jahreszeiten ist bekanntermaßen abhängig vom zugrundeliegenden Emissionsszenario. Während die stärkste Erwärmungsrate im Szenario B1 auf den Winter entfällt (1,9 K), ergeben sich die deutlichsten Temperaturzunahmen in den Emissionsszenarios mit höherem Treibhausgasniveau im Sommer (A1B: 3,4 K bzw. A2: 4,2 K). Der Herbst weist Zunahmetrends auf, die sich in ihrer Größenordnung zwischen den Sommer- und Herbsttrends einordnen. Im Frühjahr sind die im Mittel niedrigsten Erwärmungsraten zu verzeichnen.

**Tabelle 9: Ensemble-Betrachtung: Temperaturtrends [K] im 21. Jahrhundert (als Mittelwert aus allen untersuchten Modellen)**

Emissionsszenario	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter
B1	1.7	1.5	1.6	1.8	1.9
A1B	3.1	2.8	3.4	3.2	3.2
A2	3.8	3.3	4.2	3.9	3.9
alle	2.9	2.6	3.1	3.0	3.1

**Tabelle 10: Bandbreite der Temperaturtrends [K] im 21. Jahrhundert (als Spannweite zwischen minimalen und maximalen projizierten Trends)**

Bandbreite der Temperaturtrends [K]	B1	A1B	A2	alle
Frühjahr	3.2	2.5	2.4	4.6
Sommer	2.5	3.9	4.1	5.8
Herbst	3.0	2.9	2.2	4.6
Winter	2.8	4.4	2.4	5.1
Jahr	2.3	2.9	1.9	4.3

Bei eingehender Betrachtung der Temperaturtrends in den einzelnen Monaten (vgl. Tabelle 12) wird deutlich, dass der August im Sommer sowie die Monate Dezember und Januar (bzw. im Fall des Szenarios A1B der Februar) generell am stärksten von der Erwärmung betroffen sind.

#### Temperaturen im 21. Jahrhundert: projizierte Bandbreiten

Auf Grundlage der näheren Betrachtung der verschiedenen Klimamodellsimulationen kann die potenzielle Bandbreite der möglichen Temperaturentwicklungen umrissen werden (siehe auch Tabelle 10). Auch hier zeigt sich ein genereller Trend zu ansteigenden Temperaturen. Dies trifft sowohl auf die Jahresmitteltemperatur als auch auf alle Jahreszeiten zu, wobei das Ausmaß der Erwärmung abhängig von der Entwicklung der Treibhausgas-Konzentration in der Atmosphäre ist. So bewegen sich die Zunahmen der Jahresmitteltemperaturen im Szenario B1 zwischen 0,5 K (CCSM, B1) und 2,8 K (IPSL-CM4). Im Szenario A1B variiert der Temperaturanstieg zwischen 1,6 K (INM-CM3) und 4,5 K (HADCM3). Die Bandbreite des Anstieges der Jahresmitteltemperatur im Szenario A2 beträgt 2,9 (CSIRO-MK3) bis 4,8 K (IPSL-CM4). Betrachtet man nun die gesamte Bandbreite der möglichen Entwicklungen in allen berücksichtigten Emissionsszenarios, so ergibt sich aus den Modellergebnissen ein möglicher Zunahmetrend der Jahresmitteltemperatur von 0,5 bis 4,8 K bzw. eine Bandbreite von 4,3 K.

Die Spannen der Zunahmetrends in den einzelnen Jahreszeiten sind in Tabelle 10 getrennt nach Emissionsszenarios aufgeführt. Insbesondere bei der Entwicklung im Sommer (mögliche Spanne der Temperaturzunahme: 5,8 K) und Winter (Spanne: 5,1 K) weisen die Modelle einen vergleichsweise weit gefassten Bereich an möglichen Entwicklungen auf. In den Übergangsjahreszeiten fällt diese geringer aus (4,6 K). Allerdings wird bei einer nach Emissionsszenarios differenzierten Betrachtung deutlich, dass die sich die Bandbreite der Temperaturentwicklung in den einzelnen Jahreszeiten mit steigendem Treibhausgas-Emissionsniveau verringert (im Frühjahr und Herbst) bzw. erweitert (im Sommer).

Niederschlag im 21. Jahrhundert: projizierte Trends

Die von den verschiedenen Modellen projizierte Niederschlagsentwicklung verläuft weit uneinheitlicher, als dies für die Temperatur der Fall ist (vgl. Tabelle 13). Im Mittel über alle Modelle ergibt sich kein deutliches Änderungssignal der Jahresniederschlagssumme. Für die einzelnen Jahreszeiten stellt sich die Entwicklung deutlich differenzierter dar. Im Frühjahr sind in allen Emissionsszenarios leichte Zunahmetendenzen festzustellen. Im Herbst stellt sich die Entwicklung der Niederschläge sehr indifferent dar.

Weit deutlichere Signale den Sommer und Winter festzustellen. Mit ansteigendem Niveau der Treibgasemissionen (bzw. Szenarios) gehen die Sommerniederschläge im Ensemble-Mittel um 1,8 % (B1), 18,2 % (A1B) bzw. 25,3 % (A2) zurück. Ganz im Gegensatz dazu besteht in den Wintermonaten ein deutlicher Trend zu zunehmenden Niederschlagssummen. Dieser beträgt im Mittel über alle Modelle 6,3 (B1), 16,8 (A1B) bzw. 9,7 % im Szenario A2.

Zusammengefasst ergibt sich in den Emissionsszenarios ein Trend zur Niederschlagsumverteilung vom Sommer in die Wintermonate. Im Szenario A2 ergeben sich die stärksten Rückgänge der Sommerniederschläge bei zunehmenden Winterniederschlägen, im Szenario A1B sind noch deutlichere Zunahmen im Winter – bei nicht ganz so stark rückläufigen Sommerniederschlägen - festzustellen.

Während sich für das Szenario B1 in allen Jahreszeiten nur unwesentliche Veränderungen ergeben, kann das Emissionsszenario A2 aufgrund der deutlichen Abnahmen im Sommer, vergleichsweise geringen Zunahmen im Frühjahr und Winter sowie leichter Abnahmetendenzen im Herbst als das Szenario mit den deutlichsten Klimaänderungssignalen in Richtung Trockenheit charakterisiert werden.

**Tabelle 11: Ensemble-Betrachtung: Niederschlagstrends [%] im 21. Jahrhundert (als Mittelwert aus allen untersuchten Modellen)**

Emissionsszenario	Jahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter
B1	3.4	5.2	-1.8	4.0	6.3
A1B	2.7	7.3	-18.2	1.2	16.8
A2	-2.1	3.8	-25.3	-1.3	9.7
alle	1.3	5.4	-15.5	1.2	11.1

Für die Trendentwicklung der Niederschläge in den einzelnen Monaten wird bei der Ensemble-Betrachtung (Mittelwert aus allen Modellen) deutlich, dass sich die deutlichsten Niederschlagsabnahmetrends in allen Emissionsszenarios in den Monaten Juli (B1: -5 %, A1B: -24 %, A2: -27 %) und August (B1: -4%, A1B: -29 %, A2: -35 %) ergeben.

Zunahmen zeigen sich im Szenario B1 in den Übergangsjahreszeiten, hier jedoch nur als vergleichsweise schwache Tendenzen (März +10 %, April und Oktober +7%). Weit markanter fallen die mittleren Zunahmetrends der Einzelmonate in den Szenarios A1B und A2 aus. So nehmen die Niederschläge im Szenario A1B im Dezember um 15 % und im Januar um 21 % zu (A2 im Januar im Mittel +13 %).

Tabelle 12: Absoluter, linearer Temperaturtrend [K] im 21. Jahrhundert sowie die Signifikanz nach Mann-Kendall (farblich abgestuft)

Modell	Szenario	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	Frü	Som	Her	Win	Trend	Trendrichtung	Signifikanz
BCM2	B1	3,3	2,5	1,9	1,6	1,4	0,8	0,9	0,7	1,2	0,9	1,5	0,7	1,5	1,6	0,8	1,2	2,1	positiv	schwach signifikant	
CCSM3	B1	1,0	0,2	0,0	0,5	1,6	0,1	0,9	0,5	0,4	0,2	0,4	0,5	0,5	0,7	0,5	0,3	0,6	positiv	signifikant	
ECHAM5	B1	3,6	2,3	2,6	2,4	0,5	1,8	2,0	3,9	3,4	2,9	3,0	3,9	2,7	1,8	2,6	3,1	3,4	positiv	hoch signifikant	
GISS-ER	B1	2,8	0,6	0,5	-0,2	0,5	0,6	0,8	0,9	0,2	1,0	1,9	2,2	1,0	0,2	0,8	1,0	1,8	negativ	schwach signifikant	
HadCM3	B1	2,5	2,8	1,2	1,5	2,4	2,5	2,6	3,9	3,1	3,7	3,1	4,3	2,8	1,7	3,0	3,3	3,0	negativ	signifikant	
INM-CM3	B1	1,1	1,8	2,3	1,2	0,5	0,6	1,6	1,9	1,0	1,5	1,7	2,1	1,4	1,3	1,3	1,4	1,7	negativ	hoch signifikant	
IPSL-CM4	B1	2,2	2,0	4,9	2,6	2,5	3,5	2,0	2,5	2,9	3,5	1,6	3,0	2,8	3,4	2,7	2,7	2,4		nicht signifikant	
CSIRO-MK3	B1	1,2	1,6	1,2	1,3	1,2	1,4	1,6	1,7	2,3	1,1	1,7	1,2	1,4	1,2	1,5	1,7	1,3		nicht signifikant	
MRI-CGCM	B1	1,8	0,2	1,7	1,6	1,6	1,1	1,8	1,7	1,9	2,2	1,7	1,9	1,6	1,6	1,5	2,0	1,2		nicht signifikant	
BCM2	A1B	3,1	3,5	4,5	4,3	2,7	2,7	2,4	3,3	2,7	2,2	2,5	3,2	3,1	3,9	2,8	2,5	3,2		nicht signifikant	
CCSM3	A1B	2,4	2,9	1,2	1,2	2,0	1,7	2,1	3,4	3,5	2,6	1,7	2,3	2,2	1,4	2,4	2,6	2,6		nicht signifikant	
CGCM3	A1B	2,0	2,3	1,9	2,8	1,3	1,1	2,5	2,2	2,3	2,6	1,7	1,5	2,0	2,0	1,9	2,2	1,9		nicht signifikant	
ECHAM5	A1B	6,5	4,7	3,2	2,9	3,6	3,7	4,7	4,9	4,6	4,1	3,8	5,9	4,4	3,2	4,5	4,2	5,7		nicht signifikant	
ECHO-G	A1B	3,6	4,2	4,1	4,1	2,8	2,9	3,7	4,3	3,8	4,2	3,7	4,0	3,8	3,7	3,6	3,9	3,9		nicht signifikant	
HadCM3	A1B	4,9	5,8	3,0	3,3	3,8	5,0	5,5	6,4	5,2	3,4	3,7	4,0	4,5	3,4	5,6	4,1	4,8		nicht signifikant	
HadGEM	A1B	2,7	4,1	4,5	3,9	2,9	3,8	4,4	4,7	5,1	3,6	3,3	2,3	3,8	3,8	4,3	4,0	3,0		nicht signifikant	
INM-CM3	A1B	1,0	1,9	2,0	1,3	0,9	0,7	3,4	2,6	1,4	1,4	1,5	1,2	1,6	1,4	2,2	1,4	1,3		nicht signifikant	
IPSL-CM4	A1B	3,2	1,9	2,5	2,6	3,9	4,0	5,2	4,1	5,1	3,9	3,8	4,1	3,7	3,0	4,4	4,3	3,0		nicht signifikant	
MRI-CGCM	A1B	2,5	2,4	2,1	2,3	1,4	0,9	2,0	2,3	2,4	2,7	2,5	2,5	2,2	1,9	1,7	2,5	2,4		nicht signifikant	
CCSM3	A2	2,3	2,8	2,8	3,4	4,0	5,8	6,2	6,8	4,9	4,1	2,9	3,5	4,1	3,4	6,3	4,0	2,9		nicht signifikant	
ECHAM5	A2	5,5	5,1	4,6	4,2	2,7	3,7	4,3	5,1	4,3	5,0	4,4	5,4	4,5	3,8	4,4	4,6	5,3		nicht signifikant	
ECHO-G	A2	4,5	3,4	3,4	3,0	2,5	3,1	3,6	4,0	4,1	3,7	3,3	4,2	3,6	3,0	3,6	3,7	4,1		nicht signifikant	
GISS-ER	A2	3,9	3,8	2,7	3,5	2,2	2,9	4,4	4,4	3,0	2,2	3,1	4,8	3,4	2,8	3,9	2,7	3,9		nicht signifikant	
HadCM3	A2	3,7	4,3	3,5	3,5	4,0	4,1	5,3	6,1	6,0	4,6	4,0	4,8	4,5	3,7	5,1	4,9	4,2		nicht signifikant	
HadGEM	A2	4,1	4,1	2,5	3,9	4,0	4,9	5,6	6,7	5,4	4,4	4,1	2,4	4,3	3,5	5,7	4,7	3,6		nicht signifikant	
INM-CM3	A2	3,5	2,5	3,4	2,2	2,2	2,6	4,9	3,6	2,8	3,9	3,7	3,6	3,2	2,6	3,7	3,4	3,2		nicht signifikant	
IPSL-CM4	A2	5,0	4,3	4,4	5,2	4,7	5,1	4,4	4,7	5,0	4,7	4,7	5,4	4,8	4,8	4,7	4,8	4,8		nicht signifikant	
CSIRO-MK3	A2	4,4	3,6	2,6	2,9	1,6	2,6	2,8	2,6	3,6	2,4	2,2	2,8	2,9	2,4	2,7	2,8	3,6		nicht signifikant	
MRI-CGCM	A2	3,7	4,0	2,9	3,6	2,0	1,8	2,4	2,5	3,2	2,7	3,9	3,3	3,0	2,8	2,2	3,3	3,5		nicht signifikant	



Tabelle 13: Relativer, linearer Niederschlagstrend [%] im 21. Jahrhundert sowie die Signifikanz nach Mann-Kendall (farblich abgestuft)

Modell	Szenario	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	Frü	Som	Her	Win	Trend	Trendrichtung	Signifikanz
BCM2	B1	18	15	16	10	-11	-4	-12	-10	1	2	6	-2	2	5	-9	3	11			
CCSM3	B1	9	6	3	4	-7	18	25	25	13	19	2	3	9	0	22	11	6			
ECHAM5	B1	11	-11	11	29	13	-16	-40	-40	-10	7	7	6	-2	17	-32	2	2			
GISS-ER	B1	-5	18	35	-10	9	6	-11	-6	2	23	4	1	5	11	-3	10	1			
HadCM3	B1	10	2	10	-3	-16	-5	-33	-19	-10	9	12	33	-1	-4	-19	4	15			
INM-CM3	B1	8	27	9	8	14	2	1	-9	-13	-12	0	13	5	11	-2	-8	14			
IPSL-CM4	B1	-12	-10	-20	-4	-2	4	12	-11	-4	14	1	9	-2	-9	2	4	-3			
CSIRO-MK3	B1	5	9	17	9	3	15	12	14	4	-3	12	12	9	9	13	4	8			
MRI-CGCM	B1	15	0	9	18	-6	7	1	25	5	4	7	-5	6	6	11	5	2			
BCM2	A1B	19	-6	40	36	2	-14	-18	-31	-3	-5	21	14	5	25	-21	5	11			
CCSM3	A1B	16	11	18	8	-15	-11	14	-21	-16	3	13	5	4	4	-5	3	11			
CGCM3	A1B	25	30	13	39	3	8	2	-2	17	20	13	19	14	17	3	16	25			
ECHAM5	A1B	18	10	3	15	-12	-4	-37	-59	-23	-23	-7	22	-5	2	-31	-16	17			
ECHO-G	A1B	18	24	12	-3	3	-29	-17	-20	-19	4	9	31	6	4	-22	1	25			
HadCM3	A1B	25	22	21	8	1	-7	-57	-69	-6	-9	-1	18	-5	10	-41	-5	21			
HadGEM	A1B	30	18	8	-3	-6	-1	-51	-50	-54	24	35	8	0	0	-32	8	18			
INM-CM3	A1B	31	9	2	13	-3	0	-43	-2	-1	9	8	26	7	4	-11	6	23			
IPSL-CM4	A1B	9	-6	-11	-6	-6	7	-36	-12	-26	12	6	16	-2	-8	-13	0	8			
MRI-CGCM	A1B	22	15	20	16	9	4	-1	-25	-21	-3	4	-9	3	15	-7	-5	9			
CCSM3	A2	-2	-4	-5	-17	-25	-45	-34	-41	-14	1	13	17	-9	-15	-40	3	5			
ECHAM5	A2	28	35	4	-5	10	-30	-16	-42	-30	-9	11	20	1	3	-29	-7	27			
ECHO-G	A2	17	18	16	10	-18	-26	-22	-14	-19	17	9	14	5	4	-20	5	16			
ER	A2	-6	1	23	10	-5	-28	-30	-23	7	33	2	4	-4	6	-28	14	-2			
HadCM3	A2	11	0	29	31	22	-2	-57	-59	-40	-5	18	19	-3	27	-36	-6	9			
HadGEM	A2	30	23	2	-3	-14	-33	-68	-107	-75	4	12	1	-13	-5	-66	-14	18			
INM-CM3	A2	37	-3	6	9	4	-9	-42	-11	-33	-5	14	12	2	6	-18	-6	17			
IPSL-CM4	A2	7	-9	-11	-5	-16	3	1	-18	0	5	-8	-6	-4	-11	-4	-2	-2			
CSIRO-MK3	A2	-4	21	5	15	-1	-2	4	-19	-21	0	-4	9	0	6	-5	-8	7			
MRI-CGCM	A2	11	9	25	-5	27	-1	-1	-19	8	2	11	-13	4	16	-7	7	1			

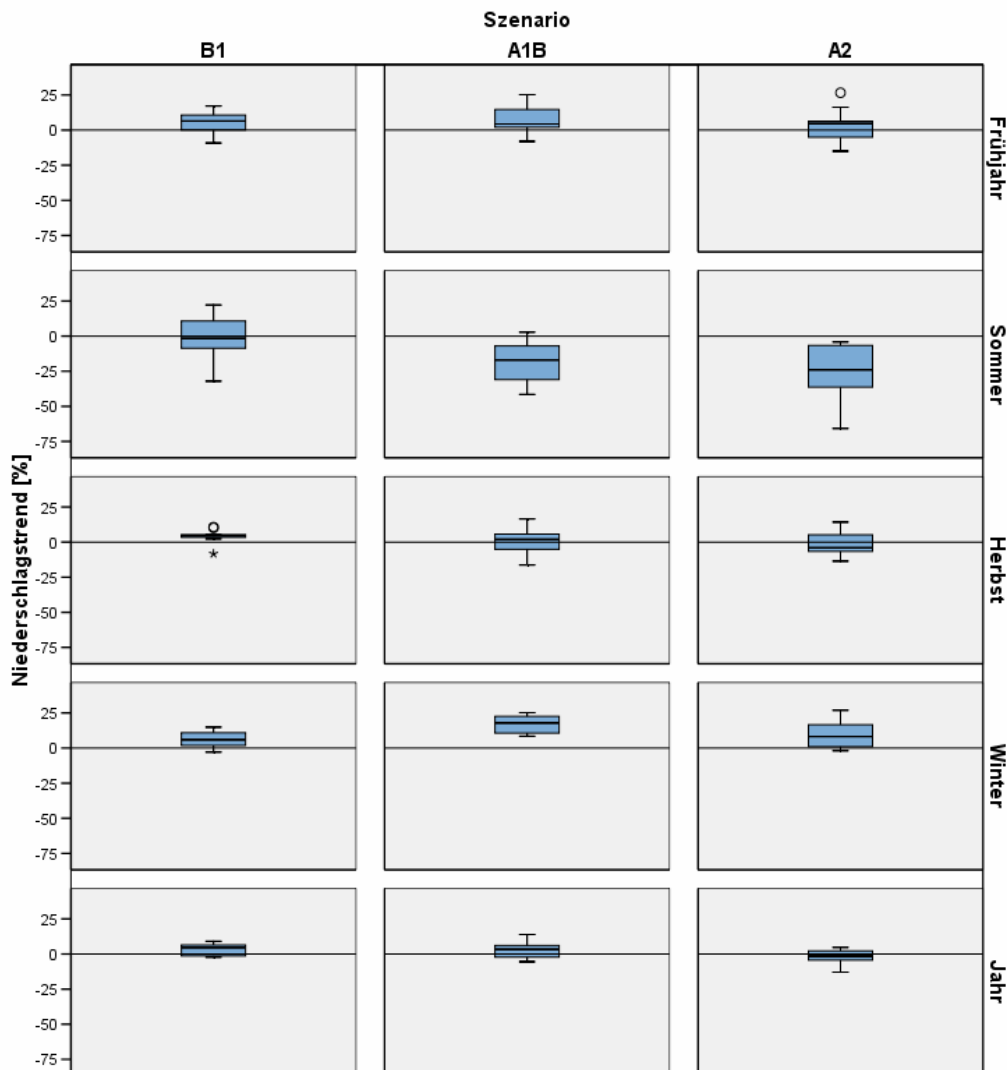
Trend	Trendrichtung	Signifikanz
	positiv	schwach signifikant
	positiv	signifikant
	positiv	hoch signifikant
	negativ	schwach signifikant
	negativ	signifikant
	negativ	hoch signifikant
		nicht signifikant

### Niederschläge im 21. Jahrhundert: projizierte Bandbreiten

Die Bandbreite der potenziellen Niederschlagsentwicklung in den verschiedenen Emissionsszenarios ist vergleichsweise weit gefächert. Insgesamt umfasst die mögliche Spanne des Trends der Jahresniederschlagssummen -13 % (HADGEM, A2) bis +14 % (CGCM3, A1B). In den einzelnen Jahreszeiten und Monaten gestaltet sich die potenzielle Bandbreite an möglichen Entwicklungen noch ausgeprägter. So ergibt sich beispielsweise für die Sommerniederschläge ein projizierter Korridor von -66 % (HADGEM, A2) bis +22 % (CCSM3, B1).

Die verschiedenen Modelle unterscheiden sich hinsichtlich der Richtung der Trendentwicklung insbesondere im Emissionsszenario B1 sowie während der Übergangsjahreszeiten, in denen die Niederschlagsentwicklung insgesamt recht undeutlich zu Tage tritt. So leiten sich aus den Ergebnissen einiger Modelle beispielsweise signifikante Zunahmen der Sommerniederschläge ab (CCSM3: +22 %, CSMK3: +13 %, MRI-CGCM: +11 %), während andere Modelle für dieses Szenario abnehmende Sommerniederschläge projizieren (ECHAM5: -32 %, HADCM3: -19 %).

Weit einheitlicher gestaltet sich die von den Modellen wiedergegebene Niederschlagsentwicklung im Sommer und Winter, insbesondere in den Emissionsszenarios A1B und A2. So ergeben sich hier keine signifikanten Zunahmen der Sommerniederschläge mehr. Im Szenario A1B weist der überwiegende Anteil der Modelle zum Teil hoch signifikant abnehmende Sommerniederschläge aus. Nur ein Modell (CGCM3 mit +3 %) simuliert eine statistisch nicht signifikante Zunahme der Sommerniederschläge.



**Abbildung 10: Bandbreite der Niederschlagstrends aller Modelle**

Für das Szenario A2 ergeben sich bei allen untersuchten Modellen abnehmende Sommerniederschläge. Die Spanne der modellierten Abnahme reicht von -7 % (MRI-CGCM) bis -66 % (HADGEM). Ebenso einheitlich werden die Niederschlagszunahmen im Winter im Szenario A1B von den Modellen wiedergeben. Die Bandbreite der möglichen Zunahmen beträgt +8 % (IPSL-CM4) bis +25 % (CGCM3 und ECHO-G). Auch für das Emissionsszenario A2 ergeben sich aus dem überwiegenden Teil der Modelle Niederschlagszunahmen im Winter (bis zu +27 % [ECHAM5]).

### 3.3 Erkenntnisse und Unsicherheiten

Im Hinblick auf die durch das Umweltbundesamt (2007) ausgewiesene, deutlich erhöhte Vulnerabilität Ostdeutschlands bzw. Sachsens bezüglich der erwarteten Klimaveränderungen besteht ein besonderer Bedarf an der Abschätzung verschiedener möglicher klimatischer Entwicklungen. Ein Vergleich der Ergebnisse mehrerer Modellansätze kann die Grundlage für eine umfassende Beurteilung potenzieller klimatischer Entwicklungen bilden und somit auch für den Klimafolgenbereich bedeutsame Erkenntnisse zur Verfügung stellen.

Dennoch bestehen wesentliche Unsicherheiten hinsichtlich der zukünftigen klimatischen Entwicklung, die im Rahmen einer sorgfältigen Interpretation der Modellergebnisse berücksichtigt werden müssen. Insbesondere für eine, an der Aussagekraft von Klimamodellen orientierte Ableitung von fundierten Schlussfolgerungen kann die Herausstellung von Unsicherheiten einen Beitrag leisten.

Auf wesentliche Erkenntnisse, aber auch damit in Verbindung stehende Unsicherheiten wird in den folgenden Abschnitten näher eingegangen.

#### Jahreszeitliche und regionale Differenzierung

Auf den vorherigen Seiten wurden die durch die Modelle projizierten Trends der Größen Temperatur und Niederschlag umschrieben. Betrachtet man nun noch die mögliche kombinierte Wirkung dieser Entwicklungen, so wird deutlich, dass abnehmende Sommerniederschläge im Zusammenwirken mit einer Temperaturzunahme und der damit einhergehenden verstärkten Verdunstung insgesamt zu angespannten Situationen im regionalen Wasserhaushaltsregime führen können. Insbesondere der Monat August weist hierbei ein deutliches Trendverhalten auf. Im Mittel über alle Modelle und Emissionsszenarios ergibt sich die deutlichste Temperaturzunahme in diesem Monat (+3,5 K) sowie gleichzeitig die drastischste Trendentwicklung zu rückläufigen Niederschlagssummen (-23 %). Aus den Ergebnissen zeigt sich weiterhin, dass das Ausmaß dieser kombinierten Wirkung von Temperatur und Niederschlag mit fortschreitender Treibhausgas-Konzentration bzw. mit dem jeweiligen Szenario ansteigt. Eine Erhöhung der Temperatur bei steigenden Emissionen erscheint aufgrund des Treibhauseffektes schnell nachvollziehbar. Interessanterweise verstärken sich auch die Trends zu abnehmenden Niederschlägen im Sommer mit steigendem Treibhausgasniveau. Die Neigung des Klimas zu Trockenheit und Hitze bzw. Dürre im Sommer ist demnach im Szenario A2 (Ensemblemittel: Temperaturtrend +4,2 K, Niederschlagstrend -25 %) deutlich größer als bei den anderen Emissionsszenarios.

Aufgrund der Vielfalt an geografischen Ausgangsbedingungen ist es nicht zwangsläufig zu erwarten, dass sich diese Grundtendenz im gesamten Untersuchungsgebiet gleichermaßen bemerkbar macht. Dies wird bei der diagnostischen Betrachtung der klimatischen Verhältnisse im 20. Jahrhundert sehr deutlich. Während im Osten Deutschlands rückläufige Niederschlagstrends im Sommer zu verzeichnen sind (im Zeitraum 1901 - 2006 in Sachsen -15,5 %), stellt sich das Trendverhalten in anderen Regionen Deutschlands weniger dramatisch dar (DWD 2007). Ebenso vielgestaltig

können sich die Temperaturzunahmen in den einzelnen Regionen verhalten. Nach DWD (2007) beträgt der Zunahmetrend der Sommertemperatur 1901 - 2006 in Sachsen 0,95 K, was in etwa dem Deutschlandmittel (+1,02 K) entspricht. Am stärksten vollzog sich die Veränderung im Saarland (+1,7 K), während in Mecklenburg-Vorpommern mit +0,24 nur unwesentliche Veränderungen festzustellen waren. Solch regionale Ausprägungen bzw. Besonderheiten der klimatischen Entwicklung müssen eingehender unter Zuhilfenahme von regionalen Klimaprojektionen beurteilt werden.

Auch für die Wintermonate ergibt sich für das Untersuchungsgebiet ein deutliches Änderungssignal im 21. Jahrhundert. Die sich abzeichnenden zunehmenden Niederschlagssummen bei gleichzeitig höheren Temperaturen und die unter Umständen damit verbundenen Veränderungen der Anteile verschiedener Niederschlagsarten (Schnee, Regen) gehen aus den erhobenen Daten deutlich hervor (siehe auch ROECKNER & JACOB 2008). Aber auch hier verläuft die Entwicklung stets regional differenziert. Beispielsweise diagnostizierte der DWD (2007) für Deutschland im Zeitraum 1901 - 2006 einen Zunahmetrend der Winterniederschläge um 19,5 %, während für Sachsen im gleichen Zeitraum lediglich 5,8 % Zunahmen zu verzeichnen waren. Es ist anzunehmen, dass sich auch die zukünftige klimatische Entwicklung räumlich stark differenziert vollzieht.

Für die Übergangsjahreszeiten sowie in den entsprechenden Einzelmonaten fallen die Klimaänderungssignale der Modelle uneinheitlicher aus. Während die Temperaturzunahme auch hier eindeutig zu Tage tritt, ergibt sich für die Niederschläge ein indifferentes Bild. Die verschiedenen Modelle liefern in den Emissionsszenarios häufig schwache, teilweise gegenläufige Tendenzen, sodass hier von unsicheren Ergebnissen gesprochen werden kann. Dies ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn aus den Modellergebnissen für diese Zeiträume weitere Schlussfolgerungen oder Strategien hervorgehen sollen. Es soll an dieser Stelle betont werden, dass aus der Unschärfe der Klimaänderungssignale nicht auf für Klimafolgenbetrachtungen vernachlässigbare klimatische Verhältnisse geschlossen werden kann.

Umgekehrt besteht besonders im Falle von solch unsicheren Parametern wie z. B. dem Herbstniederschlag eine erhöhte Gefahr der Fehlinterpretation der Modellergebnisse, da diese je nach gewähltem Modell zufällig in die eine oder andere klimatische Richtung weisen können. Aus diesem Grund kann es hilfreich sein, die Schärfe eines Parameters bzw. einer Modellaussage anhand der gesamten Bandbreite bzw. des gesamten Unsicherheitsbereichs mehrerer Modelle einzuordnen, um daran anschließend die für eine angemessen sichere Aussage erforderliche, zu berücksichtigende Bandbreite einzuschätzen zu können.

Zudem trifft auch hier gleichermaßen der Aspekt einer notwendigen, regional differenzierten Betrachtung zu. Auf Grundlage globaler Klimamodelle ist es nicht möglich, regionalklimatische Besonderheiten mit zu berücksichtigen. Im Falle des in dieser Untersuchung betrachteten Gebietes wird ein Mittelwert berechnet und analysiert, der die tatsächliche geografische Vielfalt des Gebietes, z. B. die Gliederung in Höhenstufen, damit verbundene Luv- und Lee-Effekte sowie ggf. vorhandene Kontinentalitätsgradienten nicht erfassen kann. Auch hier können regionale Klimamodellprojektio-

nen für die Einschätzung der grundsätzlichen, durch globale Klimamodelle wiedergegebenen klimatischen, jedoch regional differenziert ausgeprägten Entwicklungen herangezogen werden.

#### Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen

Das Ausmaß der zukünftigen Treibhausgas-Emissionen ist maßgebend für die klimatische Entwicklung im 21. Jahrhundert. Aus Untersuchungen von RAMANATHAN & FENG (2008) ergibt sich bei gleichbleibendem Treibhausgasniveau (Stand von 2005) eine potenzielle mittlere globale Erwärmung um 2,4 °C (1,4 – 4,3 °C) gegenüber dem pre-industriellen Niveau. Aus der Unvorhersehbarkeit der weiteren Emissionen ergibt sich eine grundlegende Unsicherheit. Auf die potenzielle Spannweite der Trendentwicklung von Temperatur und Niederschlag in den verschiedenen Szenarios wurde bereits näher eingegangen.

Führt man sich zusätzlich vor Augen, dass neben den verwendeten Szenarios eine Vielzahl weiterer Emissionsszenarios gleichberechtigt zugrunde gelegt werden kann, so ergibt sich die Schlussfolgerung, dass die simulierte zukünftige klimatische Entwicklung nicht als konkrete Prognose oder Vorhersage verstanden werden kann, sondern immer als ein beispielhafter und auf definierten Grundannahmen basierender, klimatischer Verlauf betrachtet werden sollte. Verschiedene, möglichst vielfältige Ausprägungen dieser unterschiedlichen Entwicklungen können dazu Verwendung finden, einen Rahmen für die Erarbeitung von Handlungsoptionen aufzuspannen.

#### Rückkopplungen

Auf den Themenkomplex der Rückkopplungen soll hier nur kurz verwiesen werden. Unerwartete bzw. unvorhersehbare geophysikalische, biologische und geologische Abläufe und Phänomene können maßgeblichen Einfluss auf das Klimageschehen ausüben. Klimamodelle sind nicht zuletzt aufgrund der naturgemäß limitierten Datenverfügbarkeit und Erfahrungswerte über Rückkopplungsmechanismen nur eingeschränkt in der Lage, diese Prozesse auch mit zu berücksichtigen.

Rezent beobachtete Prozesse wie das unerwartet schnelle Abschmelzen der Gebirgsgletscher und der großen Eisschilde der Antarktis bzw. Grönlands (UNEP/WGMS 2008) und die damit einhergehende Beschleunigung des Meeresspiegelanstiegs sowie auch der Rückgang an stark rückstrahlender Oberfläche (sinkender Albedo), ist in den derzeitig verfügbaren Klimamodell-Ergebnissen nicht berücksichtigt. Weitere Prozesse wie die Freisetzung von Methan durch das verstärkte Auftauen von Permafrostböden in borealen Wäldern sowie durch umgewandeltes Methaneis auf dem Meeresboden stellen weitere, schwer abschätzbare positive Rückkopplungen dar. Auch diese Unsicherheiten müssen bei der Interpretation von Klimamodellergebnissen mit einbezogen werden bzw. verdeutlichen den Szenariocharakter von Klimamodellergebnissen im Sinne potenziell möglicher Entwicklungen.

#### Extremereignisse

Für Klimafolge-Betrachtungen hat die Wirkung von Extremereignissen eine wesentliche Bedeutung, da diese, im Vergleich zu langfristigen Trends, abrupte und grundlegende Veränderungen hervorru-

fen können und somit eine Anpassung erschweren. Auf die Häufigkeit und Intensität von Extremereignissen wie Hitze- und Dürreperioden oder Starkniederschlägen, wird im Rahmen diese Modellvergleichs nicht näher eingegangen. Insbesondere die Seltenheit des Auftretens dieser Ereignisse erschwert eine systematische Analyse. Für den Freistaat Sachsen findet sich eine umfangreiche diagnostische Analyse in HÄNSEL (2008). Im Hinblick auf die zukünftige Entwicklung der Häufigkeit und Intensität von Extremen besteht weiterer Forschungsbedarf. Es deutet sich jedoch bereits an, dass die bisherigen Modelle die Wirkung der Temperaturerhöhung auf die Entstehung von Starkniederschlägen weitgehend unterschätzen (LENDERINK & MEIJGAARD 2008).

#### Methodische Aspekte: zeitliche und räumliche Modellauflösung

Prinzipiell stellt sich die Frage, inwiefern sich aus den Ergebnissen der vergleichsweise grob aufgelösten und nicht auf regionale Aspekte ausgerichteten globalen Klimamodelle Aussagen für konkrete Regionen ableiten lassen. Diese Frage kann hier nicht umfassend beantwortet werden, sodass die hier vorliegenden Ergebnisse im Sinne einer experimentellen Betrachtung von Klimamodell-Ergebnissen verstanden werden sollten.

Die den Modellen innewohnende Modellphysik sowie die zugrunde gelegten Eingangsparameter und die damit verbundenen Randbedingungen (wie z. B. Annahmen über die Sonnenaktivität, Erdbahnparameter, Meerestemperaturen, Aerosole in der Atmosphäre oder Vulkanismus) sind nicht bekannt. Dies hat zur Folge, dass auch der Vergleich der Modellergebnisse diese nicht berücksichtigt. Insbesondere die Gegenüberstellung der pre-industriellen Kontroll-Klimasimulationen unterschiedlicher Länge und der damit verbundenen variierenden Eingangsparameter bedarf sorgfältiger Interpretation. So können aufgrund der gegebenenfalls unterschiedlichen Voraussetzungen der Modellsimulationen keine Aussagen darüber abgeleitet werden, welches Kontroll-Klima für das Untersuchungsgebiet besonders plausibel oder repräsentativ ist, da das jeweilige Referenz-Klima (Soll-Zustand) nicht bekannt ist. Insofern sind die getroffenen Aussagen nicht als Bewertung der Modell-Ergebnisse, sondern als allgemeine, einordnende Aussagen des Modell-Outputs zu verstehen.

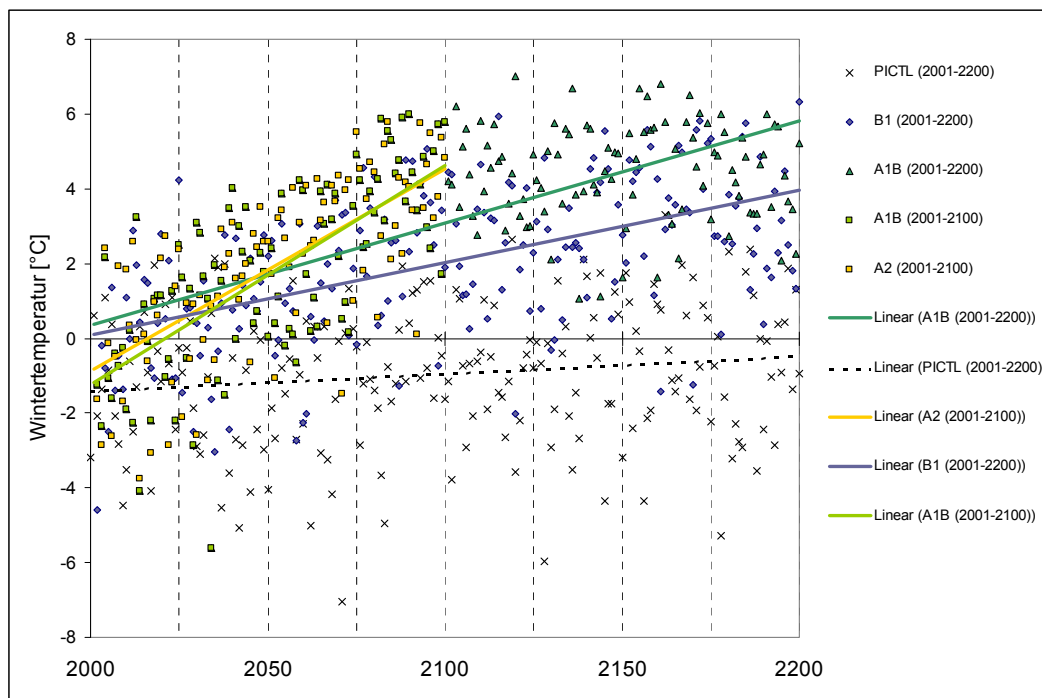
Ein weiterer wesentlicher Aspekt bei der Interpretation der Ergebnisse betrifft die Auswahl des Untersuchungsgebietes. Hierbei ist zu beachten, dass alle im geografischen Untersuchungsgebiet befindlichen Gitterpunkte der Modelle für die Berechnung eines Mittelwertes herangezogen wurden, die Modelle jedoch unterschiedliche Modellauflösungen und damit Verteilungen der Gitterpunkte im Untersuchungsgebiet aufweisen. Dies hat zur Folge, dass es in Abhängigkeit der Modelleigenschaften zu geringfügigen Verschiebungen des klimatischen Untersuchungsgebietes kommen kann (vgl. AHLFELD 2006), sodass auch die Modellergebnisse eine entsprechende klimatische Tönung aufweisen können. Auch aufgrund dieses Umstandes ist der direkte Vergleich der Kontroll-Klimate streng genommen nicht möglich bzw. entsprechend verzerrt.

Die angesprochenen Punkte machen deutlich, dass der vorliegende Modellvergleich keineswegs einfach zu interpretieren ist und sich die zum Teil erhebliche Bandbreite der verschiedenen Kon-

troll-Klimate auch vor dem Hintergrund der genannten zeitlichen und räumlichen Voraussetzungen bei der Ergebnisauswertung und Darstellung erklären lassen kann.

#### Methodische Aspekte: Klimaänderungssignale

An dieser Stelle soll kurz näher auf Schwierigkeiten bei der Interpretation von Klimaänderungssignalen, hierbei vor allem hinsichtlich der linearen Trendanalyse eingegangen werden, da dies für die sorgfältige Interpretation von Klimamodell-Ergebnissen von Bedeutung sein kann.



**Abbildung 11: Entwicklung der Wintertemperatur bis 2100 bzw. 2200 in den verschiedenen Emissionsszenarios, Simulation mit dem Modell ECHAM5**

In Abbildung 11 sind die Ergebnisse des Modells ECHAM5 für die Wintertemperatur in den verschiedenen Emissionsszenarios dargestellt. Betrachtet man nun die Trendentwicklung des Parameters im 21. Jahrhundert, so ergibt sich ein unerwartetes Bild: Der Erwärmungstrend im Emissionsszenario A1B übersteigt die Erwärmung im treibhausgasintensiveren Szenario A2. Dies erscheint auf den ersten Blick nicht nachvollziehbar, berücksichtigt man jedoch die weitere Entwicklung bis zum Jahr 2200, so lässt sich feststellen, dass der 200-jährige Zunahmetrend im Szenario A1B eine schwächere Zunahme aufweist als in den ersten 100 Jahren.

Vor dem Hintergrund der im Emissionsszenario A2 angesetzten Treibhausgasemissionen ist es zu erwarten, dass die Temperaturzunahme in diesem Szenario bis zum Jahr 2200 weit über der vom Szenario A1B liegen wird.



Die methodische Vorgehensweise der linearen Trendanalyse als Maß für die Klimaänderung stößt hierbei an ihre Grenzen bzw. bezieht sich jeweils nur auf den zugrunde gelegten Zeitraum und sollte dementsprechend interpretiert werden.

Aus der Abbildung geht als ein weiterer, wesentlicher Aspekt hervor, dass die natürliche klimatische Entwicklung nicht mit dem Ende eines betrachteten Zeitraumes (oft das Jahr 2100) und somit einem bestimmten klimatischen Zustand endet, sondern ihren darüber hinausgehenden weiteren Verlauf nimmt. Zudem besteht die Möglichkeit, dass die klimatische Entwicklung beispielsweise in verschiedenen Emissionsszenarios ab einem bestimmten Zeitpunkt einen scherenartigen Verlauf nehmen kann. In diesem Zusammenhang wird weiterhin deutlich, dass der lineare Ansatz nicht zwangsläufig der am besten an die klimatische Entwicklung angepasste ist, da diese keinesfalls linear verlaufen muss. Dennoch weist diese Methode den wesentlichen Vorteil der einheitlich analysierten und somit untereinander vergleichbaren Ergebnisse auf.

Zusammenfassend führt das Beispiel aus Abbildung 11 vor Augen, dass bei der Interpretation von Klimamodell-Ergebnissen stets das gewählte Maß für die Beschreibung der Klimaveränderung berücksichtigt werden sollte. Verschiedene Methoden, Klimasignale zu umschreiben wie z. B. Mittelwertdifferenzen und -quotienten, absolute sowie verschiedene relative Trends, sind stets auf konkrete Annahmen bzw. Zielstellungen ausgerichtet und können nicht unmittelbar verglichen werden.

Die Berücksichtigung dieser und der in den vorangegangenen Abschnitten dargelegten Zusammenhänge können als Hinweise für eine objektive und sorgfältige Interpretation von Klimamodell-Ergebnissen verstanden werden.

#### **4 Zusammenfassung**

Im Zuge des 4. Sachstandsberichts des *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2007) wurden die Ergebnisse einer Vielzahl globaler Klimamodellsimulationen veröffentlicht und durch das *World Data Center for Climate* (WDCC) für Auswertungen zur Verfügung gestellt.

Im Hinblick auf die Bedeutung globaler Klimamodelle als Antriebskraft für regionale Projektionen wurden im Rahmen dieses Projektes Ergebnisse von zwölf globalen Klimamodellen für die Region Mitteldeutschlands aufbereitet und analysiert. Auf diesem Wege konnten wesentliche klimatische Charakteristika der Globalmodelle abgebildet und verglichen werden. Insbesondere die vergleichende Betrachtung in verschiedenen Treibhausgas-Emissionsszenarios (A1B, A2 und B1) ermöglicht es, Rückschlüsse auf die Bandbreite der potenziellen klimatischen Entwicklung im 21. Jahrhundert zu ziehen. Insbesondere bei Grundlage der Analyse des Trendverhaltens von Temperatur und Niederschlag konnten einheitliche Grundtendenzen identifiziert werden sowie wesentliche Unterschiede zwischen den durch die Modelle projizierten klimatischen Entwicklungen herausgestellt werden. In diesem Zusammenhang wurden bedeutende, sich aus den Projektionen ergebende Unsicherheiten betrachtet und diskutiert.

#### Zusammenfassende Schlussfolgerungen:

Die verschiedenen, durch die Modelle simulierten Kontroll-Klimate weisen hinsichtlich der Temperatur einen typischen Jahresgang auf. Es bestehen jedoch Unterschiede zwischen den Modell-Läufen hinsichtlich des Temperaturniveaus, des Auftretens von minimalen und maximalen Monatsmitteltemperaturen im Jahresverlauf sowie hinsichtlich der Amplituden der Jahresgänge. Besonders deutlich treten die Unterschiede zwischen den simulierten Temperaturen in den Wintermonaten zu Tage, während der restliche Jahresverlauf ein höheres Maß an Übereinstimmung aufweist.

Hinsichtlich des Niederschlagsregimes lässt sich verallgemeinernd feststellen, dass sich sowohl die Jahresgänge als auch das mittlere Niederschlagsniveau der Modelle vielfältiger darstellt, als dies bei der Temperatur der Fall ist. So weisen einige Modelle einen für die Region typischen Jahresgang der Niederschläge auf, andere simulieren dagegen ein für das Untersuchungsgebiet ungewöhnlich maritim geprägtes Klima.

Die Spannweite der simulierten Niederschlagssummen ist in den Sommermonaten am geringsten bzw. ergeben sich aus den Simulationen in dieser Jahreszeit die größten Übereinstimmungen.

Im Laufe des 21. Jahrhunderts (2001 - 2100 bzw. 2000 - 2099) ergeben sich aus den unterschiedlichen Simulationen für alle Jahreszeiten Temperaturzunahmen. In Abhängigkeit des Emissionsszenarios und des jeweiligen Modells bewegen sich die Zunahmen der Jahresmitteltemperaturen zwischen 0,5 K (CCSM3, B1) und 4,8 K (IPSL-CM4, A2). Während die Zunahmen im Frühjahr vergleichsweise moderat ausfallen, unterliegen die (Spät)sommer- und Wintermonate einem besonders starken Erwärmungstrend. Dabei verlagert sich der Schwerpunkt der Erwärmung im Jahresverlauf mit steigender Treibhausgas-Konzentration vom Winter in den Sommer.

Hinsichtlich der Niederschlagsentwicklung ergeben sich insbesondere in den Sommermonaten signifikante Abnahmetrends. Besonders betroffen sind hierbei die Monate Juli und August. Deutlich zunehmende Winterniederschläge führen zu nur vergleichsweise unauffälligen Veränderungen der Jahresniederschlagssummen (Niederschlagsumverteilung von den Sommermonaten in den Winter).

Das Ausmaß der sommerlichen Abnahmen verstärkt sich mit zunehmendem Treibhausgasniveau. So ergibt sich im Emissionsszenario A2 bei allen untersuchten Modellen ein Trend zu abnehmenden Sommerniederschlägen, während dieses Signal im emissionsärmeren Szenario B1 nicht so deutlich zu Tage tritt.

Insbesondere die kombinierte Wirkung von erhöhten Temperaturen und deutlich abnehmenden Niederschlägen sowie der damit einhergehende erhöhte Verdunstungsanspruch während der Sommermonate birgt die Gefahr angespannter Wasserhaushaltssituationen.

Die Ursachen für die teilweise erheblichen Bandbreiten der verschiedenen simulierten Kontroll-Klimate bzw. klimatischen Entwicklungen im 21. Jahrhundert können hier nicht umfassend beurteilt werden. Neben der Vielfalt an Modellierungsansätzen können die unterschiedlichen, zugrunde gelegten Randbedingungen der Modell-Läufe sowie auch verschiedene, in den vorangegangenen Abschnitten diskutierte methodische Aspekte dieser Untersuchung als erschwerende Faktoren für einen Vergleich der Modellergebnisse genannt werden. Diese in diesem Rahmen nicht abschätzba- ren Aspekte bzw. Unschärfen müssen bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden.

Hinzu kommen durch Globalmodelle nicht abschätzbare, regionalspezifische Entwicklungen der klimatischen Verhältnisse. Solch regionalklimatische Gegebenheiten sowie auch deren Widerspie- gelung in Klimamodellergebnissen können nur auf der Grundlage einer umfassenden, auf die kon- krete Region zugeschnittenen Klimadiagnose beurteilt werden. Die erhöhte Aussagekraft bzw. Plausibilität von diagnostisch und prognostisch übereinstimmenden klimatischen Entwicklungen, wie beispielsweise die bereits für das 20. Jahrhundert festgestellten sowie für das 21. Jahrhundert projizierten markanten Abnahmen der Sommerniederschläge in Sachsen bzw. Ostdeutschland, verdeutlichen den Bedarf an weiterführenden systematischen Datenerhebungen und diagnosti- schen Untersuchungen (für den Freistaat Sachsen siehe hierzu auch IHM 2008) sowie die Notwen- digkeit der Entwicklung und Verwendung regionaler Klimaprojektionen.

Allerdings ist es auch auf der Grundlage von Regionalisierungsansätzen nicht möglich, die durch verschiedene globale Klimamodelle nur unscharf projizierten klimatischen Grundtendenzen wie beispielsweise das indifferente Niederschlagsverhalten in den Übergangsjahreszeiten eindeutiger zu beschreiben. Neben der Weiterentwicklung globaler Klimamodelle ist es bei solch unsicheren klimatischen Entwicklungen empfehlenswert, die Ergebnisse mehrerer Klimamodelle mit in die Betrachtungen einzubeziehen sowie die Klimamodell-Ergebnisse stets vor dem Hintergrund der damit verbundenen Unsicherheiten zu interpretieren.

## 5 Literaturverzeichnis

- AHLFELD, D. P. (2006): Comparison of Climate Model Precipitation Forecasts with North American Observations. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Massa- chusetts.
- CHRISTENSEN, J. H. (2005): PRUDENCE - Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining EuropeaN Climate change risks and Effects. *Final report*. <http://prudence.dmi.dk>
- DÉQUÉ, M, (2004): Uncertainties in PRUDENCE simulations: Global high resolution models. pub- lished on <http://prudence.dmi.dk>.
- DWD (2007): Klimawandel im Detail - Zahlen und Fakten zum Klima in Deutschland. Zahlen und Fakten zur DWD-Pressekonferenz am 24.4.2007 in Berlin. Deutscher Wetterdienst.
- ENKE, W. (2001): Regionalisierung von Klimamodell-Ergebnissen mittels des statistischen Verfah- rens der Wetterlagenklassifikation und nachgeordneter multipler Regressionsanalyse für Sachsen. *Abschlußbericht*, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie. Meteo- Research.

- ENKE, W., KÜCHLER, W., Sommer, W. (2001): Klimaprognose für Sachsen – Regionalisierung von Klimamodell-Ergebnissen mittels des statistischen Verfahrens der Wetterlagen-Klassifikation und nachgeordneter multipler Regressionsanalyse für Sachsen. *Zusammenfassender Bericht*, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie. Meteo-Research.
- ENKE, W., KÜCHLER, W., Sommer, W. (2003): Anwendung eines Verfahrens zur wetterlagenkonsistenten Projektion von Zeitreihen und deren Extreme mit Hilfe globaler Klimasimulation. *Zusammenfassender Bericht*, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie. Meteo-Research.
- ENKE, W., DEUTSCHLÄNDER, T., SCHNEIDER, F., KÜCHLER, W. (2005A): Results of five regional climate studies applying a weather pattern based downscaling method to ECHAM4 climate simulations. *Meteorologische Zeitschrift* 14(2): 247–257.
- ENKE, W., SCHNEIDER, F., DEUTSCHLÄNDER, T. (2005B): A novel scheme to derive optimized circulation pattern classifications for downscaling and forecast purposes. *Theoretical and Applied Climatology* 82: 51–65.
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS Research INSTITUTE, INC. (2005): ArcMap™ 9.1.
- HÄNSEL, S. (2008): Changes in Saxon Precipitation Characteristics - Trends of Extreme Precipitation and Drought. Technische Universität Bergakademie Freiberg. *Dissertation*.
- IHM (2008): Sachsen im Klimawandel – eine Analyse. Technische Universität Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie, Professur Meteorologie. Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft.
- IPCC (2000): Summary for Policymakers. In: Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, G., de Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Grübler, A. et al., (2000): Special Report on Emissions Scenarios, Working Group III, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom 595 pp.
- IPCC (2001): Climate Change 2001: Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, [Watson, R.T. and the Core Writing Team (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 398 pp.
- IPCC (2007): Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen. Beitrag der Arbeitsgruppe I zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC), [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor und H.L. Miller, (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom und New York, NY, USA. Deutsche Übersetzung durch ProClim-, österreichisches Umweltbundesamt, deutsche IPCC-Koordinationsstelle, Bern/Wien/Berlin, 2007.
- JACOB, D., GÖTTEL, H., KOTLARSKI, S., LORENZ, P., SIECK, K. (2008): Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland – Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland. *Abschlussbericht*. Umweltbundesamt.
- KENDALL, M. G. (1970): Rank correlation methods. Griffin, London, 4th ed.
- LENDERINK, G., MEIJGAARD, E. (2008): Increase in hourly precipitation extremes beyond expectations from temperature changes. *Nature Geoscience*. 1: 511-514.

- LFUG (2005): Klimawandel in Sachsen. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie.
- MANN, H. B. (1945): Nonparametric test against trends. *Econometrica* 13, S. 245-259.
- MICROSOFT CORPORATION (1999): Microsoft Visual Basic 6.0.
- MICROSOFT CORPORATION (2003): Microsoft Office Professional Edition 2003.
- RAMANATHAN, V., FENG, Y. (2008): On avoiding dangerous anthropogenic interference with the climate system: Formidable challenges ahead. *PNAS* 105(38): 14245-14250.  
<http://www.pnas.org/content/105/38/14245.abstract>
- RAPP, J. (2000): Konzeption, Problematik und Ergebnisse klimatologischer Trendanalysen für Europa und Deutschland. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes* 212: 138-143. Selbstverlag des DWD. Offenbach.
- ROECKNER, E., JACOB, D. (2008): Der Klimawandel ist vol im Gange: Ein Überblick. In: Lozán, J. L., Graßl, H., Jendritzky, G., Karbe, L., Reise, K., Maier, A. W. (2008): Warnsignal Klima: Gesundheitsrisiken - Gefahren für Menschen, Tiere und Pflanzen – Wissenschaftliche Fakten. *Wissenschaftliche Auswertungen*, Hamburg.
- SPSS INC. (2005): SPSS 14.0.1.
- UBA (2005): Klimawandel in Deutschland - Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. Umweltbundesamt.
- UNEP / WGMS (2008): Global Glacier Changes: facts and figures. United Nations Environment Programme, World Glacier Monitoring Service, September 2008.  
<http://www.grid.unep.ch/glaciers/pdfs/glaciers.pdf>
- WILLETT, K. M., GILLET, P. N., JONES, P. D., THORNE, P. W. (2007): Attribution of observed surface humidity changes to human influence. *Nature* 449, 710-712.

## Impressum

**Herausgeber:** Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie  
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden  
Internet: [www.smul.sachsen.de/lfulg](http://www.smul.sachsen.de/lfulg)

**Autor:** Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie  
Abteilung Klima, Luft, Lärm, Strahlen  
Nils Feske  
Telefon: 0351 2612-5505  
Telefax: 0351 2612-5599  
E-Mail: [nils.feske@smul.sachsen.de](mailto:nils.feske@smul.sachsen.de)

**Redaktion:** siehe Autor

**Endredaktion:** Öffentlichkeitsarbeit  
Präsidialabteilung

**ISSN:** 1867-2868

**Redaktionsschluss:** August 2009

### **Für alle angegebenen E-Mail-Adressen gilt:**

Kein Zugang für elektronisch signierte sowie für verschlüsselte elektronische Dokumente

### **Verteilerhinweis**

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlhelfern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.