

CSC Report 2

**Ergebnisse regionaler Szenarienläufe für Deutschland mit der statistischen Methode WETTREG auf der Basis der SRES Szenarios A2 und B1 modelliert mit ECHAM5/MPI-OM**



Titelbild: © Fotolia

## Vorwort

Zur Erforschung der möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf den Menschen und seine Umwelt wird eine Modellkette angewandt, in der die Regionalisierung globaler Klimaprojektionen ein wichtiges Glied darstellt. Durch die höhere räumliche und zeitliche Auflösung dieser Klimasimulationen können zahlreiche regionale Prozesse besser berücksichtigt werden. Regionalisierte Klimasimulationen tragen somit wesentlich zum besseren Verständnis des Klimawandels bei.

Grundsätzlich existieren zwei unterschiedliche Methoden zur Regionalisierung globaler Klimainformationen: dynamische und statistische. Der Einsatz statistischer Verfahren zur Regionalisierung von Klimaprojektionen folgt einer grundlegend anderen Philosophie als die der dynamischen Verfahren mittels numerisch-physikalischer Modelle. Bei Ersterem werden Beobachtungsdaten mittels statistischer Verfahren mit den Klimaänderungssignalen aus den globalen Klimamodellen verknüpft. Das dynamische Regionalisierungsverfahren dagegen folgt den Methoden der Wettervorhersage, welche auf den physikalischen Grundgleichungen der Atmosphäre beruht.

Für die umfassende Abschätzung der zukünftigen Klimaentwicklung muss neben dem eigentlichen Klimaänderungssignal aber immer die Bandbreite möglicher Klimaentwicklungen mit berücksichtigt werden. Es ist daher ein Ensemble aus Simulationen mit vielen unterschiedlichen Methoden notwendig. Auf Initiative der Bundesländer und des Umweltbundesamtes wurde deshalb die Durchführung zusätzlicher regionaler Klimasimulationen, basierend auf statistische Verfahren, vom Climate Service Center in Auftrag gegeben. Auf dem Weg zur Erforschung der Auswirkung des Klimawandels in Deutschland stellen die in diesem Bericht präsentierten Ergebnisse der Simulationen von WETTREG, einem der etabliertesten statistischen Klima-Regionalisierungs-Modelle, eine Bereicherung des bisher vorhandenen Ensembles regionaler Klimasimulationen dar.

Dieser Bericht, sowie die in diesem Auftrag mit WETTREG erstellten Daten, sind über den Anfrageservice auf der Webseite des Climate Service Centers über <http://www.climate-service-center.de> erhältlich.



Ergebnisse regionaler Szenarienläufe  
für Deutschland  
mit der statistischen Methode WETTREG  
auf der Basis der SRES Szenarios A2 und B1  
modelliert mit ECHAM5/MPI-OM

**Bericht**

Frank Kreienkamp, Arne Spekat, Wolfgang Enke

11. Juli 2011



Eine Einrichtung des Helmholtz-Zentrums Geesthacht



Finanziert durch:

**Climate Service Center Hamburg**

Bundesstraße 45a  
20146 Hamburg

Auftr.-Nr. 35023333 des Helmholtz-Zentrums Geesthacht

Ausführende:

Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH  
David - Gilly - Strasse 1  
14469 Potsdam

Verwendete WETTREG-Version: WETTREG\_T\_2010\_V.3

### **Disclaimer**

Die in diesem Bericht gezeigten Darstellungen beruhen auf Basisdaten, die von Dritten erzeugt wurden (Reanalysen, globale Klimamodell-Szenariorechnungen und Beobachtungsdaten). Die Firma Climate and Environment Consulting Potsdam GmbH übernimmt keine Verantwortung oder Haftung für deren Qualitätskontrolle und geht bei der Anwendung der Regionalisierungsmethode und der Interpretation der Resultate von einer höchstmöglichen Qualität der Basisdaten aus.

Die mit den globalen Klimamodellen errechneten Treibhausgas-Szenarios basieren ihrerseits auf Szenarios der Entwicklung der Weltbevölkerung, der Wirtschaft und anderer Globalisierungsfaktoren, für deren Richtigkeit oder Eintreffen keine Garantie übernommen werden kann. Diese Annahmen entsprechen aber dem aktuellen Stand der Wissenschaft, so dass eine bestmögliche Eintreffens-Wahrscheinlichkeit angenommen werden kann.

Somit gilt auch für die ausgelieferten Daten, dass deren Aussagekraft in Relation mit der Qualität der Basisdaten zu sehen ist. Die Resultate der statistischen Regionalisierung sind nach bestem Wissen und Gewissen entsprechend dem aktuellen Stand der Wissenschaft gewonnen worden.

Dieser Bericht sollte so zitiert werden:

F. KREIENKAMP, A. SPEKAT und W. ENKE, 2011: Ergebnisse regionaler Szenarienzläufe für Deutschland mit der statistischen Methode WETTREG auf der Basis der SRES Szenarios A2 und B1 modelliert mit ECHAM5/MPI-OM. Bericht. Climate and Environment Consulting Potsdam GmbH, finanziert vom Climate Service Center, Hamburg.



## Kurzfassung

Im Jahr 2006 wurde eine Deutschland-weite Studie, basierend auf der damaligen Version von WETTREG vorgestellt und 2007 als UBA-Bericht publiziert. Sie stellt eine statistische Regionalisierung von Klimamodell-Ergebnissen dar. Im Zuge des WETTREG-Verfahrens wird dazu die Fähigkeit der gekoppelten globalen Klimamodelle genutzt, ein sich änderndes Klima in Form von Änderungen der Häufigkeit und Ausprägung großräumiger atmosphärischer Muster zu reflektieren. Die Häufigkeitsänderungen werden dabei eingesetzt, um Randbedingungen für einen stochastischen Wettergenerator zu schaffen. Mit diesem werden Segmente von Klimazeitreihen an Messstationen abhängig von den Randbedingungen neu geordnet. Resultat ist eine, entsprechend der Dichte der verfügbaren Station, hoch aufgelöste Auswertung des Globalmodells. Ein dynamischer Aspekt des Klimawandels wird im Rahmen von WETTREG durch einen weiteren Schritt eingebracht. Hierzu erfolgt die Analyse der Ausprägung der großräumig modellierten Klimaänderungen. Die so gefundenen physikalischen Änderungen im simulierten Klima werden anschließend auf die Zeitreihen des stochastischen Wettergenerators aufgeprägt. Resultat ist ein Satz von Zeitreihen, in denen die inneren Zusammenhänge des Klimas enthalten sind und die gleichzeitig die Signatur einer Klimaänderung wiedergeben.

Aufbauend auf das WETTREG2006-Verfahren, erfolgte in den Jahren 2009 und 2010 eine wesentliche Weiterentwicklung hin zur aktuellen Version von WETTREG. Zum Einen gab es einen Übergang von der Reproduktion von Wetterelementen zur Reproduktion von deren Anomalien (Abweichungen vom Jahresgang). Zum Zweiten wurde der so genannte Transwetterlagen-Ansatz realisiert, demzufolge die großräumigen Muster selbst zukünftigen Änderungen unterliegen. Wie bereits aus Vorstudien bekannt, kann das WETTREG-Verfahren in zentralen Aspekten effizienter arbeiten, wenn so genannte Transwetterlagen eingeführt werden. Bei diesen Mustern handelt es sich nicht um neue Strömungskonfigurationen sondern um eigenständige, extreme Ausprägungen von bekannten Mustern. Erste Untersuchungen im Rahmen eines UBA-Projektes, die WETTREG in der Version von 2010 zur Regionalisierung von SRES A1B ECHAM5-MPI/OM-Modellergebnisse einsetzen zeigen, dass die Häufigkeit der neuen Muster zum Ende des 21. Jahrhunderts stark zunimmt.

Im Rahmen dieses Vorhabens liegt das Augenmerk auf der Vergrößerung der Bandbreite der Aussagen. Dazu werden mit der aktuellen Version von WETTREG die SRES A2 und B1 ECHAM5-Modellergebnisse regionalisiert – eine entsprechende Bandbreite in den Resultaten gab es bereits mit WETTREG2006.



# Inhaltsverzeichnis

|     |   |    |
|-----|---|----|
| I   | Hauptteil   | 1  |
| 1   | Einleitung  | 3  |
| 1.1 | Grundlagen  | 3  |
| 1.2 | Modellierung des Klimawandels mit hoher Auflösung             | 4  |
| 1.3 | Problemstellung   | 5  |
| 2   | Datenmaterial   | 7  |
| 2.1 | Reanalysen  | 7  |
| 2.2 | Globales Klimamodell  | 7  |
| 2.3 | Messdaten   | 8  |
| 3   | Modell/Verfahrensbeschreibung                                 | 11 |
| 3.1 | Grundlagen  | 11 |
| 3.2 | Weiterentwicklung von WETTREG                                 | 12 |
| 4   | Vergleich der Ist-Zeitraum Simulationen mit den Beobachtungen | 15 |
| 5   | Klimasignale  | 23 |
| 5.1 | Häufigkeit der Zirkulationsmuster                             | 23 |
| 5.2 | Vergleich mit naher Zukunft (2021–2050)                       | 27 |
| 5.3 | Vergleich mit ferner Zukunft (2071–2100)                      | 38 |
| 6   | Diskussion  | 55 |
| 6.1 | Statistische und dynamische Aspekte in WETTREG                | 55 |
| 6.2 | Definition von Transwetterlagen                               | 56 |
| 6.3 | Verwendung von Anomalien                                      | 56 |
| 6.4 | Ausdehnung des Zeitrahmens bei den Klimadaten                 | 57 |
| 6.5 | Übergang von Zeitscheiben zu transienter Herangehensweise     | 58 |
| 6.6 | Resultierende Temperatur- und Niederschlagssignale            | 59 |
| 7   | Zusammenfassung   | 63 |

## *Inhaltsverzeichnis*

---

|  |      |
|--|------|
| Literaturverzeichnis                               | 65   |
| II Anhänge   | I    |
| A Zirkulationsmuster Feuchte- und Temperaturregime | III  |
| Abbildungsverzeichnis                              | XVII |
| Tabellenverzeichnis                                | XIX  |

Teil I  
Hauptteil





# 1 Einleitung

## 1.1 Grundlagen

Der Klimawandel, Teil des Globalen Wandels, ist eine der großen Herausforderungen für die Menschheit mit weit reichenden Konsequenzen. Um ihn zu identifizieren werden auch weiterhin umfangreiche Forschungsaktivitäten benötigt. Dafür ist in erster Linie ein besseres Verständnis der Klimaprozesse notwendig. Des Weiteren werden umfangreiche Studien zu den Impakten des Wandels benötigt, auf deren Basis Adaptationsmaßnahmen umgesetzt werden können. Wichtige Meilensteine wurden seit 1990 im Rahmen des IPCC-Prozesses dokumentiert: [IPCC \(1990\)](#), [IPCC \(1996\)](#), [IPCC \(1998\)](#), [IPCC \(2001\)](#), [IPCC \(2007\)](#). Parallel dazu erfolgte auch eine Weiterentwicklung der globalen Klimamodelle. Diese sind unverzichtbare Basis aller Regionalisierungsstudien, seien es dynamische ([GIORGI, 1990](#)) oder statistische Ansätze ([WILBY and WIGLEY, 1997](#)).

Die zukünftige Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen ist der wichtigste Einflussfaktor der vom Menschen verursachten Klimaänderungen. Im Rahmen des IPCC-Prozesses wurden für den Special Report on Emission Scenarios [SRES, [NAKIĆENović et al. \(2000\)](#)] plausible Zukunfts-Entwicklungen von Treibhausgas-Emissionen vorgestellt. Im Vorfeld des 5. IPCC-Sachstandsberichts, dessen Veröffentlichung für 2013 vorgesehen ist, erfolgt eine Novellierung der Szenarios ([MOSS et al., 2008](#)). Fortan wird nicht mehr die *Emission* der Treibhausgase sondern deren *Konzentration* in der Atmosphäre die Bezugsgröße sein. Diese neuen Szenarios sind als repräsentative zeitliche Verläufe der Konzentration (RCP, Representative Concentration Pathways) spezifiziert<sup>1)</sup>.

Eine Übersicht zur Vorhersagbarkeit von Klimaänderungen findet sich in [GIORGI \(2005\)](#) und ein Vergleich von Klimamodellen, die im IPCC-Bericht 2007 verwendet werden, ist in [LUCARINI et al. \(2007\)](#) publiziert. Dynamische Regionalisierungsmodelle wurden im EU-Projekt PRUDENCE einander gegenübergestellt ([PRUDENCE, 2005](#); [JACOB et al., 2007](#); [BOBERG et al., 2009](#); [LORENZ and JACOB, 2010](#)) und im EU-Projekt ENSEMBLES werden Multimodell-Ansätze erarbeitet. Es gibt einen zusammenfassenden ENSEMBLES-Bericht: [VAN DER LINDEN and MITCHELL \(Eds.\) \(2009\)](#) sowie detaillierte Auswertungen beispielsweise in [BOBERG et al. \(2010\)](#) oder [BUSER et al. \(2010\)](#). Das STARDEX-Programm ([GOODESS \(Ed.\), 2009](#)) widmet sich einem ebenfalls sehr wichtigem Problem: der Regionalisierung zukünftiger Klimaextreme.

Der hier vorgelegte Bericht dokumentiert die Aktualisierung und Erweiterung

---

<sup>1)</sup>RCP-Szenarios sind zur Zeit dieser Studie noch nicht verfügbar – daher werden die SRES-Szenariorechnungen des gekoppelten globalen Zirkulationsmodells ECHAM5/MPI-OM verwendet.

einer seit 2006 verfügbaren (KREIENKAMP et al., 2006b) (im Text mit WETTREG2006 bezeichnet) und 2007 publizierten UBA-Deutschlandstudie mit der statistischen Regionalisierungsmethode WETTREG (SPEKAT et al., 2007b). Er basiert auf Weiterentwicklung dieser statistischen Regionalisierungsmethode, die von den Bundesländern in Auftrag gegeben wurden (KREIENKAMP et al., 2010c). Ziel jenes Vorhabens ist, unter Einsatz dieser Methode, ein hochauflösendes Bild des Klimawandels zu erhalten. Dazu wird das Konzept der so genannten Transwetterlagen [im Bericht mit TWL abgekürzt, s.a. KREIENKAMP et al. (2006a)] weiter geführt – es folgt der Idee, dass in Zukunft neue atmosphärische Muster entstehen könnten, die sich in ihren physikalischen Eigenschaften von den derzeit auftretenden Mustern unterscheiden. Im Auftrag des Umweltbundesamtes wurden WETTREG-Läufe, angetrieben Ergebnissen von SRES A2 und B1 ECHAM5/MPI-OM-Modellläufen in Auftrag gegeben (KREIENKAMP et al., 2010a). Mit diesem vom Climate Service Center beauftragten Vorhaben wird die Analogie zu SPEKAT et al. (2007b) hergestellt und WETTREG-Läufe mit Ergebnissen von SRES A2 und B1 ECHAM5-Modellläufen berechnet.

*Anmerkung 1: Als antreibendes globales Modell wird für die in diesem Bericht beschriebenen Resultate das gekoppelte globale Zirkulationsmodell ECHAM5/MPI-OM T63L31 verwendet. Es wird im Text mit ECHAM5 abgekürzt.*

*Anmerkung 2: Wenn in diesem Bericht das Verfahren mit WETTREG bezeichnet wird, so ist die Version WETTREG2010 gemeint. In Passagen, die auf die WETTREG-Version von 2006 Bezug nehmen werden diese im Text als WETTREG2006 erwähnt.*

## 1.2 Modellierung des Klimawandels mit hoher Auflösung

Die Regionalisierung von Modellresultaten ist ein zentrales Aufgabenfeld der Klimamodellierung. Sie unterstützt den Erkenntnisprozess zum globalen Wandel, der Modellaussagen mit einer Auflösung benötigt, die auch von den am weitesten entwickelten gekoppelten globalen Klimamodellen (GCM) nicht zur Verfügung gestellt werden können. Dies ist bereits relativ früh erkannt worden (GROTCH and MACCRACKEN, 1991) und bestätigte sich auch für die neuere Generation von GCMs (FOWLER et al., 2007); sie wurden im Laufe der Zeit weiter verbessert, zum Beispiel bezüglich ihrer räumlichen und zeitlichen Auflösung sowie der physikalischen Parameterisierungen und der Anzahl der modellierten Prozesse. GCMs sind unverzichtbare Grundlage für Betrachtungen von Klimaentwicklungen – auf der globalen und kontinentalen Skala liefern sie konsistente und robuste Ergebnisse, so dass sie den großskaligen Antrieb für die Regionalisierungsverfahren darstellen. In Regionen von Interesse können somit die entsprechenden Studien vorgenommen werden. Es gibt bei der Regionalisierung zwei Grundansätze:

- Dynamische Verfahren fokussieren auf Teilgebiete des globalen Modells [so genannte Nesting-Strategie, RUMMUKAINEN (2010)] und rechnen in diesen Gebieten mit deutlich höherer räumlicher Auflösung, wobei an der Berandung des jeweiligen Teilgebiets die Antriebsdaten aus einem globalen Kli-

modell zum Einsatz kommen. Dabei ist es beispielsweise notwendig, die Behandlung der physikalischen Vorgänge an das feinere Gitter anzupassen. Wünschenswert, aber derzeit noch nicht realisiert, ist es, dass eine echte Zwei-Wege-Kopplung (LORENZ and JACOB, 2005) vor sich geht, bei der nicht nur die Berechnungen des globalen Modells in das genestete Regionalmodell einfließen, sondern das Regionalmodell auch seine Ergebnisse in das Globalmodell überträgt. Hochentwickelte dynamische Regionalisierungen sind sehr aufwändig und haben einen hohen Bedarf an Computer-Ressourcen.

- Statistische Verfahren (BENESTAD et al., 2008) gehen vom Postulat aus, dass die globalen Modelle im großräumigen Scale in der Lage sind, die Strukturen der atmosphärischen Zirkulation treffend zu beschreiben<sup>2)</sup>. Eine verbreitete Herangehensweise identifiziert statistische Beziehungen zwischen den großräumigen Mustern/Wetterlagen und den lokalen Auswirkungen, wobei die aus der Vergangenheit oder der Jetztzeit gewonnenen Beziehungen auf die Vorausrechnungen der globalen Modelle (angetrieben von den globalen Treibhausgas-Emissionsszenarios), in denen sich auch Änderungen der atmosphärischen Zirkulationsgrößen manifestieren, angewandt werden. Statistische Verfahren benötigen deutlich weniger Rechnerkapazität. Im vorliegenden Bericht wird zur Beschreibung des regionalen Klimawandels ebenfalls eine statistische Methode (WETTREG) eingesetzt.

## 1.3 Problemstellung – Regionalisierung von ECHAM5 A2 und B1-Szenarios mit WETTREG

Es wurden in der Vergangenheit Klimastudien mit dem Verfahren WETTREG auf der Basis der SRES-Emissionsszenarios B2 und A2 und Verwendung von ECHAM 4-OPYC3 (CUBASCH et al., 1995) und ab 2006 mit Szenariorechnungen A1B, A2 und B1 von ECHAM5/MPI-OM T63L31 [s. ROECKNER et al. (2003) und ROECKNER et al. (2004)] globalen Klimasimulationen erstellt (KREIENKAMP et al., 2006b), wie zum Beispiel in SPEKAT et al. (2007b) dokumentiert. Hintergrund war, die Bandbreite des Klimawandels besser studieren zu können, indem die Analyse mehrerer alternativer Szenarios erfolgt. Das WETTREG-Verfahren erhielt im Laufe der Zeit Verbesserungen und im Jahre 2009 wurde von einer Gruppe von Bundesländern und Freistaaten eine Studie beauftragt, in der die Implementierung des TWL-Ansatzes in das WETTREG-Verfahren erfolgte. Die Veränderungen der Methode sind im Bericht KREIENKAMP et al. (2010c)

---

<sup>2)</sup>Zitat Filippo Giorgi in CHRISTENSEN (2005): *If you don't believe in the value of global climate models then there's no point in downscaling them. But if you do - and global models do provide a quite consistent pattern of climate change – then it makes sense to translate global patterns into local information.*

dokumentiert und in Abschnitt 3.2 kurz zusammengefasst. Anschließend erfolgte die Durchführung von von WETTREG-Regionalisierungen für das Szenario A1B des ECHAM5-Modells, sowie eine Gegenüberstellung der Ergebnisse mit den WETTREG2006-Regionalisierungen, dokumentiert in [KREIENKAMP et al. \(2010a\)](#).

Während also im Jahr 2006 Regionalisierungen auf der Basis von ECHAM5-Lauf 1 Rechnungen für drei SRES Szenarios (A1B, A2 und B1) unter Verwendung der statistischen Methode WETTREG2006 durchgeführt wurden ([SPEKAT et al., 2007b](#)), lagen im Jahr 2010 Regionalisierungen mit der aktualisierten Methodenversion WETTREG2010 zunächst nur für ECHAM5-Lauf 1 Szenario A1B vor ([KREIENKAMP et al., 2010a](#)). Mit diesem, vom Climate Service Center finanzierten Projekt wird die Lücke zur WETTREG2006-Studie geschlossen. Es liegen nunmehr Resultate von WETTREG2010-Läufen mit den SRES Szenarios A2 und B1 auf der Basis von ECHAM5-Modelllaufergebnissen vor.

## 2 Datenmaterial

Für die Anwendung der WETTREG-Regionalisierungsmethode sind drei Datenkomponenten notwendig: Reanalysedaten für die Beschreibung des Klimas der Jetztzeit, Ergebnisse von Szenariorechnungen mit einem globalen Klimamodell und Messdaten von Klimastationen zur Herleitung der statistischen Beziehungen. In den folgenden Unterabschnitten werden diese Datenarten kurz beschrieben.

### 2.1 Reanalysen

Grundgedanke des Reanalyse-Ansatzes ist es, eine Klimatologie der Atmosphäre in drei Dimensionen auf der Basis von Daten hoher Homogenität in Zeit und Raum zu erzeugen. Atmosphärische Messdaten wurden und werden in einer Vielzahl von Verfahren, die sich über die Zeit verändert haben, analysiert, so dass es nicht bruchlos möglich ist, Analysen aus unterschiedlichen Quellen und für unterschiedliche Perioden zu betrachten. Erst durch die Re-Analysen ist ein auf homogenen Daten beruhendes dreidimensionales Bild des Klimas der Jetztzeit möglich. Eine sehr gute und ausführliche Darstellung der Reanalyse-Philosophie sowie der Entwicklungs-Phasen insbesondere beim European Center for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF) findet sich in Kapitel 14 (S. 167–182) von [WOODS \(2006\)](#).

Es gibt zwei Reanalyse-Datensätze, die im Laufe der Zeit auch für WETTREG Verwendung fanden: Die NCEP/NCAR Reanalysen [KALNAY et al. \(1996\)](#) und die ERA40-Reanalysen [UPPALA et al. \(2005\)](#). Erstere werden stetig aktualisiert, während die Zweitgenannten nur bis 2002 reichen aber dafür eine höhere räumliche Auflösung bieten. Sowohl NCEP- als auch ERA40-Daten sind in Bereichen mit guter Datenbelegung (z.B. Europa) nur geringfügig unterschiedlich [GREAT-BATCH and RONG \(2006\)](#) und [WANG et al. \(2006\)](#). Aus den Feldern werden Zirkulationsmuster bestimmt, deren Kopplung mit dem lokalen Klima ein zentraler Aspekt von WETTREG ist.

### 2.2 Globales Klimamodell

Seit etwa 2005 sind die Szenariorechnungen des Globalen Klimamodells ECHAM5/MPI-OM T63L31 [dokumentiert in [ROECKNER et al. \(2003\)](#) und [ROECKNER et al. \(2004\)](#)] verfügbar. Für diese Studie wird ECHAM5 Lauf 1 verwendet. Der Zeithorizont umfasst die Jahre 1861–2100, bis 2000 als 20C-Lauf,

danach als Rechnungen für die SRES (NAKIĆENVIĆ et al., 2000) Emissions-Szenarios A1B, A2 und B1. Aus den Feldern werden so genannte potenzielle Prediktoren bestimmt, die Analysen von physikalischen Eigenschaften einer Atmosphäre im Klimawandel ermöglichen. Bisherige WETTREG-Studien nutzten zur Regionalisierung auch ECHAM4 bzw. ECHAM5. Vergleiche mit regionalisierten Daten anderer Globalmodelle fanden u.A. im Rahmen des PaRK-Projekts SPEKAT et al. (2008) und KREIENKAMP et al. (2009) statt. Inzwischen liegen weitere Läufe verschiedener Modelle vor, die im Rahmen des EU-Projekts ENSEMBLES erstellt und 2008 der Wissenschafts-Community zur Verfügung gestellt wurden.

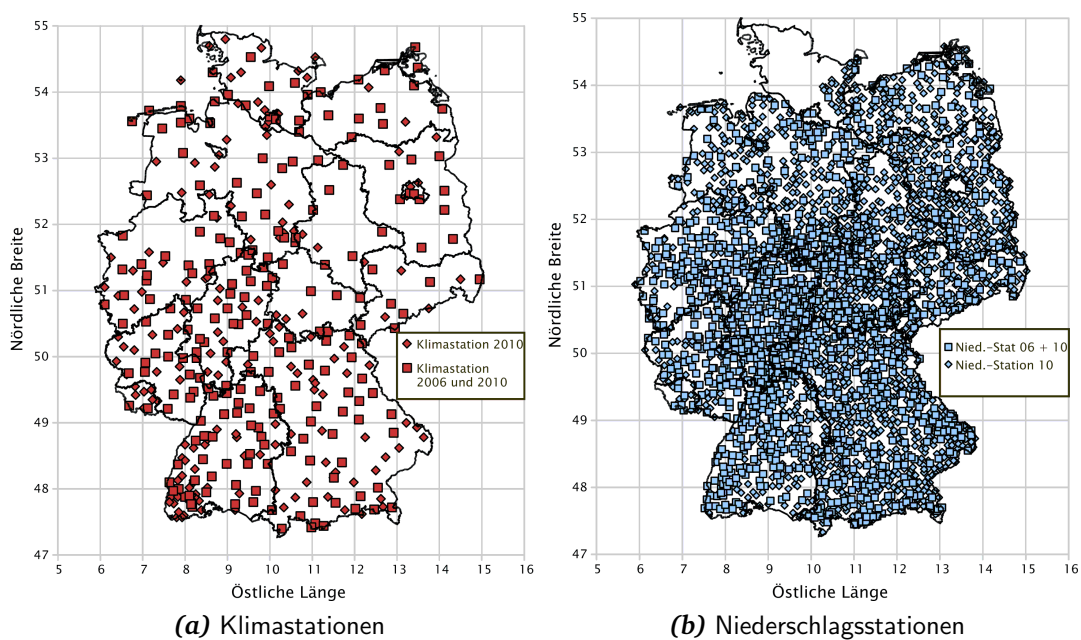
## 2.3 Messdaten

Für die Synthese der Beziehungen zwischen atmosphärischen Mustern und lokalen meteorologischen Größen sind Messdaten von Klimastationen (die Wetterelemente sind in Tab. 2.1 aufgeführt) und Niederschlagsstationen notwendig. Insgesamt wurden dazu vom Deutschen Wetterdienst Daten von weit über 4000 Stationen zur Verfügung gestellt. In einem ersten Schritt werden Stationen selektiert, die an mindestens 10000 der 13514 Tage zwischen dem 1.1.1971 und dem 31.12.2007 Daten enthielten. Von den verbleibenden Datenreihen werden in dieser Studie nur diejenigen für die WETTREG-Regionalisierungen verwendet, bei denen an 75% der Tage des Zeitraums 1971–2007 Werte vorhanden sind. Die Einschränkungen auf Grund dieses zusätzlichen Kriteriums sind gering, denn von den nach dem o.e. ersten Schritt selektierten 3330 Stationen (387 Klima- und 2943 Niederschlagsstationen, s. Abb. 2.1) erfüllen 2 Klimastationen und 110 Niederschlagsstationen das Kriterium nicht.

**Anmerkung 1:** Wenn im Bericht von Messdaten, Klimamessungen oder die Rede ist, so handelt es sich in allen Fällen um instrumentelle Messungen von Wetterelementen (s.u.) an Boden-Messstationen. Klimadaten aus der freien Atmosphäre entstammen den Reanalysen (s. Abschnitt 2.1).

**Anmerkung 2:** Bei den Niederschlagsdaten handelt es sich um unkorrigierte Werte.

**Anmerkung 3:** Im Rahmen der UBA-Studie SPEKAT et al. (2007b) erfolgte 2007 die Simulation für 273 Klimastationen und 1690 Niederschlagsstationen – s. Abb. 2.1. Die Daten wurden vor der Nutzung auf Homogenität geprüft und gegebenenfalls homogenisiert.



**Abbildung 2.1:** Pool der Klima- (links) und Niederschlagsstationen (rechts). Aus jeder Karte ist zusätzlich zu ersehen, wie sich die Stationsdichte von der WETTREG2006-Studie zur WETTREG-Studie von 2010 erhöht hat.

**Tabelle 2.1:** Wetterelemente in den bereitgestellten Klimastationszeitreihen.

| <i>Nr.</i> | <i>Wetterelement</i>              | <i>Einheit</i> |
|------------|-----------------------------------|----------------|
| 1          | Maximum der Temperatur            | [°C]           |
| 2          | Tagesmittel der Temperatur        | [°C]           |
| 3          | Minimum der Temperatur            | [°C]           |
| 4          | Tagessumme des Niederschlages     | [mm]           |
| 5          | Tagesmittel der relativen Feuchte | [%]            |
| 6          | Tagesmittel des Luftdrucks        | [hPa]          |
| 7          | Tagesmittel des Dampfdrucks       | [hPa]          |
| 8          | Tagessumme der Sonnenscheindauer  | [h]            |
| 9          | Tagesmittel des Bedeckungsgrades  | [octas]        |
| 10         | Tagesmittel der Windstärke        | [m/s]          |



**Table 2.2:** Anzahl der vom DWD zur Verfügung gestellten Klima- bzw. Niederschlagsstationen in den einzelnen Bundesländern/Freistaaten (BL/FS).

---

| <i>BL/FS</i>           | <i>Anzahl Klima</i> | <i>Anzahl Niederschlag</i> |
|------------------------|---------------------|----------------------------|
| Brandenburg            | 11                  | 276                        |
| Berlin                 | 6                   | 0                          |
| Baden-Württemberg      | 79                  | 239                        |
| Bayern                 | 82                  | 710                        |
| Bremen                 | 2                   | 6                          |
| Hessen                 | 35                  | 242                        |
| Hamburg                | 4                   | 2                          |
| Mecklenburg-Vorpommern | 15                  | 146                        |
| Niedersachsen          | 38                  | 309                        |
| Nordrhein-Westfalen    | 32                  | 226                        |
| Rheinland-Pfalz        | 26                  | 110                        |
| Schleswig-Holstein     | 21                  | 30                         |
| Saarland               | 9                   | 16                         |
| Sachsen                | 12                  | 182                        |
| Sachsen-Anhalt         | 7                   | 202                        |
| Thüringen              | 9                   | 247                        |

---

# 3 Modell/Verfahrensbeschreibung

## 3.1 Grundlagen

WETTREG ist ein statistisches Verfahren, das die Vorteile der dynamischen Modelle mit den Möglichkeiten eines statistischen Wettergenerators zur Erzeugung von Stationszeitreihen verbindet. Die räumliche Auflösung ist dabei so groß, wie Messreihen von Klima- bzw. Niederschlagsstationen zur Verfügung stehen.

Die Strategie von WETTREG beruht auf folgenden Annahmen:

- Globale Klimamodelle sind in der Lage, das Klima großräumig in hinreichender Qualität zu beschreiben;
- es gibt semi-stabile Muster in den atmosphärischen Feldgrößen (z.B. Zirkulation, Feuchte, Vorticity, u.v.a.m.), die wiederkehrend eine bestimmte Klasse von lokalen Konsequenzen (hohe/niedrige Temperatur, starker/geringer Niederschlag, etc.) hervorrufen;
- unter dem Antrieb von Emissions-Szenarios verändert sich die Häufigkeitsverteilung der atmosphärischen Muster, wie sie von einem globalen Klimamodell errechnet wird;
- die Beziehungen der Klassen lokaler Konsequenzen zu den atmosphärischen Mustern ist auch in der Zukunft der derzeit bestehenden Beziehung sehr ähnlich und wird darum als konstant angesetzt,
- die Repräsentation des sich ändernden Klimas in den von WETTREG erzeugten lokalen Simulationszeitreihen ist statistisch zutreffend, so dass Aussagen über Mittelwerte, Varianz und Extreme von Wetterelementen an den Orten der Klimamessreihen möglich sind.

Ein zentraler Aspekt der WETTREG-Methode ist mithin der Komplex *atmosphärische Muster und ihre Identifikation*. Dabei werden Größenklassen von am Boden messbaren Atmosphäreneigenschaften gebildet. Somit folgt WETTREG dem *Environment-to-Circulation* Ansatz (YARNAL, 1993). Dazu werden lokale Klimagrößen – zum Beispiel Temperaturmessungen – in Größenklassen eingeteilt<sup>1)</sup> und anschließend die an den so ermittelten Tagen herrschenden Zirkulationsmuster gefunden. Dieser Ansatz verfolgt also die Strategie, im Falle der

---

<sup>1)</sup>In WETTREG2006 waren dies für die Temperatur absolute Wertintervalle, also z.B. +12°C bis +16°C; in WETTREG2010 handelt es sich um Abweichungen vom Jahresgang, als z.B. 1 bis 2,5°C zu warm, mehr zu den Änderungen in der aktualisierten WETTREG-Fassung findet sich in Abschnitt 3.2.

Temperatur-Klassenbildung, zu ermitteln, wie die atmosphärischen Muster beschaffen sind, wenn lokal hohe/niedrige Temperaturwerte als Ursache registriert werden<sup>2)</sup>.

Es gibt internationale Aktivitäten, wie die COST-Aktion 733<sup>3)</sup>, die sich des Vergleichs von objektiven und subjektiven Klassifikationsmethoden annehmen. In diesem Zusammenhang sei angemerkt, dass es sich bei allen in COST 733 verwendeten Methoden um den Typ *Circulation-to-Environment* handelt. HUTH et al. (2008) stellt die Hauptstrategien der Musterbestimmung vor und PHILIPP et al. (2010) beschreibt die in COST 733 verwendeten Methoden. Wie in SPEKAT et al. (2010) gezeigt, ist ein *Environment-to-Circulation* Ansatz, wie er auch in WETTREG verfolgt wird, sehr gut geeignet, Zirkulationsmuster zu identifizieren, die bezüglich der lokalen Klimagrößen eine hohe Trennschärfe besitzen<sup>4)</sup>. Dies wiederum ist vorteilhaft für Studien des Klimaimpakts.

In Anhang A finden sich die atmosphärischen Felder verschiedener Parameter (Übersicht auf Seite III) für die 8 Niederschlagsklassen (Abb. A.1, A.3, A.5 und A.7) und die 12 Temperaturklassen (Abb. A.2, A.4, A.6 und A.8) getrennt für jede Jahreszeit.

### 3.2 Weiterentwicklung von WETTREG

Die Details der Methode, inklusive der Zusammenschau und räumliche Homogenisierung der einzelnen Teilregionen, sind ausführlich in ENKE (2005), ENKE et al. (2005a), ENKE et al. (2005b), SPEKAT et al. (2007b), KREIENKAMP et al. (2010c) und KREIENKAMP et al. (2010a) beschrieben. Im Laufe der Jahre wurde WETTREG in Teilaspekten verbessert. Die in WETTREG2010 (KREIENKAMP et al., 2010c) realisierten Änderungen gegenüber der in SPEKAT et al. (2007b) verwendete Fassung WETTREG2006 seien hier kurz zusammengefasst – die Auswirkungen der WETTREG-Neuerungen sind in den Abschnitten 6.1–6.5 vorgestellt:

- *Transiente Herangehensweise* – der Antrieb erfolgte bei WETTREG2006 durch das globale Modell in Form von Zeitscheiben erfolgt, d.h. die Häufigkeitsverteilungen der Zirkulationsmuster wurden dekadenweise bestimmt und diese Diskretisierung führte zu Sprüngen an den Dekadenübergängen. In mehreren Studien, wie etwa SPEKAT et al. (2006) oder SPEKAT et al. (2007a) wurde eine transiente Strategie erarbeitet und umgesetzt, in der

---

<sup>2)</sup>Die umgekehrte, in WETTREG nicht verwendete Herangehensweise ist der *Circulation-to-Environment*-Ansatz, bei dem zuerst Strukturen in der Atmosphäre gesucht und danach deren lokale Konsequenzen bestimmt werden. Ein klassisches Beispiel dafür sind die Großwetterlagen HESS and BREZOWSKY (1952).

<sup>3)</sup>Harmonisation and applications of weather types classifications for European regions. Laufzeit: 2005–2010.

<sup>4)</sup>Darunter ist zu verstehen, dass ein bestimmter Wertebereich, beispielsweise der Temperatur, sich nur in wenigen Mustern wiederfindet. Ein Charakteristikum von *Circulation-to-Environment*-Methoden, wie etwa die Hess-Brezowsky-Großwetterlagen (s.o.), ist hingegen die Assoziation eines Wertebereichs der lokalen Temperatur mit sehr vielen verschiedenen atmosphärischen Mustern.

die Häufigkeitsverteilungen der Zirkulationsmuster nicht mehr dekadenweise konstant sind, sondern sich gleitend ändern. Ein solches Vorgehen wurde auch im Rahmen der TWL-Studie [KREIENKAMP et al. \(2010c\)](#) angewandt – dort werden in den Abschnitten 3.2.1ff die Weiterentwicklungen vorgestellt.

- *Verwendung von Abweichungen zum Jahresgang* – während bei WETTREG2006 zur Definition der Zirkulationsmuster die Intervalle der lokalen Messwerte (vgl. Fußnote auf S. 11) verwendet wurden, erfolgte die Definition der Wertebereiche bei WETTREG2010 für die Klassen anhand der Abweichungen vom Jahresgang.
- *Glättung an den Jahreszeitenübergängen* – in WETTREG2006 verlief die Mustersuche und der Einsatz des stochastischen Wettergenerator Jahreszeiten-spezifisch, mit der Folge, dass bei Jahreszeitenwechseln quasi von einem Tag zum nächsten das „Regelwerk“ wechselte. In WETTREG2010 wurden Maßnahmen zur Reduktion dieser Effekte getroffen.
- *Modifikation der Reihenkonstruktion* – ein weiterer zentraler Aspekt von WETTREG ist der stochastische Wettergenerator, der Abschnitte aus Klimazeitreihen zu neuen Reihen rekombiniert, die durch Kriterien zur Annahme resp. dem Verwerfen eines Segments die Signatur einer projizierten Klimaänderung tragen. Eine auch nur annähernde Darstellung dieses komplexen und für WETTREG2010 erweiterte Vorgangs würde den Umfang dieses Berichts übersteigen; der geänderte Synthesevorgang von WETTREG2010 ist im Kapitel 3.3 von [KREIENKAMP et al. \(2010c\)](#) dargestellt.
- *Einführung zusätzlicher Zirkulationsmuster* – WETTREG2006 ging von der Annahme aus, dass es in der Gegenwart einen festen Satz von Zirkulationsmustern gibt, der sich auch in einem zukünftigen Klima wiederfinden lässt. Da sich, nach der Erfahrung aus Vorstudien, in den Klimamodellprojektionen für die Zukunft jedoch Zirkulationsmuster ausprägen, die im derzeitigen Klima noch sehr selten sind, aber in Zukunft deutlich an Bedeutung gewinnen, wurde dem in WETTREG2010 Rechnung getragen. Zusätzlich zu den in WETTREG2006 verwendeten zehn Mustern in jeder Jahreszeit erfolgte die Einführung von zwei zusätzlichen Mustern, so genannten *Transwetterlagen*.

Im Rahmen des Bund-Länder-Fachgesprächs 'Interpretation regionaler Klimaprojektionen' wurde eine bewertende Stellungnahme zu WETTREG2006 und WETTREG2010 erstellt. Diese findet sich auf den UBA-KOMPASS-Seiten und ist zu finden, indem bei einer Internet-Suchmaschine der Begriff WETTREG 2010 - Länderbewertung eingegeben wird (Bitte Leerzeichen und Umlaut beachten!)<sup>5)</sup>.

---

<sup>5)</sup>Der dann gefundene Link kann auch direkt durch Eingabe dieser Adresse erreicht werden: [http://www.anpassung.net/nn\\_701048/SharedDocs/Downloads/DE/WETTREG2010\\_E2.80\\_93L\\_C3\\_A4nderbewertung.html](http://www.anpassung.net/nn_701048/SharedDocs/Downloads/DE/WETTREG2010_E2.80_93L_C3_A4nderbewertung.html). (Link getestet am 29.6.2011).

WETTREG synthetisiert an den Orten der Klima- und Niederschlagsstationen transiente (s.o.) Zeitreihen für den Zeitraum 1961 bis 2100. In ihnen finden sich, durch den stochastischen Wettergenerator selektiert und aneinander gesetzt, Abschnitte gemessener Zeitreihen dieser Stationen, denen die Signatur eines sich ändernden Klimas aufgeprägt ist. Es werden insgesamt zehn WETTREG-Läufe durchgeführt, was zu einem Satz von zehn alternativen, gleichwertigen Varianten eines projizierten Klimas führt. Innerhalb der Zeitreihen hat jedes Jahr 365 Tage. Eine besondere Berücksichtigung von Schaltjahren und der Einbau von Schalttagen erfolgt nicht.

## 4 Vergleich der Ist-Zeitraum Simulationen mit den Beobachtungen

In diesem Abschnitt wird beschrieben und verglichen, wie die Bodenbeobachtungen durch die Modellsimulation von WETTREG für die Jetztzeit wiedergegeben werden. Die dabei benutzten WETTREG-Simulationen haben, wie in Abschnitt 2.2 erwähnt, den 20C-Lauf 1 von ECHAM5 als Antrieb. 20C-Daten liegen für den Zeitraum 1961–2000 vor; der Vergleich erfolgt für 1971–2000.

Die Validierung zeigt, ob das Modell in der Lage ist, unter den gegebenen Randbedingungen die Beobachtungsdaten im Mittel abzubilden. Dies gilt als eine der Grundvoraussetzungen dafür, dass das Modell für Szenariorechnungen eingesetzt werden kann. Zusätzlich ist es dabei möglich, Betrachtungen zur modellinternen Variabilität anzustellen. WETTREG liefert für jede Station 10 synthetisierte Datenreihen, die sich durchgehend von 1961–2100 erstrecken<sup>1)</sup> (s.a. Abschnitt. 3.2).

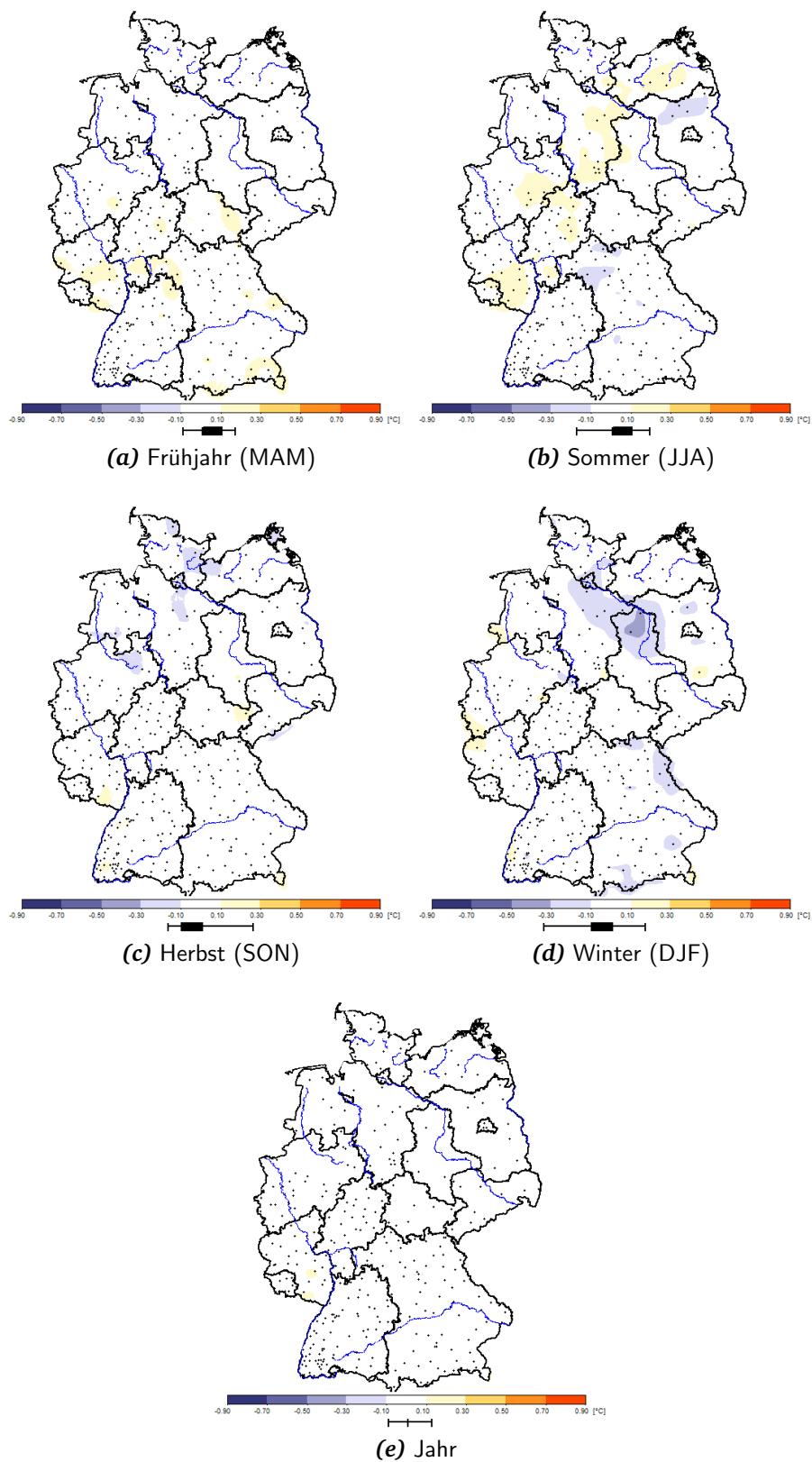
Das Klima ist keine statische Eigenschaft des Atmosphärensystems. Um dennoch ein Bild vom mittleren Zustand zu erhalten werden Mittel über einen Zeitraum gebildet. Die World Meteorological Organization (WMO, 2010) empfiehlt dabei, Mittelungen über 30 Jahre durchzuführen. Dies bedeutet für die Validierung, dass ihre primäre Aufgabe die Beschreibung des Klimazustands aber nicht der Klimaentwicklung im Validierungszeitraum ist. Sehr umfangreiche Untersuchungen, die das Klima und seine Extreme in Deutschland im 20. Jahrhundert analysieren finden sich im UBA-Bericht JONAS et al. (2005).

### Temperatur

Als erstes Klimaelement wird die Temperatur validiert. Abb. 4.1 zeigt dazu die Abweichungen der mit WETTREG simulierten von den im Zeitraum 1971–2000 registrierten Werten an den Klimastationen. Die Untersuchung wurde Jahreszeiten-spezifisch und für das gesamte Jahr durchgeführt.

---

<sup>1)</sup>In den Simulationen sind keine Jahre mit Schalttagen vorhanden.



**Abbildung 4.1:** Vergleich der Simulation (WETTREG, angetrieben mit dem 20C-Lauf von ECHAM5, über die zehn Simulationen gemittelt) mit den Beobachtungsdaten der Jetztzeit. Element: Tagesmitteltemperatur. Periode: 1971–2000. Blautöne: Modell zu kalt, Rottöne: Modell zu warm.

---

Unter jeder Teilfigur findet sich eine zweiteilige Legende, die erstens die verwendete Farbskala und zweitens in Form eines Box-Whisker-Diagramms den auftretenden Wertebereich zeigt. Letzteres markiert mit Strichen an seiner linken und rechten Begrenzung den niedrigsten bzw. höchsten in der Karte auftretenden Wert. Für den dazwischen befindlichen schwarzen Kasten wurden die an allen Bildpunkte ermittelten Werte der Größe nach sortiert. In dieser Rangfolge erfolgte die Identifikation derjenigen Werte, die 25 bzw. 75% entsprechen, also bei 1000 verwendeten Daten der 250. und der 750. Dazwischen liegt der so genannte Interquartilbereich, also die „mittleren 50%“ der Daten.

Welche Abweichungen sind als signifikant zu bezeichnen? Die Basis hierfür ist die Berechnung des Mittelwertes  $\bar{x}$  der gewählten Zeiteinheit (Jahre, Halbjahre, Jahreszeiten, Vegetationsperioden oder Monate) einer simulierten Größe für den Zeitraum 1971–2000. Aus den 30 dazu verwendeten Einzelwerten wird die Standardabweichung  $s$  errechnet. Als nächstes erfolgt, in Anlehnung an [TAUBENHEIM \(1969\)](#), Kapitel 3.1.2 (Vertrauensgrenzen des Durchschnitts), die Berechnung des Erwartungswertes  $\mu$  nach

$$\bar{x} - t_{\beta}(n) \frac{s}{\sqrt{N}} \leq \mu \leq \bar{x} + t_{\beta}(n) \frac{s}{\sqrt{N}} \quad (4.1)$$

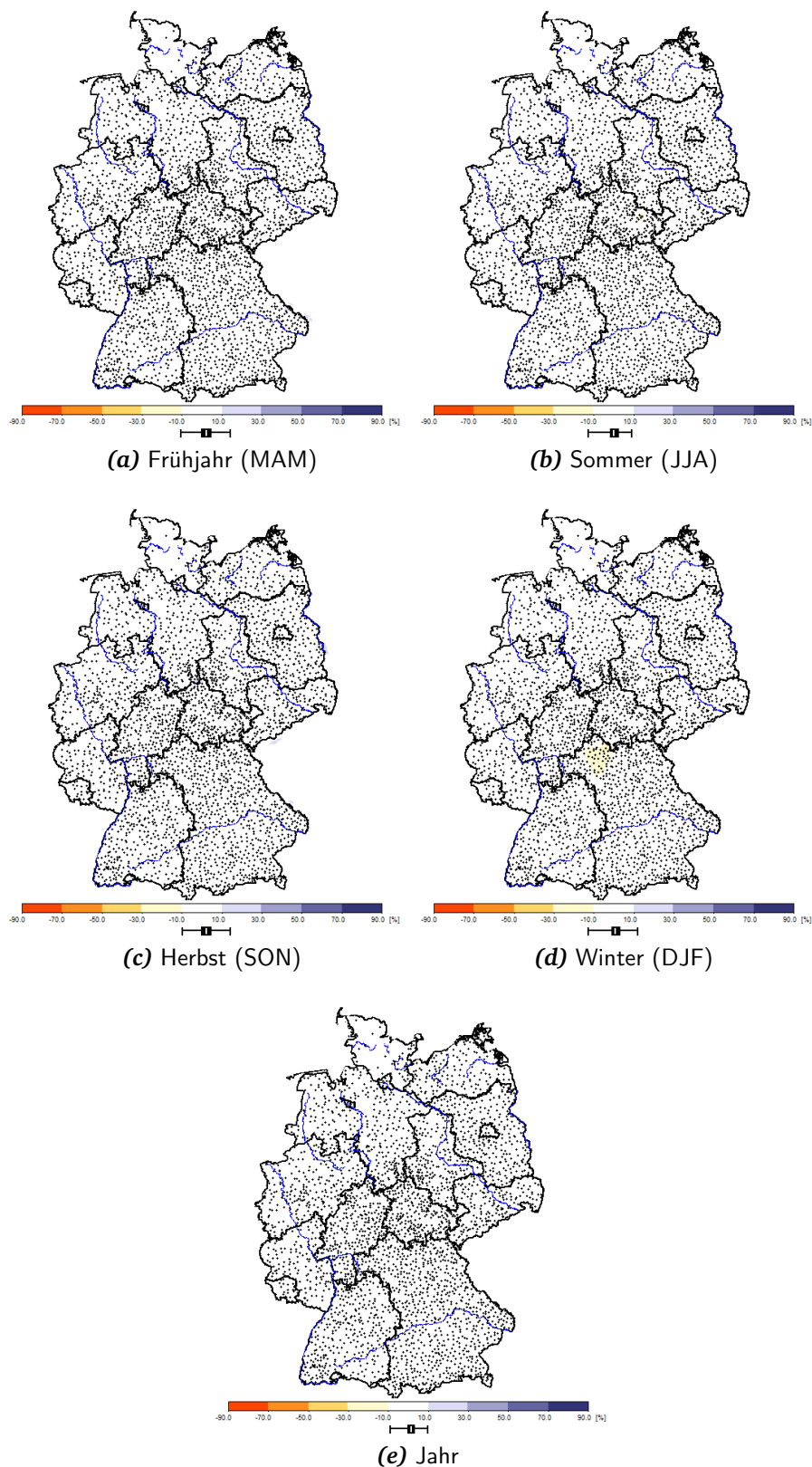
oder

$$\mu = \bar{x} \pm t_{\beta}(n) \frac{s}{\sqrt{N}}, \quad (4.2)$$

mit  $N$ : Anzahl der Werte;  $n$ : Freiheitsgrad, d.i.  $N - 1$ ;  $\beta$ : Irrtumswahrscheinlichkeit;  $t_{\beta}(n)$  Signifikanzschwellen der  $t$ -Verteilung (Students Test) in Abhängigkeit von Freiheitsgrad und Irrtumswahrscheinlichkeit. Für  $n = 30$  und  $\beta = 0,01$  (1% Irrtumswahrscheinlichkeit) ist  $t = 2,750$  [s.a. Tabelle C in [TAUBENHEIM \(1969\)](#)].

Mit dieser Betrachtung kann für die Mitteltemperatur ein Bereich von rund  $\pm 0,15^{\circ}\text{C}$  bestimmt werden, innerhalb dessen die Abweichungen nicht signifikant sind. Wie in [Abb. 4.1](#) erkennbar, sind die auftretenden Abweichungen in fast allen Jahreszeiten und dem Jahr gering. Lediglich im Winter sind sie etwas stärker; ein ähnliches saisonales Verhalten konnte auch in den WETTREG-Simulationen der Gegenwart bei der UBA-Studie [SPEKAT et al. \(2007b\)](#) (dort Kapitel 4.1) gezeigt werden, wiewohl die Stärke der Abweichungen in der vorliegenden Studie geringer ist.





**Abbildung 4.2:** Vergleich der Simulation (WETTREG, angetrieben mit dem 20C-Lauf von ECHAM5, über die zehn Simulationen gemittelt) mit den Beobachtungsdaten der Jetztzeit. Element: Niederschlagssumme. Periode: 1971–2000. Blautöne: Modell zu feucht, Rottöne: Modell zu trocken.

---

## Niederschlag

In Abb. 4.2 ist die Validierung für den Niederschlag dargestellt. Der Vertrauensbereich (vgl. S. 17) liegt beim Niederschlag bei rund  $\pm 10\%$ <sup>2)</sup>. In diesem Lichte ist Abb. 4.2 so zu interpretieren, dass die auftretenden Abweichungen als zumeist gering zu bezeichnen sind.

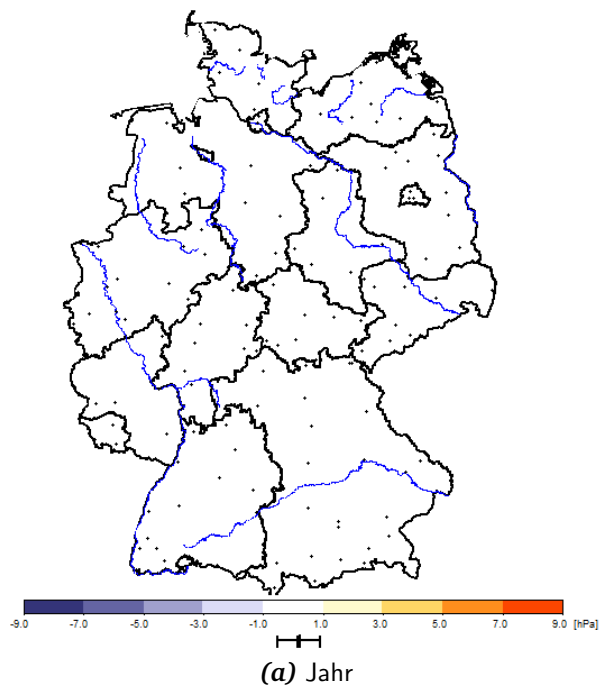
In der UBA-Studie [SPEKAT et al. \(2007b\)](#) (dort Kapitel 4.2.1) wurden ebenfalls geringe Unterschiede zwischen WETTREG-Simulationen, angetrieben mit ECHAM5-20C Daten und Klimamessungen gefunden. Die dortige Abbildung 4.4 besitzt eine für die Problemstellung deutlich zu feine Auflösung, da dort ein Wertebereich von  $\pm 9\%$  dargestellt wurde, was zur Gefahr der Überinterpretation von im Grunde sehr schwachen Signalen Anlass gibt.

## Luftdruck und andere Klimaelemente

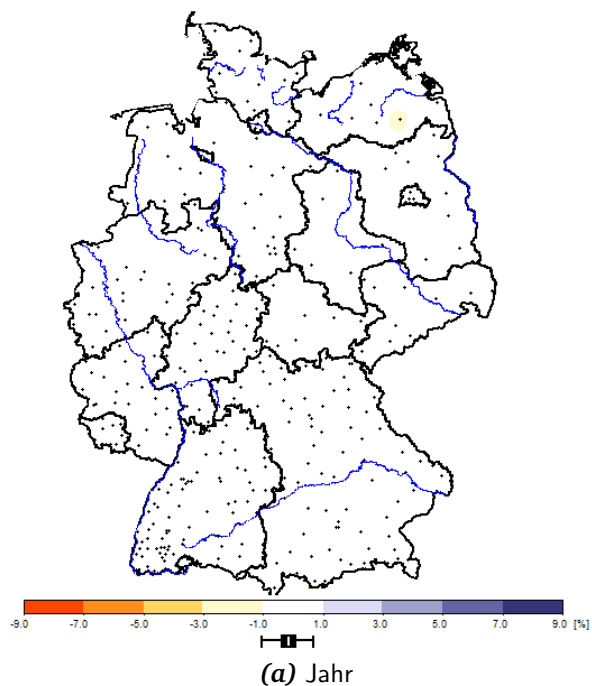
Die Abb. 4.3–4.8 zeigen die Validierung für die Klimaelemente Luftdruck, relative Feuchte, Dampfdruck, Sonnenscheindauer, Bedeckungsgrad und Windgeschwindigkeit. Die Grundmuster sind aus den Jahresdarstellungen ersichtlich. Gemeinsamer Eindruck ist, dass die Abweichungen beim Vergleich der WETTREG-Simulationen mit den Klimamessungen mit Ausnahme der Windgeschwindigkeit gering sind. Beim Bedeckungsgrad – Abb. 4.6 – treten in der Mitte und im Süden Deutschlands leichte Verschiebung (Modell simuliert etwas zu viel Sonnenscheindauer) auf. Beim Wind wird das mittlere Tagesmittel im Mittel um etwa 0,7 m/s überschätzt. Ausreißer stellen die Stationen Arkona und Fichtelberg dar.

---

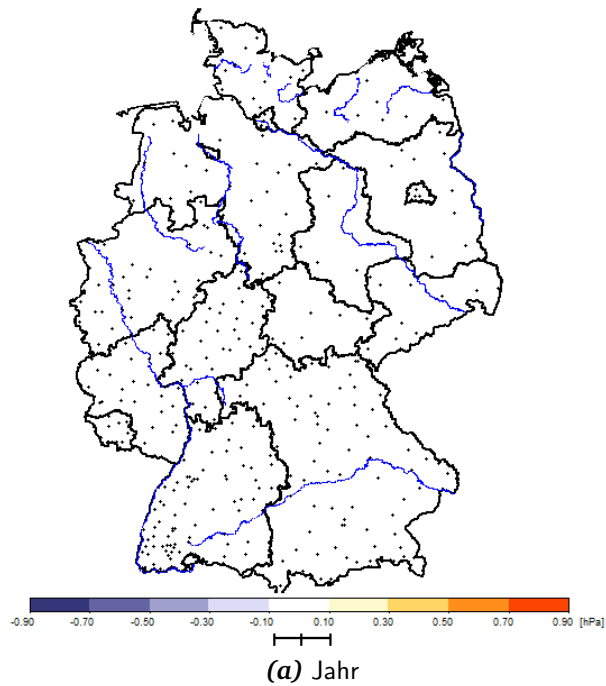
<sup>2)</sup>Eine weitere Motivation, ein Intervall von rund  $\pm 10\%$  für den Niederschlag als Schwelle anzunehmen, kann aus der Bestimmung der Variabilität im Zeitraum 1971–2000 erfolgen, wie z.B. in [KREIENKAMP et al. \(2010b\)](#) vorgestellt. Dort finden sich u.A. Darstellungen des zeitliche Verlaufs des projizierten Niederschlagssignals von 1971 bis 2100 (bis 2000 aus 20C-Daten und danach aus Szenario-Daten bestimmt), ergänzt um das Schwankungsintervall für den Zeitraum 1971–2000. Letzteres hat eine Größenordnung von 10–15%.



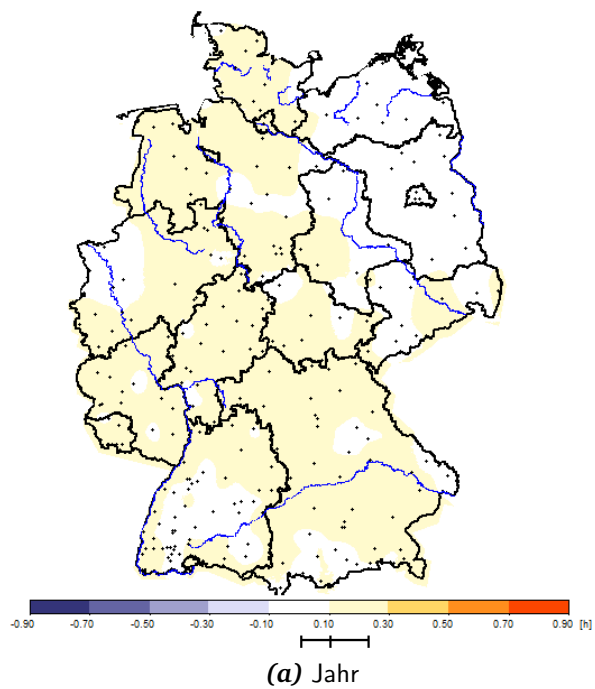
**Abbildung 4.3:** Vergleich der Simulation (WETTREG, angetrieben mit dem 20C-Lauf von ECHAM5, über die zehn Simulationen gemittelt) mit den Beobachtungsdaten der Jetztzeit. Element: Luftdruck. Periode: 1971–2000.



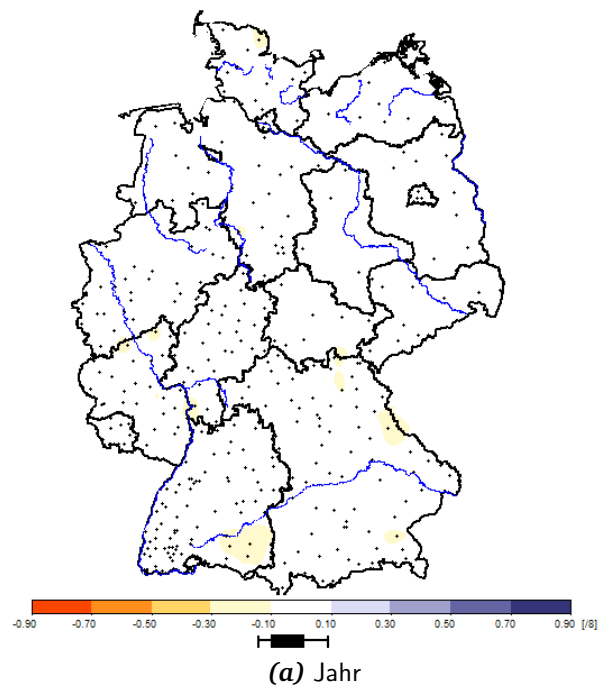
**Abbildung 4.4:** Vergleich der Simulation (WETTREG, angetrieben mit dem 20C-Lauf von ECHAM5, über die zehn Simulationen gemittelt) mit den Beobachtungsdaten der Jetztzeit. Element: relative Feuchte. Periode: 1971–2000.



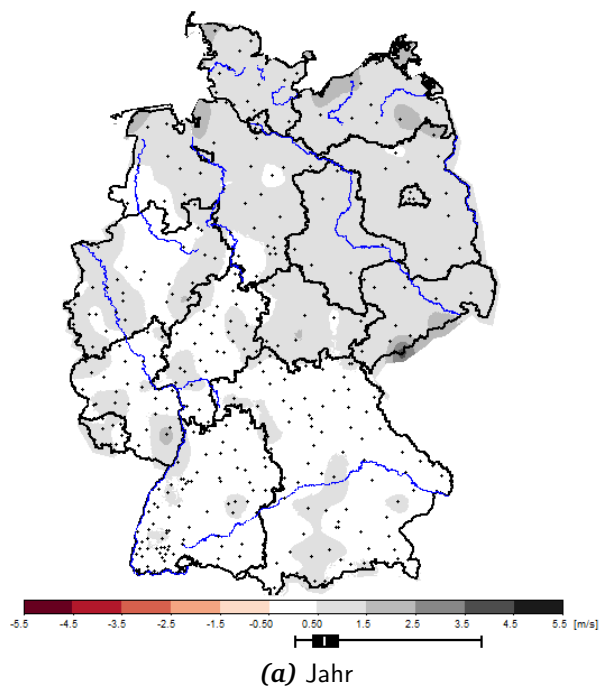
**Abbildung 4.5:** Vergleich der Simulation (WETTREG, angetrieben mit dem 20C-Lauf von ECHAM5, über die zehn Simulationen gemittelt) mit den Beobachtungsdaten der Jetztzeit. Element: Dampfdruck. Periode: 1971–2000.



**Abbildung 4.6:** Vergleich der Simulation (WETTREG, angetrieben mit dem 20C-Lauf von ECHAM5, über die zehn Simulationen gemittelt) mit den Beobachtungsdaten der Jetztzeit. Element: Sonnenscheindauer. Periode: 1971–2000.



**Abbildung 4.7:** Vergleich der Simulation (WETTREG, angetrieben mit dem 20C-Lauf von ECHAM5, über die zehn Simulationen gemittelt) mit den Beobachtungsdaten der Jetztzeit. Element: . Periode: 1971–2000.



**Abbildung 4.8:** Vergleich der Simulation (WETTREG, angetrieben mit dem 20C-Lauf von ECHAM5, über die zehn Simulationen gemittelt) mit den Beobachtungsdaten der Jetztzeit. Element: Windgeschwindigkeit. Periode: 1971–2000.

## 5 Klimasignale

Wie die Validierung im vorigen Abschnitt zeigt, sind WETTREG-Simulationen in der Lage, die Klimamessungen des Zeitraums 1971–2000 gut zu reproduzieren. Im nächsten Schritt erfolgt ein Vergleich zwischen den Simulationen der Gegenwart und jenen der Zukunft. Für Letztere wurde WETTREG in [KREIENKAMP et al. \(2010a\)](#) mit Daten des SRES A1B ECHAM5-Szenarios Lauf 1 angetrieben<sup>1)</sup>. In dieser Studie werden die SRES A2 und B1 ECHAM5-Szenarios mit WETTREG regionalisiert. Die untersuchte Größe ist dabei das Element-spezifische Klimasignal, d.h. die Differenz zwischen den Zeitbereichen 2021 bis 2050 (Abschnitt 5.2) bzw. 2071 bis 2100 (Abschnitt 5.3) des Szenarios und dem Zeitbereich 1971 bis 2000 des 20C-Laufs.

### 5.1 Häufigkeit der Zirkulationsmuster

Mit den Resultaten dieser Studie sind Vergleiche dreier mit WETTREG regionalisierter ECHAM5-Szenarios möglich. Eine wichtige steuernde Eigenschaft ist die sich verändernde Häufigkeit der Zirkulationsmuster. Wie in Abschnitt 3.1 erwähnt, beschreibt ein Muster die Zirkulation, die an denjenigen Tagen auftrat, die durch eine bestimmte Abweichung vom mittleren Jahresgang einer Klimagröße charakterisiert sind. Für das Temperaturregime bedeutet dies, dass beispielsweise die Klasse 1 alle Tage mit besonders starken *negativen* Abweichungen umfasst und somit die atmosphärischen Verhältnisse an Tagen, die deutlich kälter als das mittlere Klima sind, darstellt. In aufsteigender Reihung folgen die weiteren Klassen, bis hin zur Klasse 12 mit sehr starken *positiven* Abweichungen vom Mittel.

Es ist ein Merkmal der Weiterentwicklung des WETTREG-Verfahrens zur Version WETTREG Version von 2010, dass das Temperaturregime *zunächst* in 10 Klassen eingeteilt wird, dann aber ein weiterer Schritt mit der Einführung der so genannten Transwetterlagen (Klassen 11 und 12) erfolgt – s.a. Abschnitt 3.2 und 6.2. Sie stellen extreme Ausprägungen der (in der Modellbildungsphase als wärmste Klasse ermittelten) Klasse 10 dar, die in der Zukunft immer häufiger werden. Wie Abb. 5.1–5.3 zeigen, sind die Transwetterlagen zumeist erst ab der Mitte des 21. Jahrhunderts mit Anteilen von 10% und mehr vertreten, insbesondere im Sommer und Herbst.

---

<sup>1)</sup>WETTREG erzeugt 10 Simulationen (s. Abschnitt 3.2), über die für die Analysen jeweils gemittelt wurde.

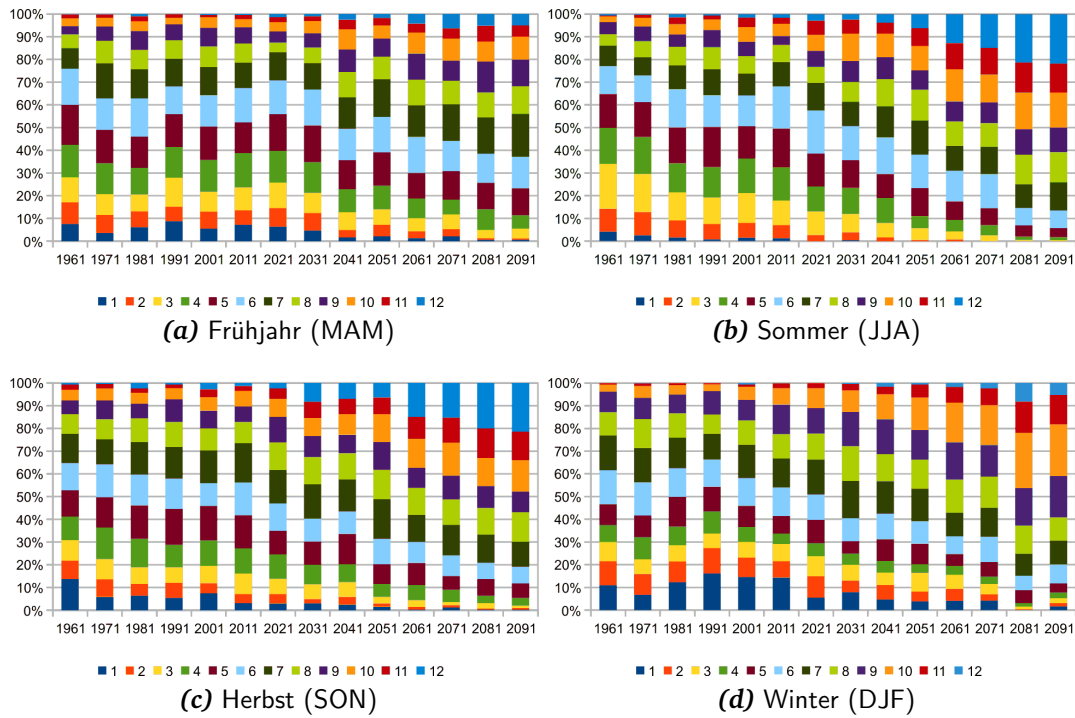


Abbildung 5.1: Entwicklung der Häufigkeit der 12 Temperatur-Zirkulationsmuster zwischen 1961 und 2100 für die einzelnen Jahreszeiten. 1961–2000: ECHAM5 20C-Daten. 2001–2100: ECHAM5 Szenario A1B.

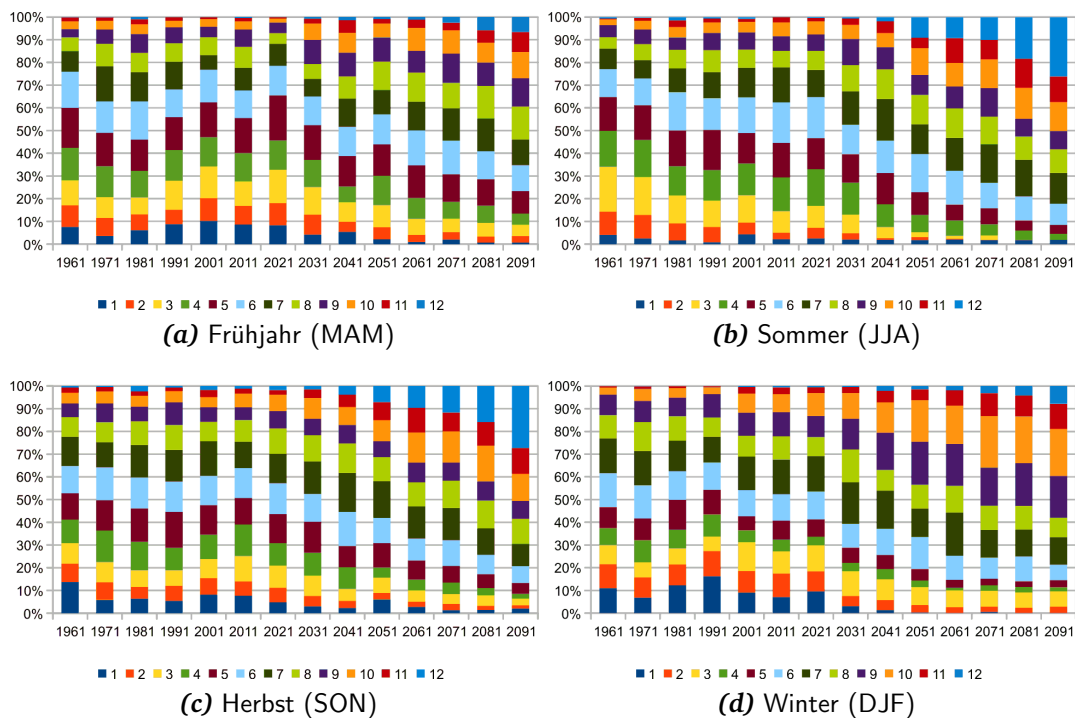


Abbildung 5.2: Wie Abb. 5.1, jedoch für das Szenario A2.

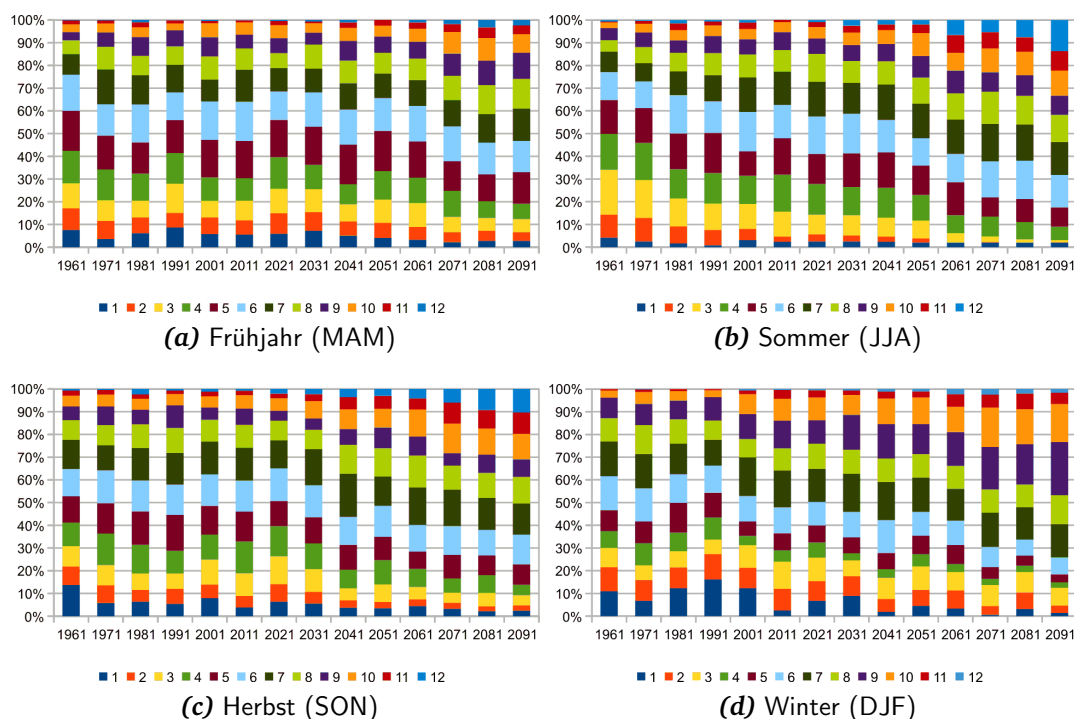


Abbildung 5.3: Wie Abb. 5.1, jedoch für das Szenario B1.

Aussagen zur Zu- und Abnahme der einzelnen Zirkulationsmuster werden durch die Ergebnisse in Tab. 5.1 unterstrichen. Ihr liegt die Bestimmung des linearen Trends über den Zeitraum 1961–2100 (1961–2000 aus den 20C-Daten und 2001–2100 aus dem jeweiligen Szenario) für jede Klasse und jede Jahreszeit zu Grunde. Danach wurden die Differenzen zwischen den Werten an den Zeitpunkten 2001 und 2100 gebildet und tabelliert. Besonders starke positive und negative Änderungen sind farblich hervorgehoben.

Es zeigt sich, dass die Veränderungen nicht nur, wie aus Abb. 5.1–5.3 ersehbar, das „Aussterben“ der kalten Klassen unterhalb der Nummer 6 und die Häufigkeitszunahme der warmen Klassen beinhalten. Es gibt bei diesem Prozess auch Szenario-Spezifika: A1B neigt zu einer relativ starken „Polarisierung“ mit sowohl deutlichen Ab- als auch Zunahmen<sup>2)</sup>; bei A2 ist dies ebenfalls gut erkennbar während B1 durch relativ geringe Änderungen charakterisiert ist. Die prägnantesten Veränderungen werden in allen drei Szenarios im Sommer modelliert.

**Anmerkung:** Die Muster werden jeder Jahreszeit separat bestimmt um das saisonal spezifische atmosphärische Regime gut abbilden zu können. Daher gibt es keine Klassifikation (und Abbildung der Häufigkeitsentwicklung) für das gesamte Jahr.

<sup>2)</sup>Exemplarisch sei hier das Verhalten im Sommer angeführt, wie es Abb. 5.1 (b) zeigt. Die mittelblau, rot und gelb eingefärbten Bänder für die Klassen 1 bis 3 mit der stärksten Abweichung nach der kalten Seite besitzen im 20C-Zeitraum einen gemeinsamen Anteil von rund 30% an allen Tagen. Dieser Anteil ist in den A1B-Szenariodaten am Ende des 21. Jahrhunderts auf nahezu Null zurück gegangen.



**Tabelle 5.1:** Veränderung des Anteils der 12 Temperaturklassen im Laufe des 21. Jahrhunderts nach Jahreszeit und Szenario. Abnahmwerte zwischen 5 und 9% sind **blau** gedruckt; Abnahmwerte  $\leq 10\%$  sind zusätzlich hellgrau unterlegt. Zunahmwerte zwischen 5 und 9% sind **rot** wiedergegeben; Zunahmwerte  $\geq 10\%$  sind zusätzliche mittelgrau unterlegt.

| Klasse | Szenario A1B |     |     |     | Szenario A2 |     |     |     | Szenario B1 |     |     |     |
|--------|--------------|-----|-----|-----|-------------|-----|-----|-----|-------------|-----|-----|-----|
|        | Fru          | Som | Her | Win | Fru         | Som | Her | Win | Fru         | Som | Her | Win |
| 1      | -5           | -2  | -7  | -10 | -5          | -2  | -7  | -10 | -4          | -2  | -6  | -7  |
| 2      | -5           | -8  | -5  | -6  | -6          | -7  | -4  | -6  | -3          | -7  | -4  | -4  |
| 3      | -5           | -12 | -6  | -3  | -4          | -12 | -6  | -3  | -3          | -10 | -5  | -2  |
| 4      | -5           | -11 | -7  | -5  | -5          | -12 | -7  | -5  | -3          | -7  | -6  | -4  |
| 5      | -3           | -9  | -6  | -4  | -4          | -9  | -5  | -4  | -2          | -5  | -3  | -3  |
| 6      | -1           | -3  | -3  | -6  | -1          | 0   | -4  | -3  | 0           | 2   | -3  | -4  |
| 7      | 4            | 2   | -1  | -3  | 2           | 2   | -1  | -1  | 2           | 3   | 2   | 0   |
| 8      | 2            | 4   | 2   | 3   | 6           | 5   | 2   | 1   | 4           | 5   | 2   | 1   |
| 9      | 6            | 5   | 2   | 5   | 4           | 2   | 2   | 9   | 2           | 2   | 1   | 8   |
| 10     | 5            | 9   | 8   | 15  | 5           | 9   | 6   | 13  | 3           | 7   | 6   | 8   |
| 11     | 3            | 9   | 8   | 9   | 4           | 9   | 7   | 6   | 3           | 6   | 6   | 4   |
| 12     | 4            | 15  | 14  | 4   | 4           | 15  | 18  | 4   | 2           | 7   | 9   | 1   |

### Vorbemerkungen zu den folgenden Abschnitten

Die Strukturierung erfolgt in Anlehnung an das Validierungskapitel 4. Die Auswertungen für Tagesmitteltemperatur und Niederschlag erfolgen für die Zeithorizonte 2021–2050 (S. 28ff) und 2071–2100 (S. 39ff) in jahreszeitlicher Differenzierung während für Luftdruck, relative Feuchte, Dampfdruck, Sonnenscheindauer, Bedeckungsgrad und Windgeschwindigkeit jeweils die Vergleiche für das gesamte Jahr dargestellt sind.

Zusätzlich erfolgt für den Zeithorizont 2071–2100 auf S. 51ff die Darstellung von Kenntagen (Eistage mit Temperaturmaximum unter 0°C, Frosttage mit Temperaturminimum unter 0°C, Sommertage mit Temperaturmaximum über 25°C, Heiße Tage mit Temperaturmaximum über 30°C und Tropennächte mit Temperaturminimum über 20°C).

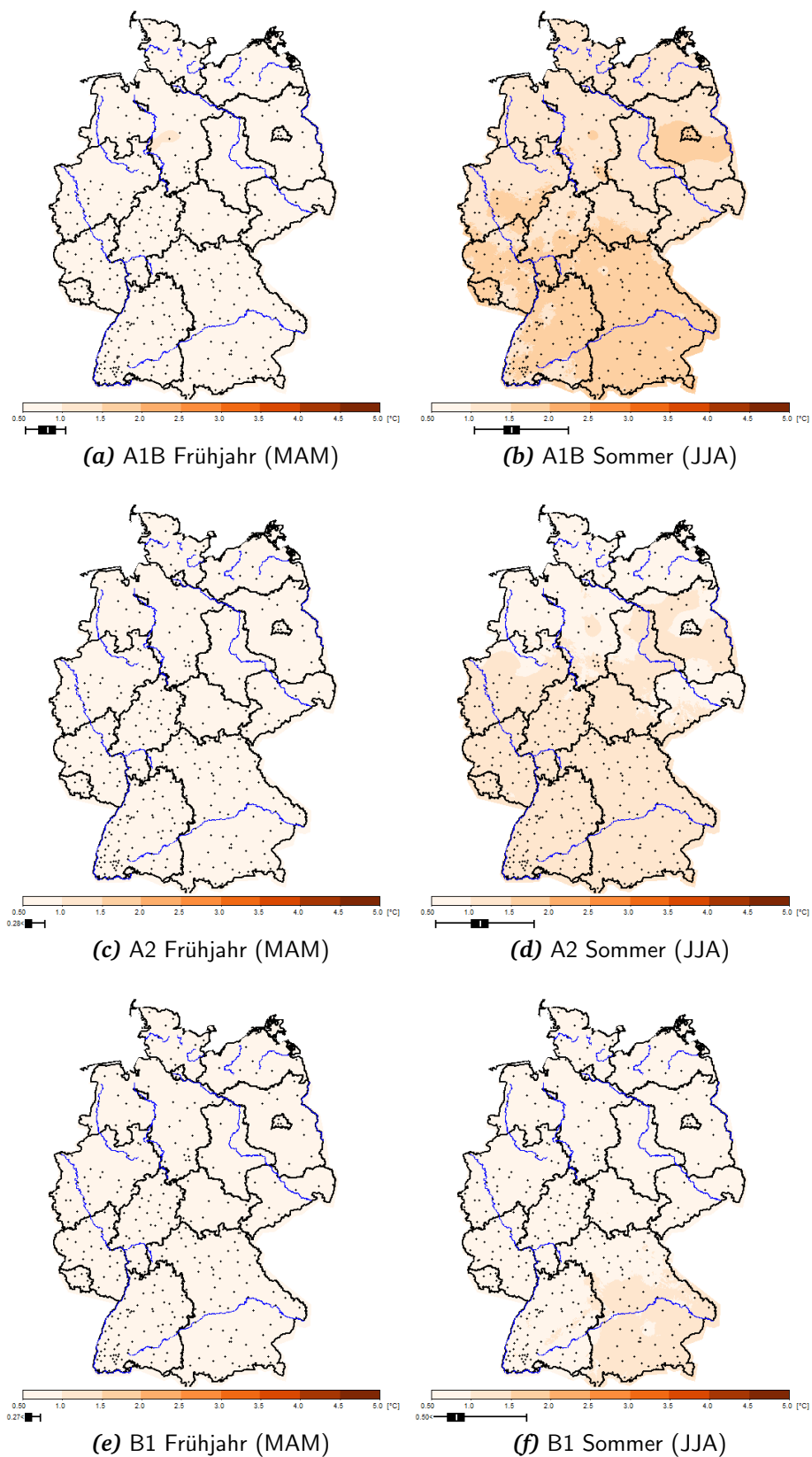
## 5.2 Vergleich der Ist-Zeitraum Simulationen mit der nahen Zukunft (2021 bis 2050)

### Temperatur

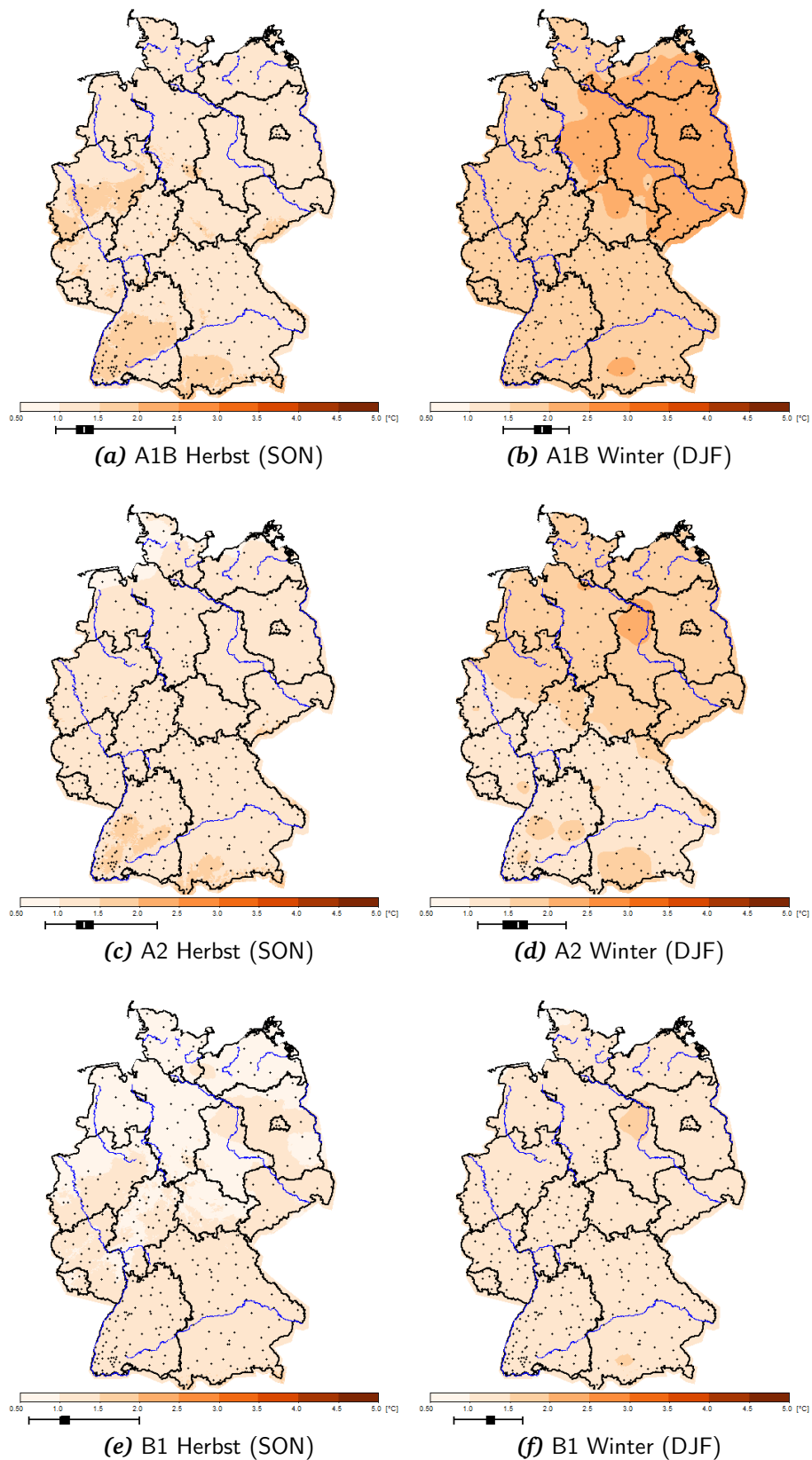
Im ersten Drittel des 21. Jahrhunderts werden von den WETTREG-Simulationen Temperaturanstiegssignale in einer Größenordnung um +1,5°C errechnet, wie in Abb. 5.4–5.6 erkennbar ist. Sie sind im Frühjahr geringer und Winter etwas stärker als dieses mittlere Niveau ausgeprägt. Die Box-Whisker-Diagramme der Werteverteilung in jeder Karte weisen beim Frühjahr darauf hin, dass dort in Teilbereichen sehr geringe Anstiegsraten unterhalb der dargestellten Werteuntergrenze von 0,5°C auftreten. Zudem zeigen diese Diagramme durch die geringe Breite des Kastens (der Interquartilbereich) an, dass die Wertebereiche im überwiegenden Teil der Karte nahe beieinander liegen und dass die Extreme einzelner Bildpunkte diese Werte durchaus deutlich übersteigen, können aber auch Ergebnisse der Interpolation der Stationsdaten in die Fläche sein.

### Niederschlag

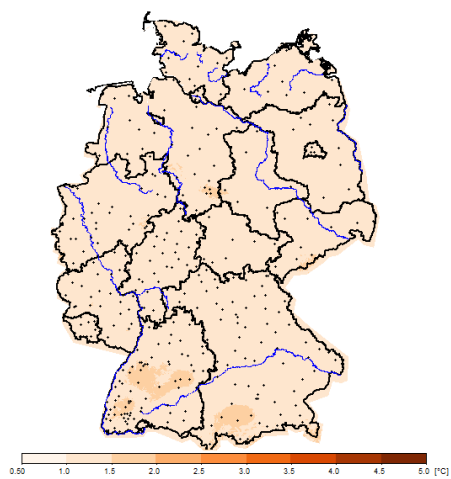
Wie Abb. 5.7–5.9 zeigen, liegen die Niederschlagssignale für den Zeithorizont der nahen Zukunft in einer Größenordnung von  $\pm 10\%$ , d.h. sie sind nur schwach signifikant, vgl. S. 17. In den Karten auftretende lokale Maxima und Minima sollten daher nicht überinterpretiert werden. Das Augenmerk sollte den „inneren 50%“ der Häufigkeitsverteilung gelten, also dem durch einen schwarzen Kasten unterhalb der Legende in jedem Diagramm angezeigte Wertebereich.



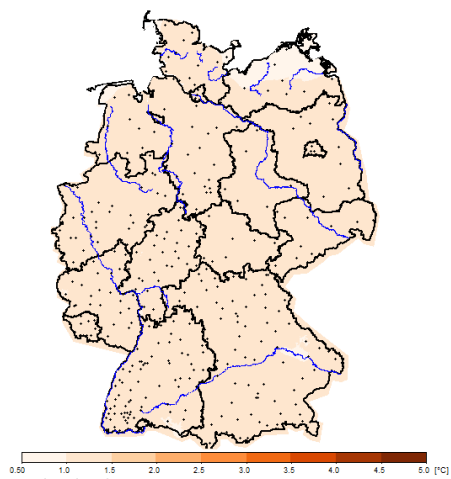
**Abbildung 5.4:** Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Frühjahr und im Sommer. Element: Tagesmitteltemperatur. Periode: 2021 bis 2050 minus 1971 bis 2000.



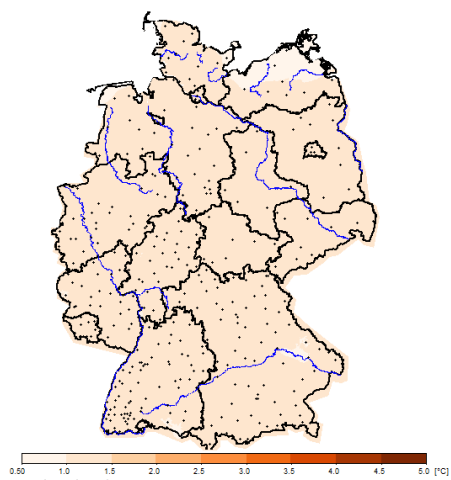
**Abbildung 5.5:** Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Herbst und im Winter. Element: Tagesmitteltemperatur. Periode: 2021 bis 2050 minus 1971 bis 2000.



(a) A1B Jahr

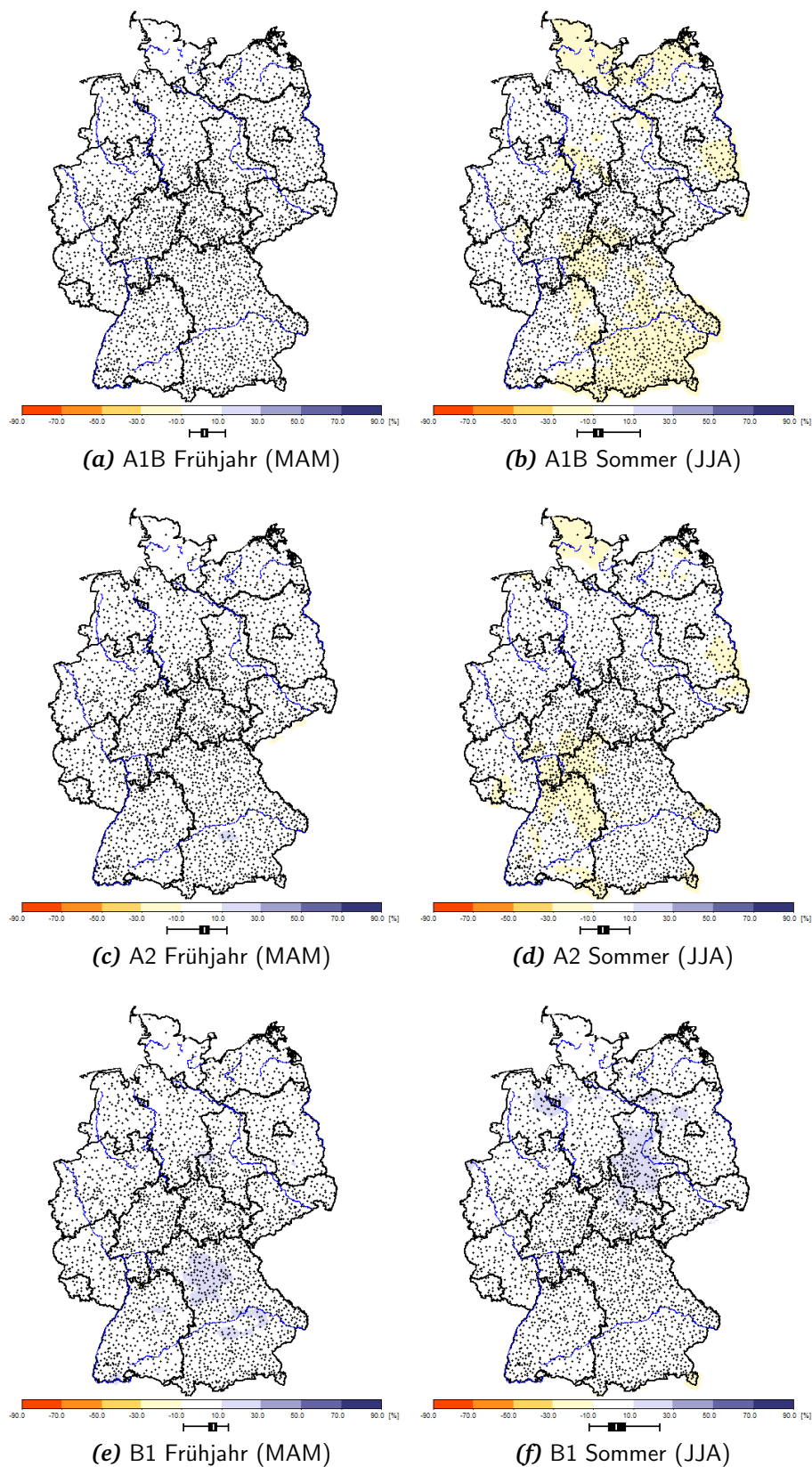


(b) A2 Jahr



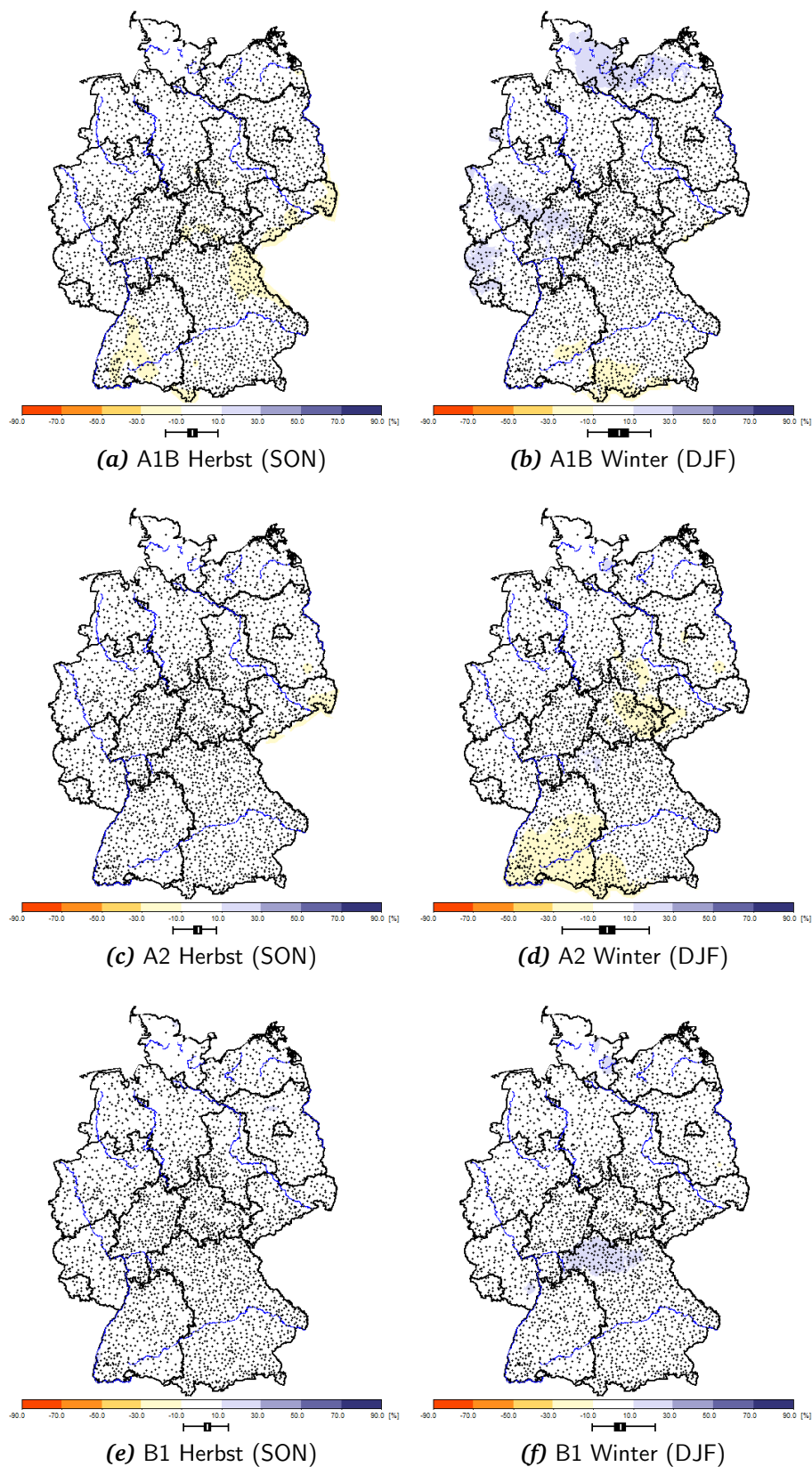
(c) B1 Jahr

**Abbildung 5.6:** Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Jahr. Element: Tagesmitteltemperatur. Periode: 2021 bis 2050 minus 1971 bis 2000.

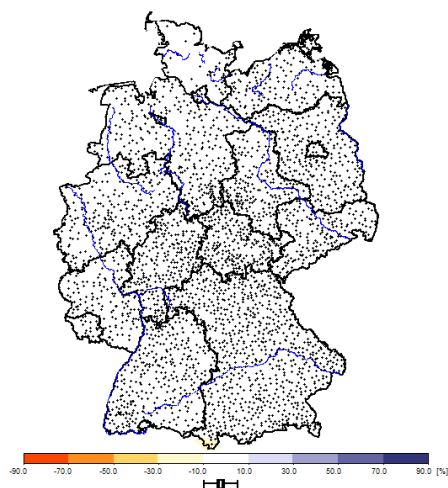


**Abbildung 5.7:** Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Frühjahr und im Sommer. Element: Niederschlag (prozentuale Änderung). Periode: 2021 bis 2050 minus 1971 bis 2000.

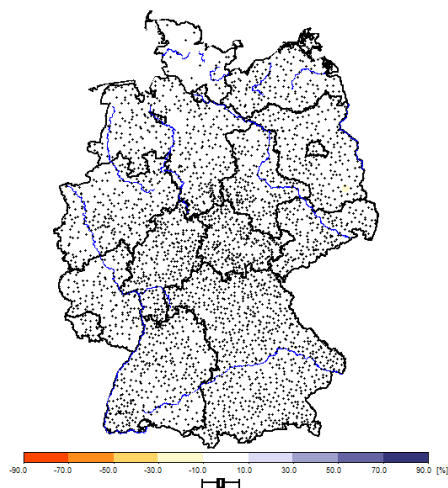




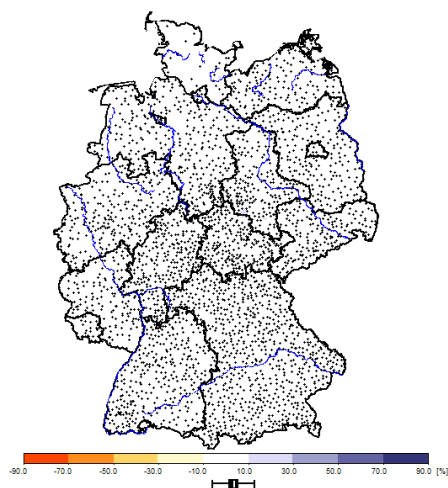
**Abbildung 5.8:** Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Herbst und im Winter. Element: Niederschlag (prozentuale Änderung). Periode: 2021 bis 2050 minus 1971 bis 2000.



(a) A1B Jahr



(b) A2 Jahr



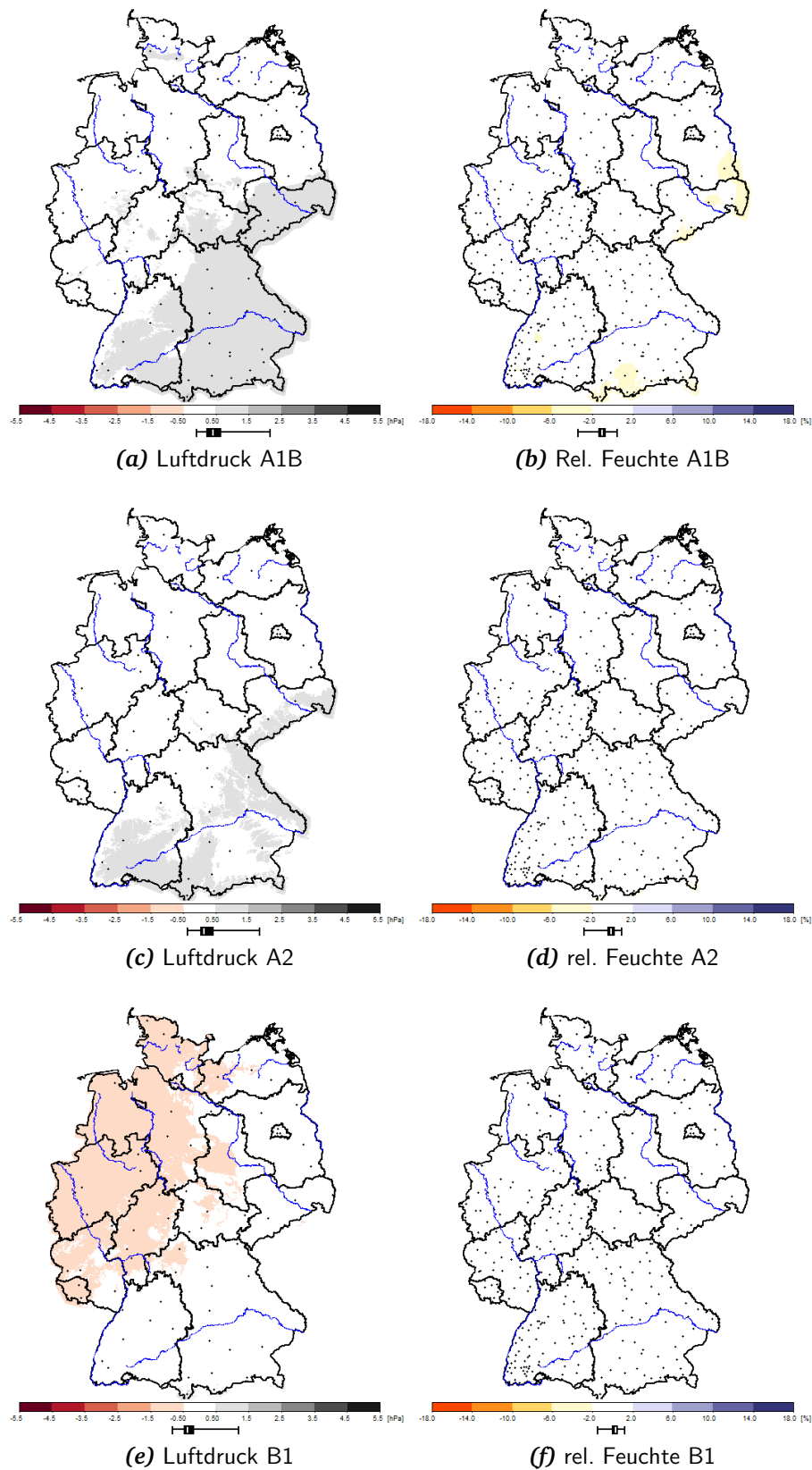
(c) B1 Jahr

**Abbildung 5.9:** Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Jahr. Element: Niederschlag (prozentuale Änderung). Periode: 2021 bis 2050 minus 1971 bis 2000.

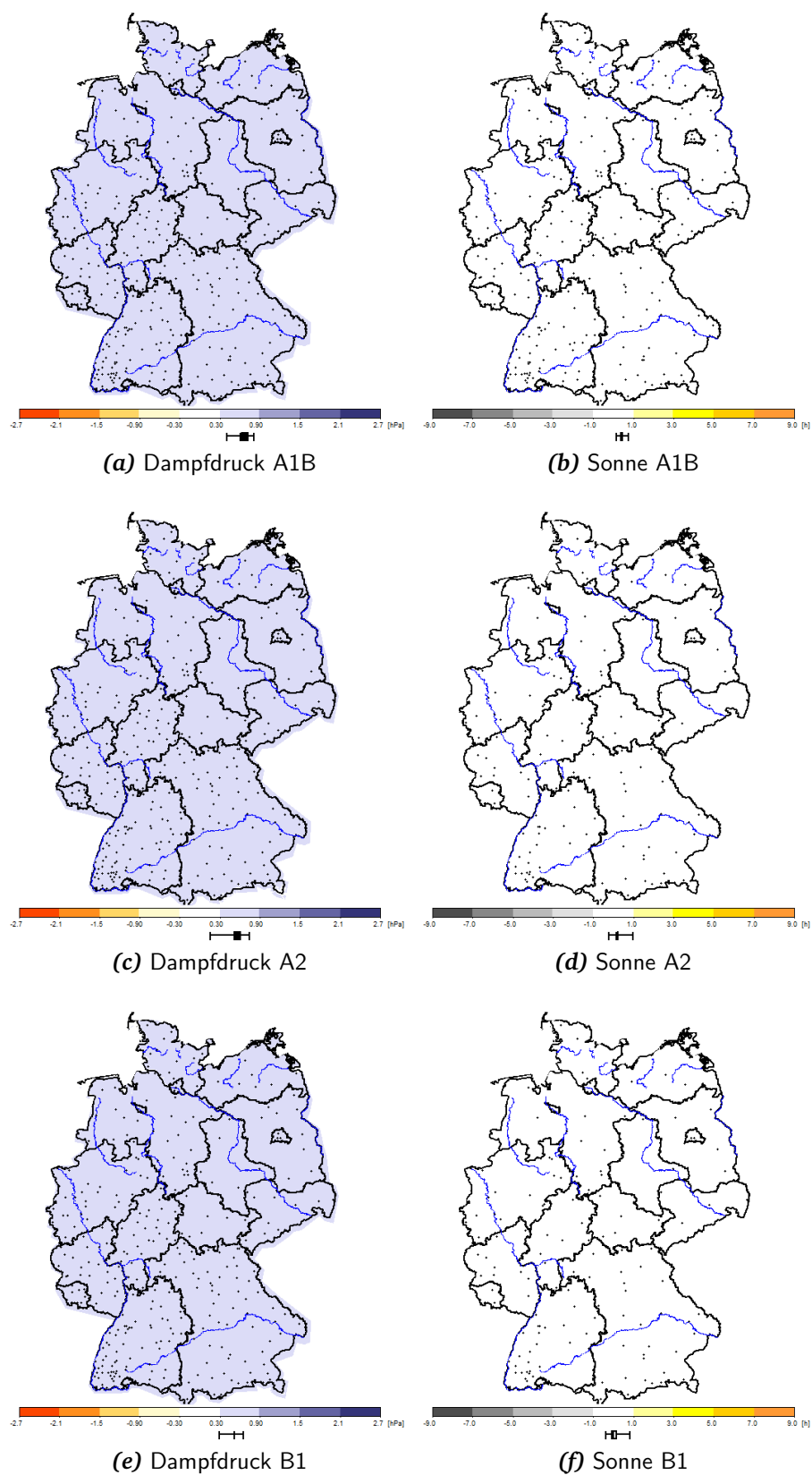


### Luftdruck und andere Klimaelemente

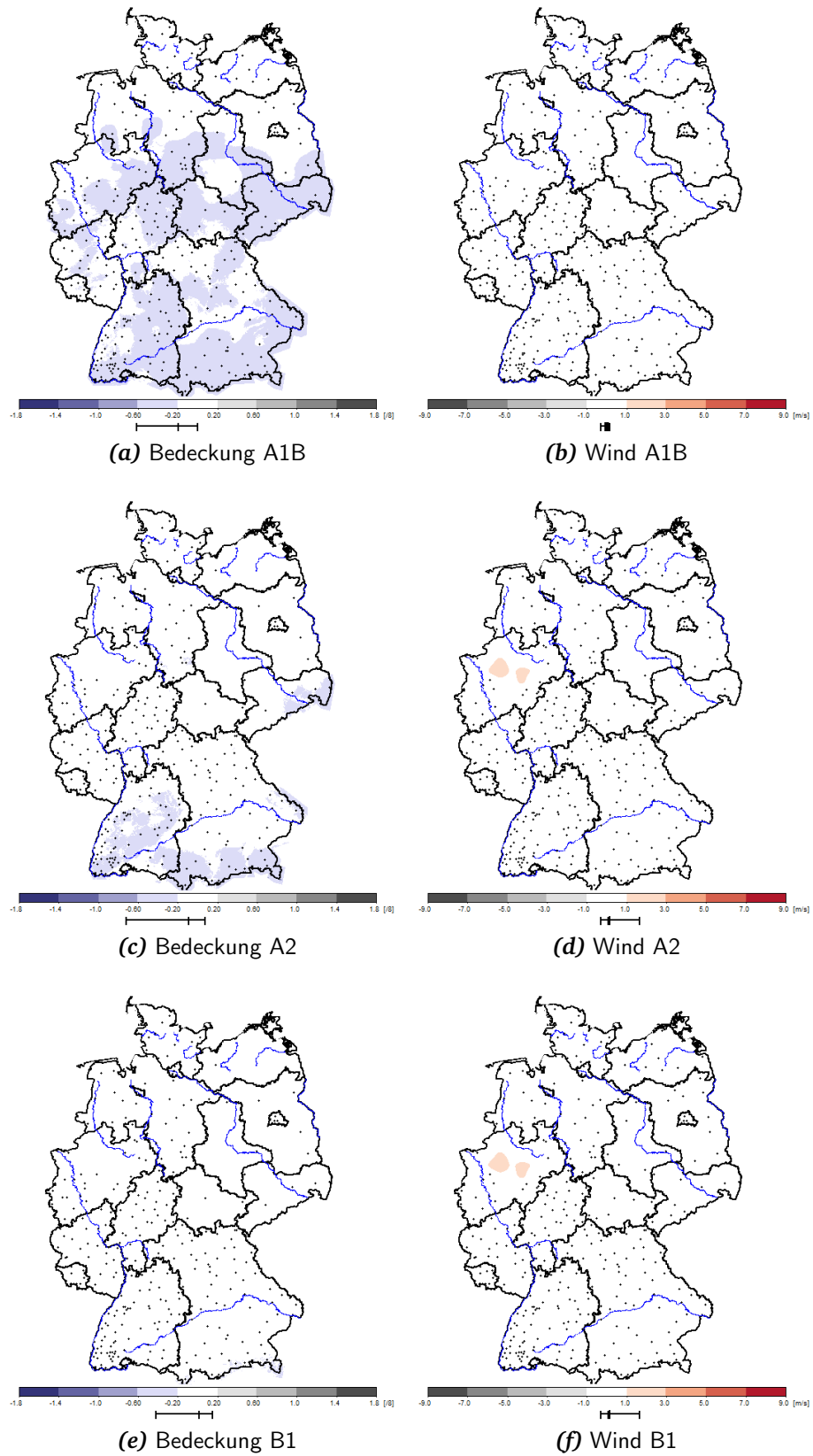
Wie in Abb. 5.10–5.12 zeigen, sind die Klimasignale der einzelnen Größen zum Zeithorizont nicht stark. Weder treten große regionale Unterschiede auf noch ändert sich bis 2021–2050 das Niveau stark. Lediglich bei Dampfdruck (linke Teilfiguren von Abb. 5.11) sind leichte systematische Änderungen zu höheren Werten erkennbar.



**Abbildung 5.10:** Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Jahr. Elemente: Luftdruck und relative Feuchte. Periode: 2021 bis 2050 minus 1971 bis 2000.



**Abbildung 5.11:** Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Jahr. Elemente: Dampfdruck und Sonnenscheindauer. Periode: 2021 bis 2050 minus 1971 bis 2000.



**Abbildung 5.12:** Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Jahr. Elemente: Bedeckungsgrad und Windgeschwindigkeit. Periode: 2021 bis 2050 minus 1971 bis 2000.

## 5.3 Vergleich der Ist-Zeitraum Simulationen mit der fernen Zukunft (2071 bis 2100)

### Temperatur

Die Temperatursignale zum Zeithorizont 2071 bis 2100 sind, wie Abb. 5.13–5.15 darstellen, bei einem mittleren Anstiegsniveau von rund  $+3,5^{\circ}\text{C}$ . Die jahreszeitliche Differenzierung ist stark, denn im Frühjahr und Herbst wird ein Temperaturanstieg zwischen  $2,5$  und  $3,0^{\circ}\text{C}$  simuliert, während es im Sommer und Winter rund  $4,0$  bis  $4,5^{\circ}\text{C}$  sind. Dabei besteht im Jahressignal (Abb. 5.15) die insbesondere in den Szenarios A1B und A2 auffällige Neigung zu relativ geringen Anstiegsraten direkt an der Küste und einer stärkeren Temperaturzunahme im Westen und Süden Deutschlands.

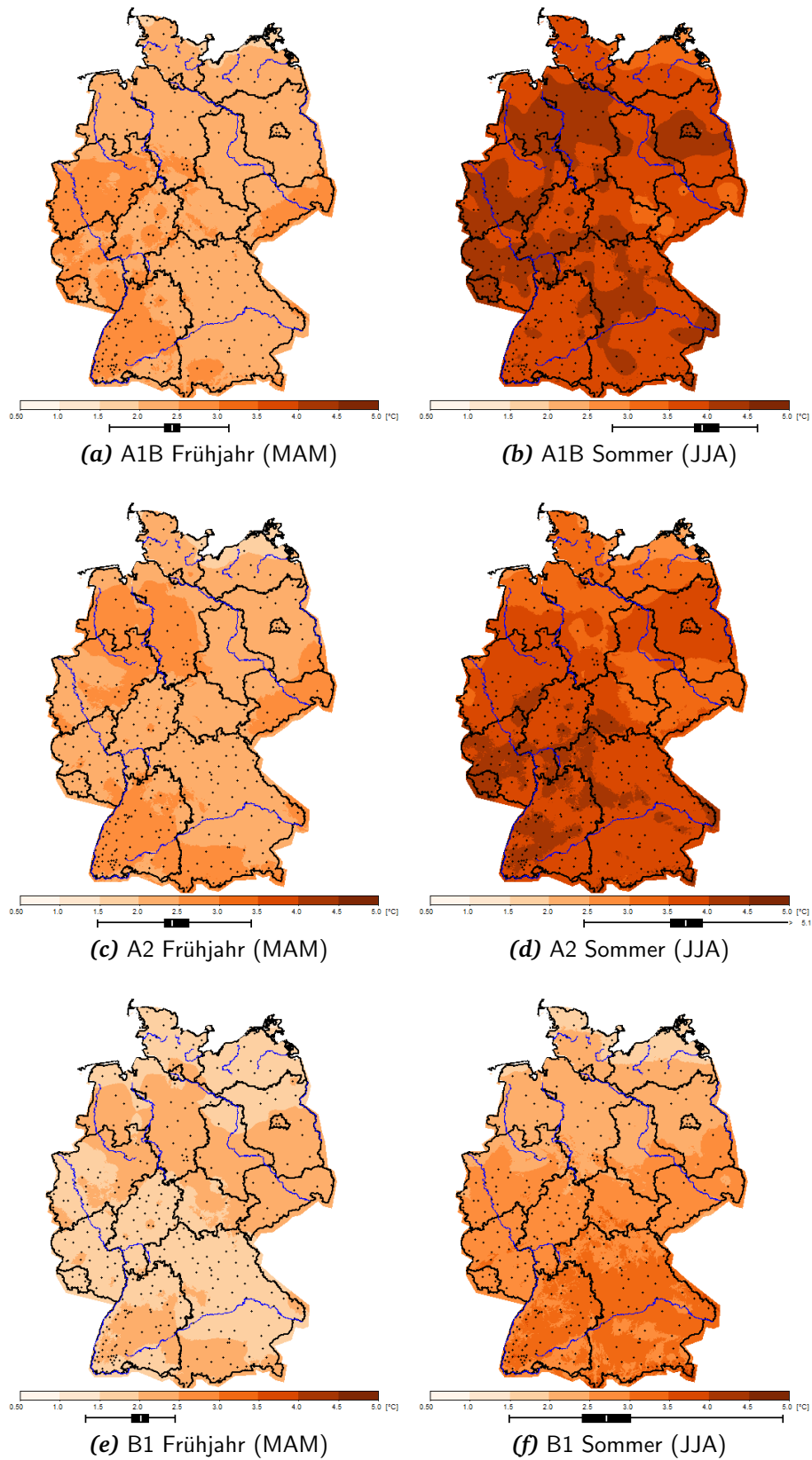
In der Zusammenschau sind die räumlichen Muster bezüglich des geringer ausgeprägten Signals im Küstenbereich jahreszeitlich konsistent. Frühjahr und insbesondere Herbst sind durch relativ hohe Signalniveaus im Westen und Süden Deutschlands charakterisiert, während im Winter das deutlichste Temperaturanstiegssignal im Osten zu verzeichnen ist.

Im Vergleich zum Zeithorizont 2021 bis 2050 fällt zudem auf, dass die räumliche Differenzierung der Temperatursignalstärke größer wird, was sich in der Breite der Box-Whisker-Diagramme widerspiegelt.

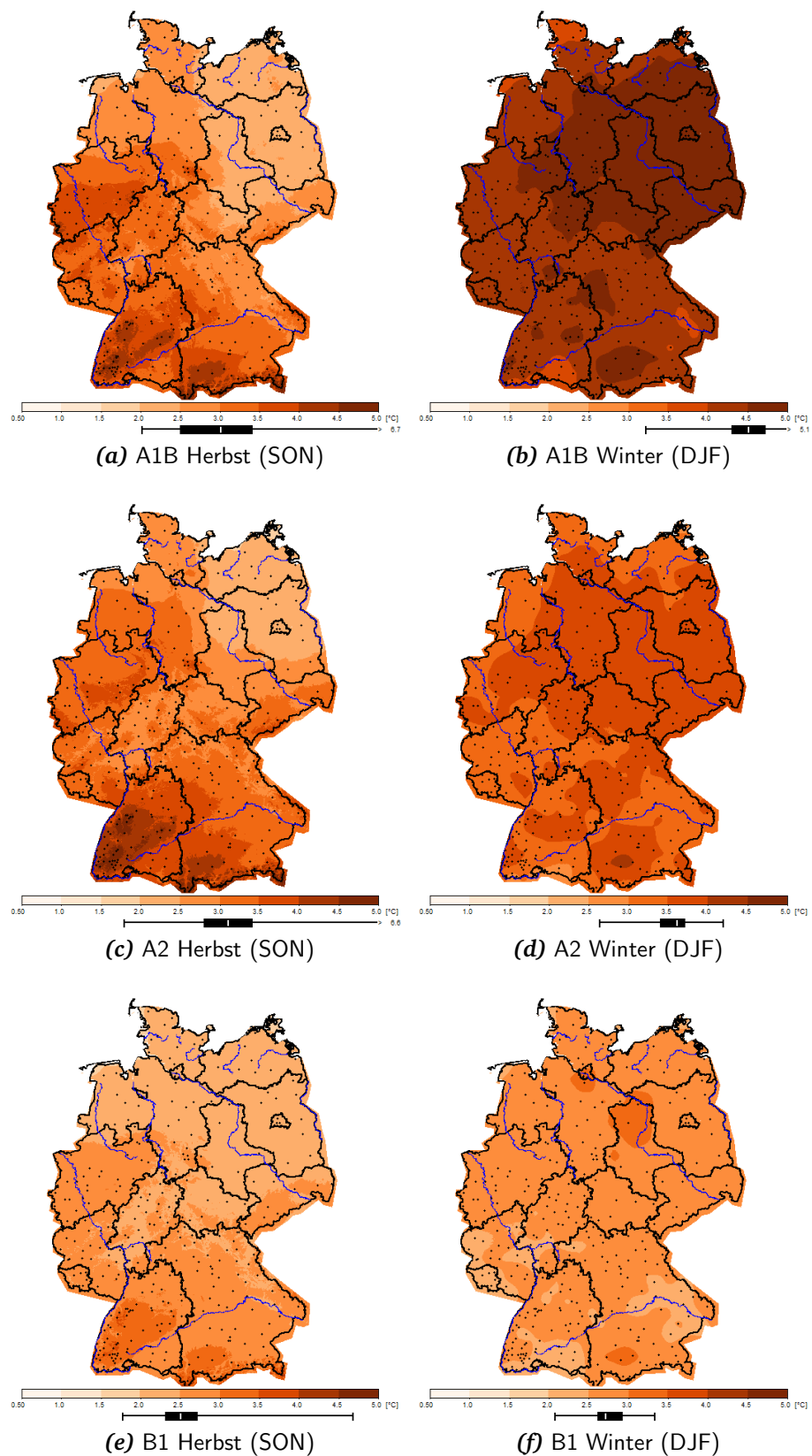
### Niederschlag

Insgesamt sind die Niederschlagssignale auch für den langen Zeithorizont als schwach zu bezeichnen – die Lage und Größe des schwarzen Kästchens, Teil des Box-Whisker-Diagramms unter jeder Legende, zeigt dies an (vgl. S. 27). Für den Jahresniederschlag (Abb. 5.18, Seite 44) ist das Änderungsniveau ganz überwiegend im Bereich von  $\pm 10\%$  oder geringer – vereinzelt, wie bei A1B und A2 im Süden und Südwesten Deutschland wird eine Größenordnung von  $-20\%$  erreicht. Die Jahreszeiten weisen einige, wenn auch schwach ausgeprägte Besonderheiten auf:

- Das Bild ist in jeder Jahreszeit uneinheitlich, d.h. es treten regional sowohl Zunahmen als auch Abnahmen auf.
- Im Sommer (Abb. 5.16) herrscht eine Neigung zu Niederschlagsrückgang vor, insbesondere in den Küstenbereichen, wiewohl auch in dieser Jahreszeit in einigen Regionen eine schwache Zunahme simuliert wird.
- Im Winter (Abb. 5.17) treten die Mittelgebirgsregionen von Rheinland-Pfalz, Hessen, Thüringen und Nordbayern sowie der Norden mit Niederschlagszunahmen bis  $40\%$  hervor, während es im Voralpenland und der Erzgebirgsregion in den Simulationen einen leichten Rückgang gibt.
- Die Übergangsjahreszeiten besitzen nur geringe Niederschlagssignale – konsistente Zu- oder Abnahmen sind nur in wenigen Regionen erkennbar.



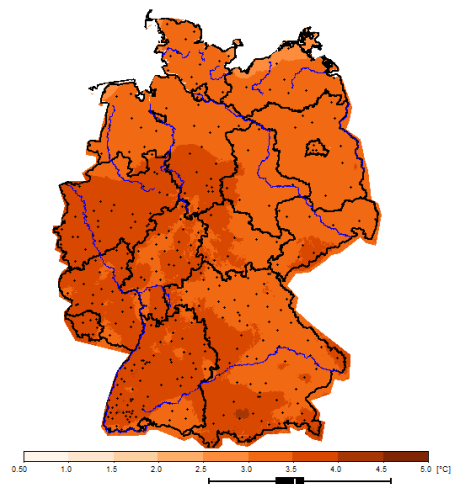
**Abbildung 5.13:** Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Frühjahr und im Sommer. Element: Tagesmitteltemperatur. Periode: 2071 bis 2100 minus 1971 bis 2000.



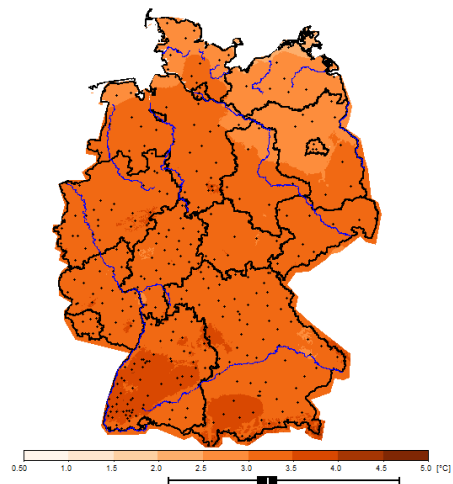
**Abbildung 5.14:** Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Herbst und im Winter. Element: Tagesmitteltemperatur. Periode: 2071 bis 2100 minus 1971 bis 2000.



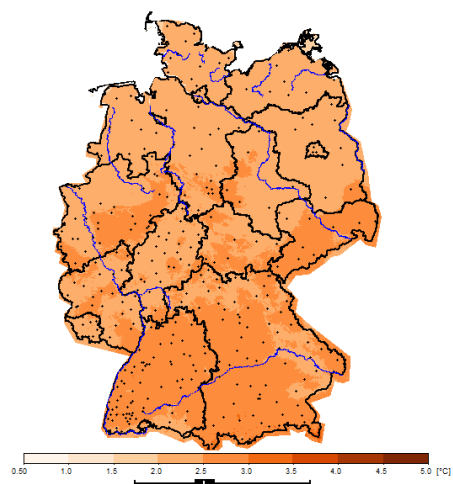
### 5.3 Vergleich mit ferner Zukunft (2071–2100)



(a) A1B Jahr



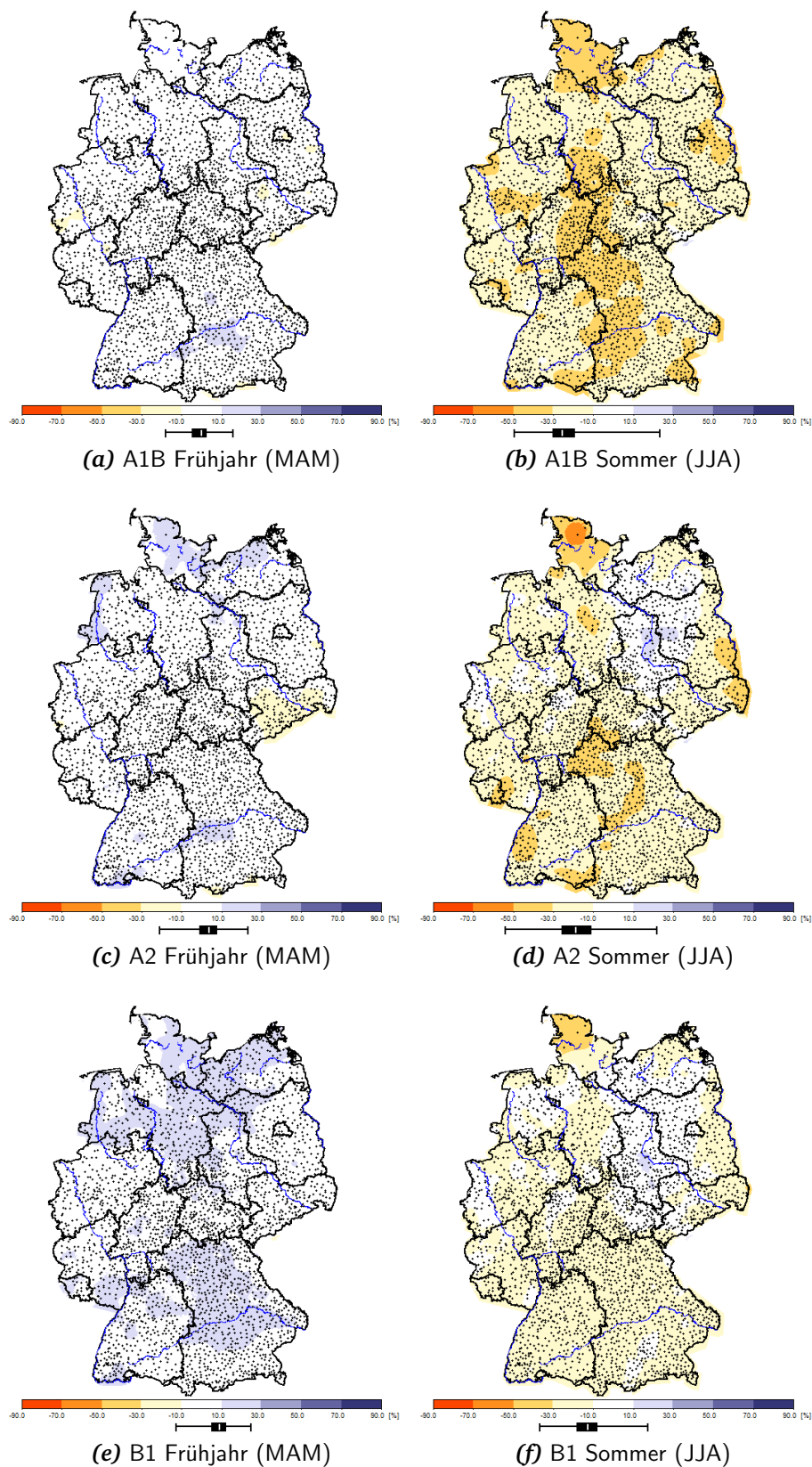
(b) A2 Jahr



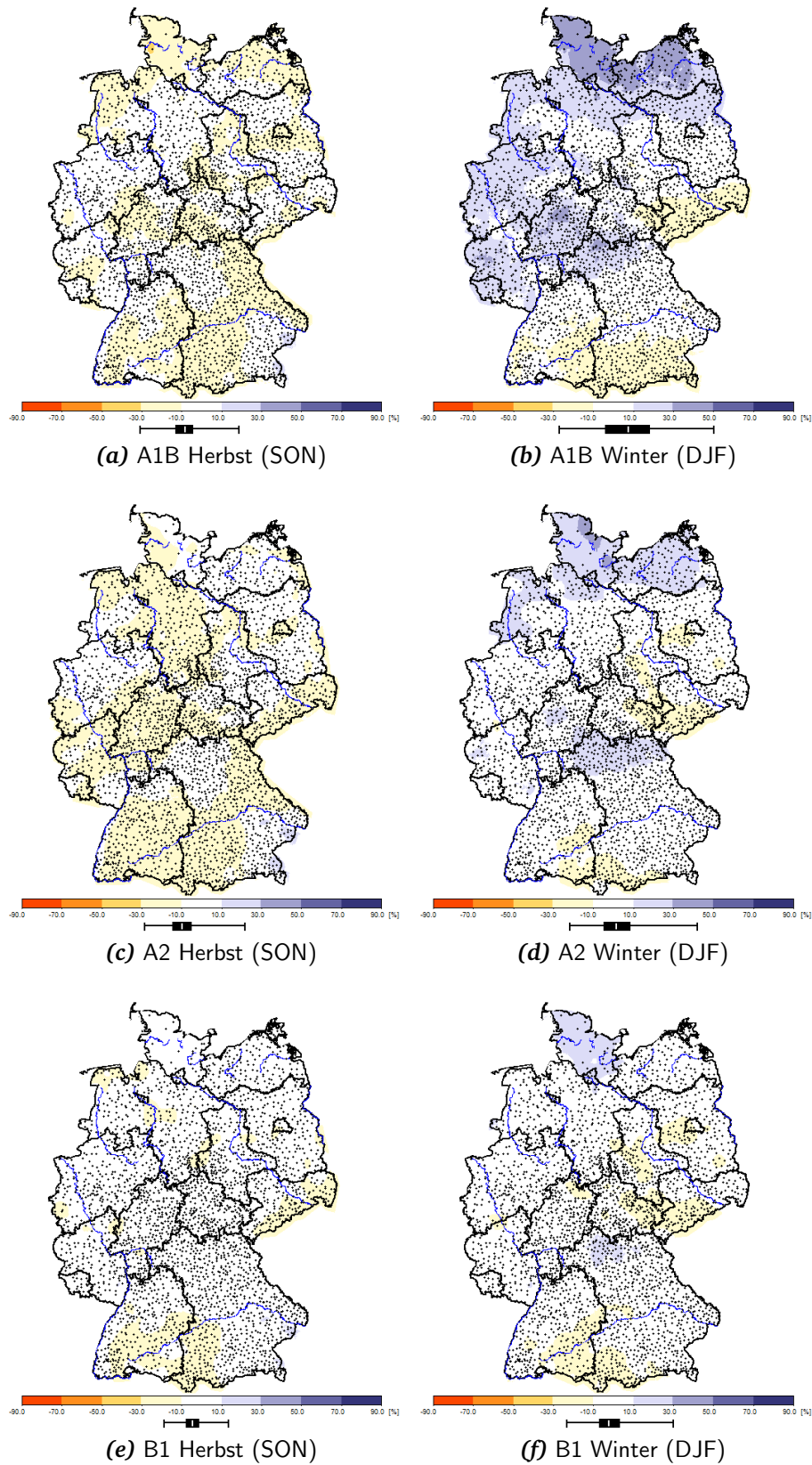
(c) B1 Jahr

**Abbildung 5.15:** Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Jahr. Element: Tagesmitteltemperatur. Periode: 2071 bis 2100 minus 1971 bis 2000.

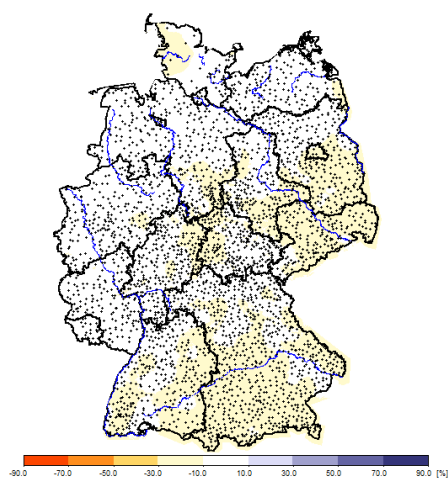




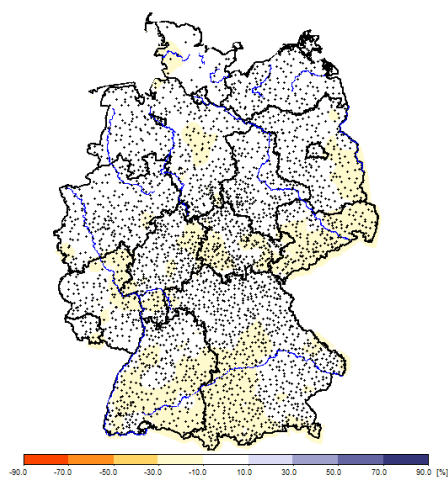
**Abbildung 5.16:** Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Frühjahr und im Sommer. Element: Niederschlag (prozentuale Änderung). Periode: 2071 bis 2100 minus 1971 bis 2000.



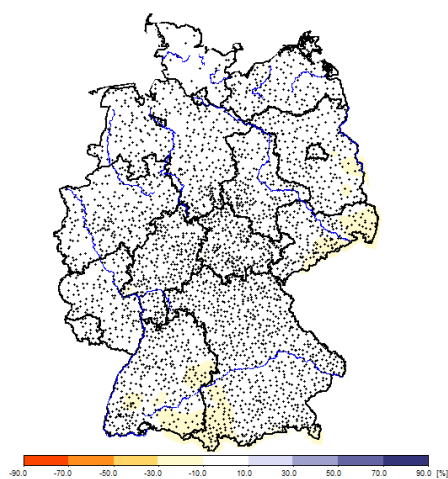
**Abbildung 5.17:** Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten -Szenarios A1B, A2 und B1 im Herbst und im Winter. Element: Niederschlag (prozentuale Änderung). Periode: 2071 bis 2100 minus 1971 bis 2000.



(a) A1B Jahr



(b) A2 Jahr



(c) B1 Jahr

**Abbildung 5.18:** Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Jahr. Element: Niederschlag (prozentuale Änderung). Periode: 2071 bis 2100 minus 1971 bis 2000.

*Anmerkung zum Niederschlagssignal im Herbst:* In allen anderen Jahreszeiten führen die Regionalisierungen des Niederschlags mit statistischen und dynamischen Verfahren im Untersuchungsgebiet zu Signalstärken geringer als  $\pm 10\%$  oder die Signale sind gleichsinnig, d.h. beide Typen von Regionalisierungen errechnen Signale mit dem gleich Vorzeichen. Wie in [KREIENKAMP et al. \(2011\)](#) dargestellt, gibt es eine Auffälligkeit im Herbst, da die dynamischen Regionalisierung in dieser Jahreszeit für die Vergleiche 2071–2100 minus 1971–2000 Änderungen von z.T. +15% errechnen, während mit WETTREG Änderungen von –10 bis –20% bestimmt werden. Weitere Untersuchungen dazu stehen noch aus.

#### Luftdruck und andere Klimaelemente

Den Änderungssignalen der Klimaelemente Luftdruck, relative Feuchte, Dampfdruck, Sonnenscheindauer, Bewölkung und Windgeschwindigkeit (Abb. [5.19–5.21](#)) ist gemeinsam, dass Tendenzen, die zum Zeithorizont 2021 bis 2050 erkennbar wurden, sich zum Zeithorizont 2071 bis 2100 fortsetzen und verstärken. Bei Luftdruck, relativer Feuchte und Bewölkung bleiben die Entwicklungen jedoch schwach – systematische erkennbare Zunahmen erfolgen bei Dampfdruck und Sonnenscheindauer. Bei der Windgeschwindigkeit sind keine Tendenzen erkennbar.

#### Thermische Kenngrößen – allgemeine Hinweise

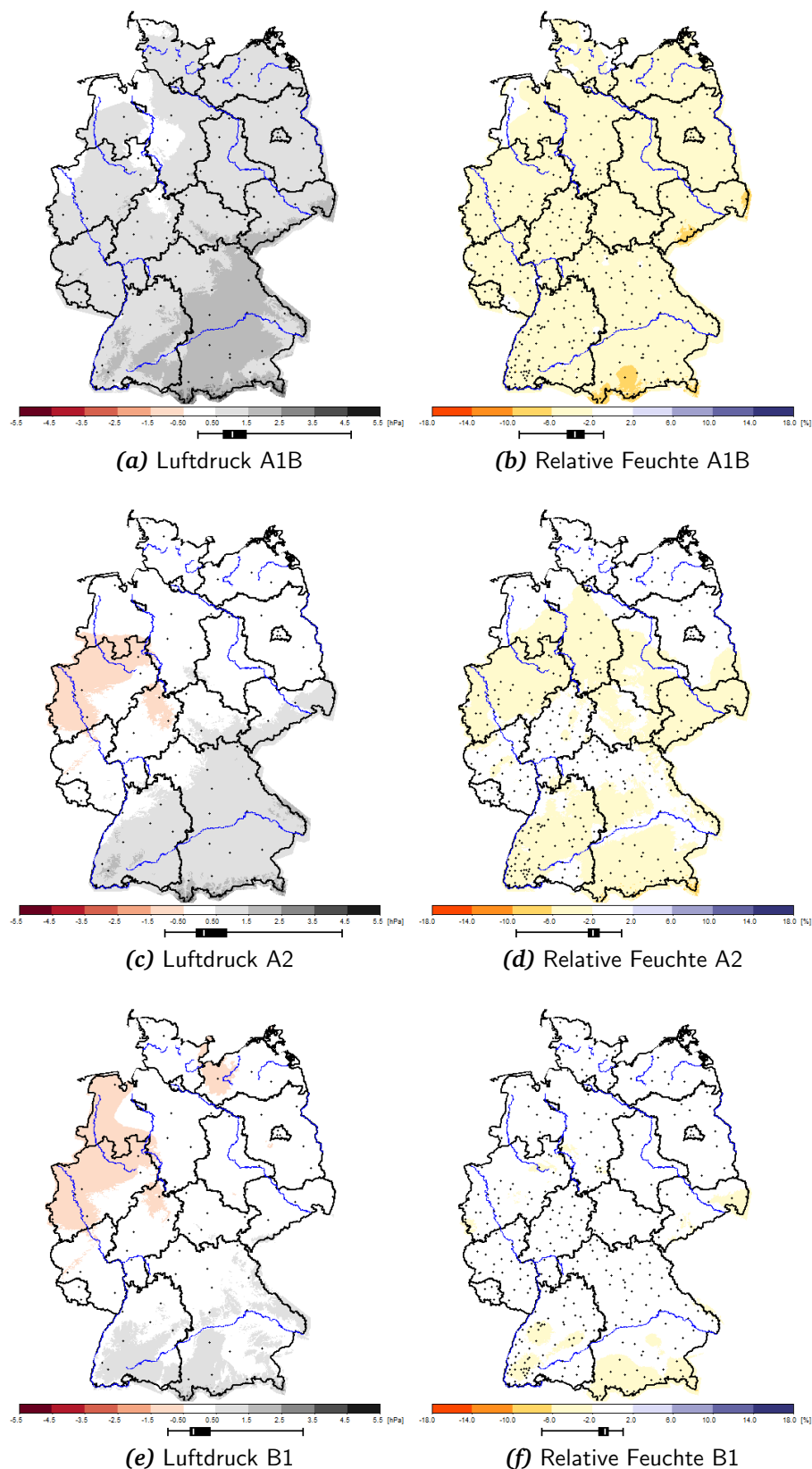
Bei der Abschätzung von Klimaimpakten aber auch bei der Kommunikation von Klimaänderungen sind Kenntage besonders wichtige und anschauliche Indikatoren für den Klimawandel. Diese sind auf den Seite [50–54](#) (Abb. [5.22–5.26](#)) dargestellt.

Als Basis wird in Abb. [5.22](#) und [5.24](#) gezeigt, welche Wertenniveaus bei einem Kälteindikator (Zahl der Eistage) sowie zwei Wärmeindikatoren (Sommertage und Heiße Tage) von der WETTREG-Regionalisierung der ECHAM5-Daten erreicht werden und wie diese in Deutschland verteilt sind.

#### Thermische Kenngrößen – Wertebereich von Kälteindikatoren

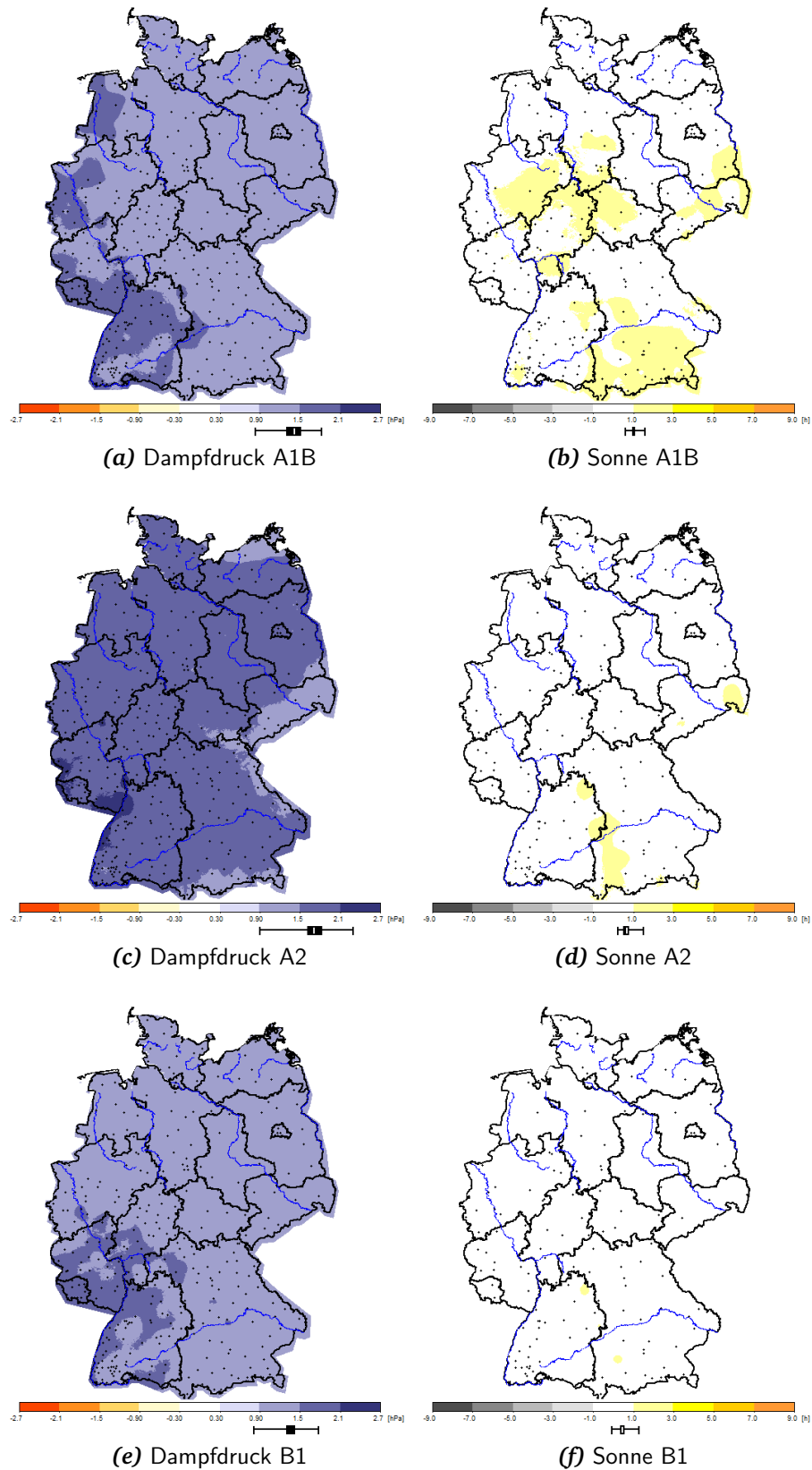
Das Wertenniveau der Eistage (Abb. [5.22](#), Seite [50](#)) wird für die Gegenwart (1971–2000, 20C Daten, Teilfiguren (a) und (c)] in einer sehr hohen Wertespanne simuliert: Im Nordseeküstenbereich, dem westlichen Niedersachsen, den niedrig gelegenen Landesteilen von Nordrhein-Westfalen sowie entlang des Rheins sind dies rund 10 Tage pro Jahr, während in den hochalpinen Lagen bis zu 130 Tage mit einem Maximum unter 0°C auftreten. Für das als Beispiel aufgeführte mit WETTREG regionalisierte ECHAM5-Szenario A1B halbiert sich dieser Wert in etwa bis zur Periode 2071–2100.

(Fortsetzung auf Seite [49](#))

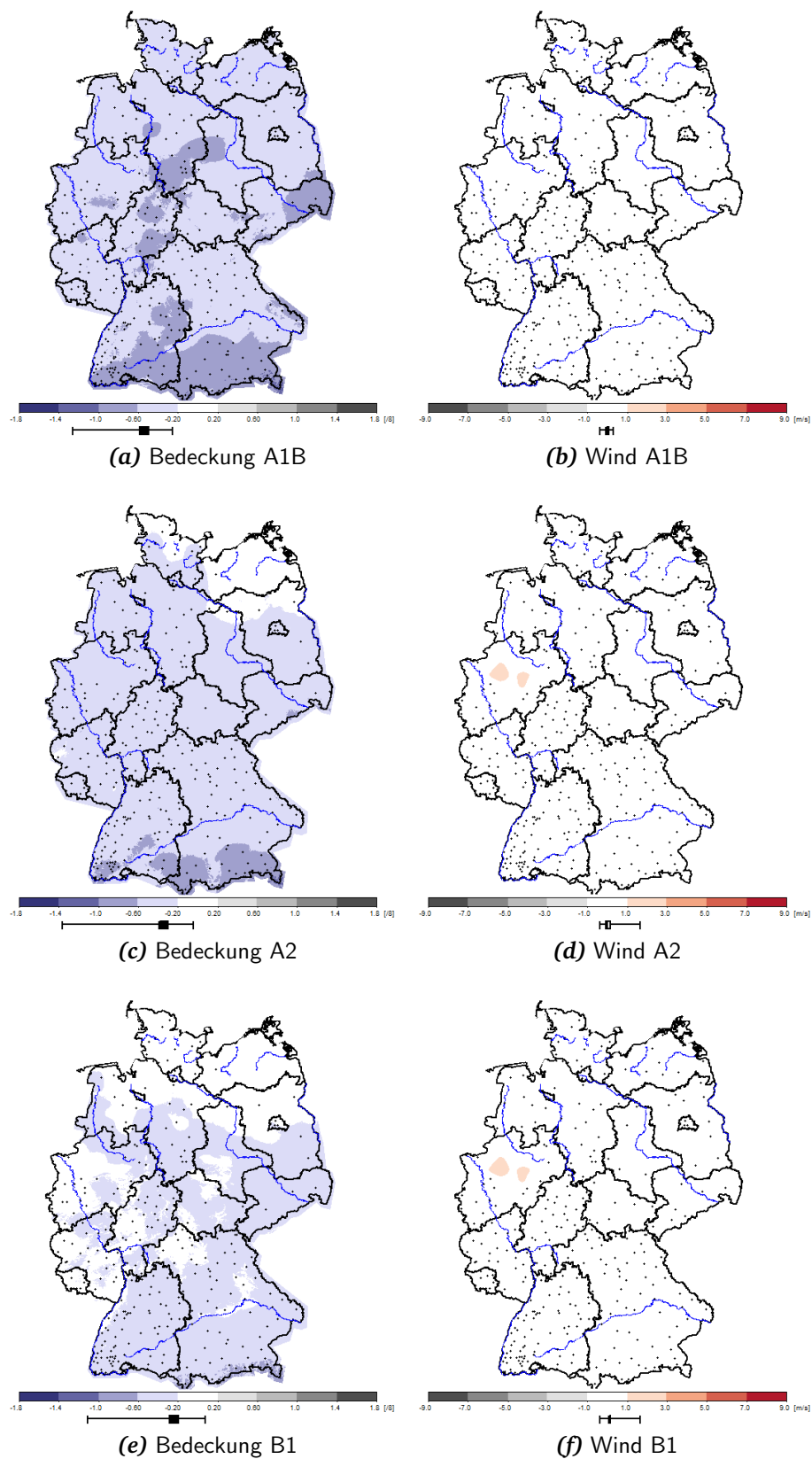


**Abbildung 5.19:** Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Jahr. Elemente: Luftdruck und relative Feuchte. Periode: 2071 bis 2100 minus 1971 bis 2000.





**Abbildung 5.20:** Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Jahr. Elemente: Dampfdruck und Sonnenscheindauer. Periode: 2071 bis 2100 minus 1971 bis 2000.



**Abbildung 5.21:** Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Jahr. Elemente: Bedeckungsgrad und Windgeschwindigkeit. Periode: 2071 bis 2100 minus 1971 bis 2000.

(Fortsetzung von S. 45)

Zur Verdeutlichung der räumlichen Differenzierung wurden in Abb. 5.22 in der unteren Reihe die Werte in einer den Kontrast verstärkenden Werteskala dargestellt, die im Bereich zwischen 0 und 49 Tagen einen höheren Detailgrad besitzt aber dafür alle lokal auftretenden Werte über 49 Tagen in einer einheitlichen Farbe wiedergibt. Dort wird noch deutlicher, dass für weite Gebiete Deutschlands zu erwarten ist, dass in der Zukunft im Mittel praktisch keine Eistage mehr auftreten. Wie das Box-Whisker-Diagramm unterhalb von Abb. 5.22 (d) angibt, gilt für 75% aller dargestellten Bildpunkte dass dort im Mittel 7 oder weniger Eistage simuliert werden.

Thermische Kenngrößen – Wertebereich von Wärmeindikatoren

Noch deutlicher als der Rückgang der Eistage wird die Zunahme der Sommertage und Heißen Tage zum Ende des 21. Jahrhunderts von den WETTREG-Simulationen wiedergegeben, wie Abb. 5.24 auf Seite 52 zeigt. Bei den Sommertage [Teilfiguren (a) und (b)] liegt das Wertenniveau der Gegenwart (1971–2000) im Mittel in einem Bereich zwischen 0 und 50 Tagen pro Jahr. Für das Szenario A1B wird in der Periode 2071–2100 ein Wertebereich von rund 30 bis über 100 Tagen ermittelt, d.h. selbst in den hohen Bergregionen treten im Mittel Sommertage gehäuft auf. Am zahlreichsten wird von den Simulationen das Auftreten der Sommertage im Oberrheintal sowie an Neckar und Main modelliert.

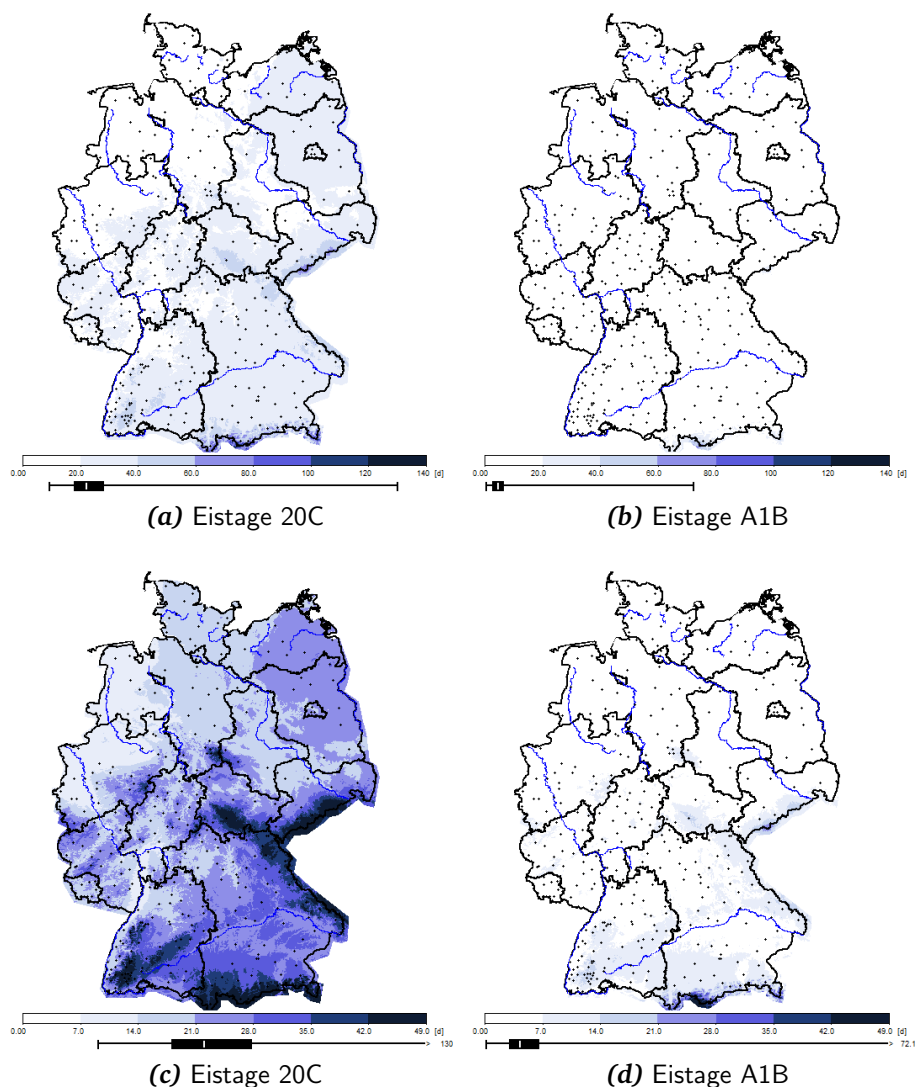
Bei den Heißen Tagen [Abb. 5.24 (c) und (d)] ist die Änderung der mittleren Häufigkeit noch drastischer als bei den Sommertagen. Treten in den Simulationen der Gegenwart [1971–2000, 20C-Daten, Teilfigur (c)] im Mittel in fast der gesamten Fläche weniger als 7 Heiße Tage auf – nur im Rhein/Main/Neckar-Gebiet sowie der Lausitz können es über 10 Tage sein – so nimmt das Wertenniveau zum Ende des 21. Jahrhunderts [2071–2100, Szenario A1B, Teilfigur (d)] stark zu: 30 und mehr Tage werden an 75% der dargestellten Bildpunkte erreicht; 40 und mehr Tage werden im Mittel für den Süden Brandenburgs, den Osten Sachsens-Anhalts sowie weite Bereiche der Flusstäler von Rhein, Mosel, Nahe, Main, Neckar und Naab zu erwarten sein.

Thermische Kenngrößen – Klimasignale

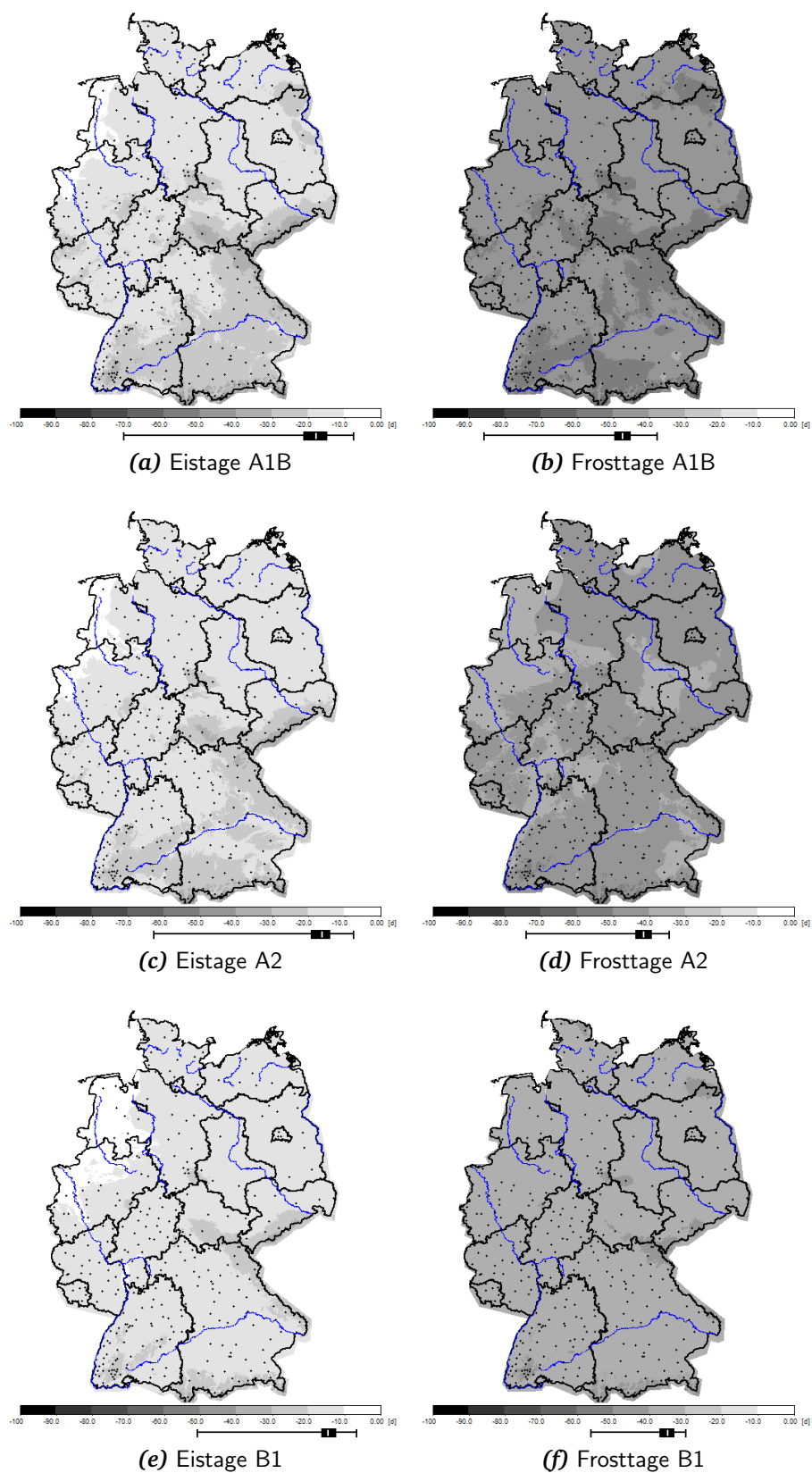
Nach der Betrachtung der Wertenniveaus soll zudem gezeigt werden, welche Änderungssignale bei den Kenntagen simuliert werden. Dies ist in Abb. 5.23, 5.25 und 5.26 auf den Seiten 51, 53 und 54 für die Szenarios A1B, A2 und B1 dargestellt. Wie zu erwarten geht bei fortschreitender Erwärmung die Zahl der Kälteindikatoren (Eistage und Frosttage) deutlich zurück und die Zahl der Wärmeindikatoren (Sommertage, heißen Tage und Tropennächte) nimmt zu. Außerdem ist erkennbar, dass diese Änderungen bei den WETTREG-regionalisierten Szenarios A1B am stärksten sind, gefolgt von denjenigen auf der Basis von A2, während die Änderungen bei B1 relativ moderat sind. Zusätzlich zeigt sich, dass im Südwesten Deutschlands, wo die simulierte Anzahl der



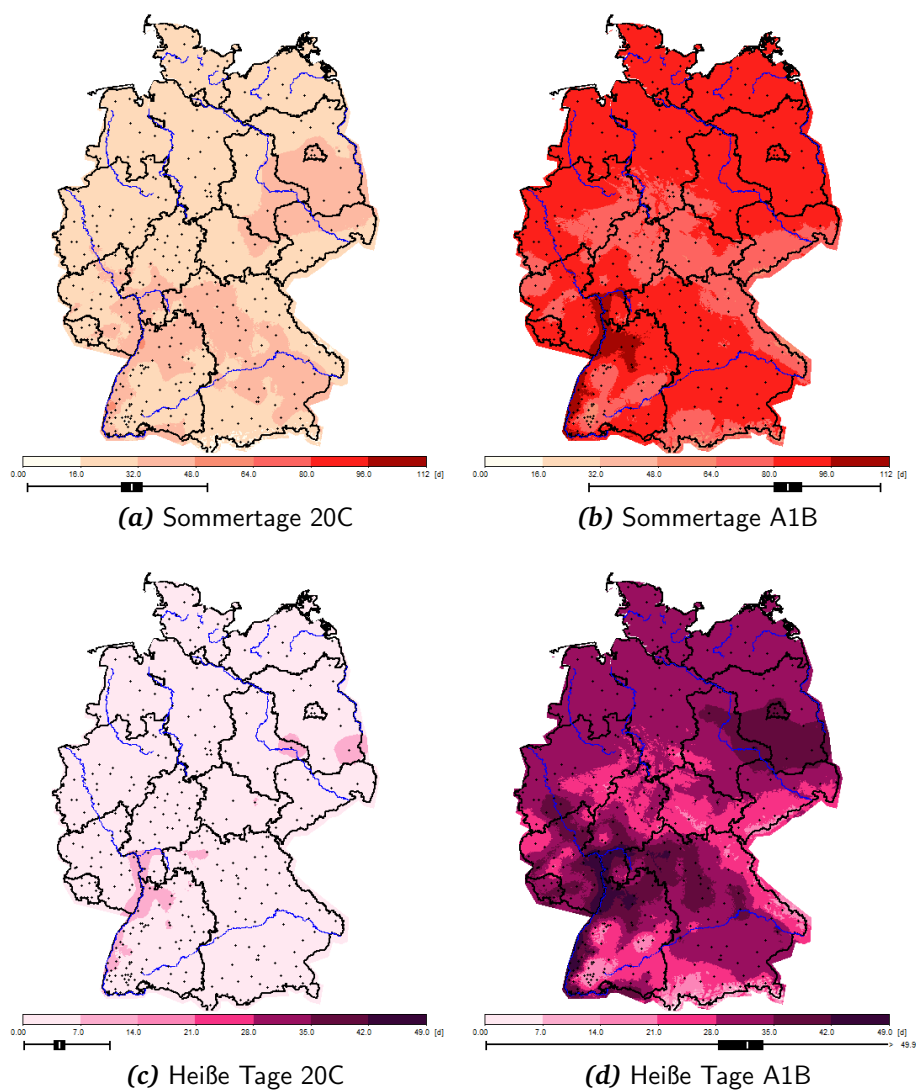
Sommertage und Heißen Tage bereits besonders hoch ist, die Zahl der Tage mit erhöhten Wärmeindikatoren stärker ansteigt als in der Mitte und im Norden. Die Zunahme der Tropennächte (Abb. 5.26) ist ebenfalls im Rhein/Main/Neckar-Gebiet sowie in Brandenburg besonders stark.



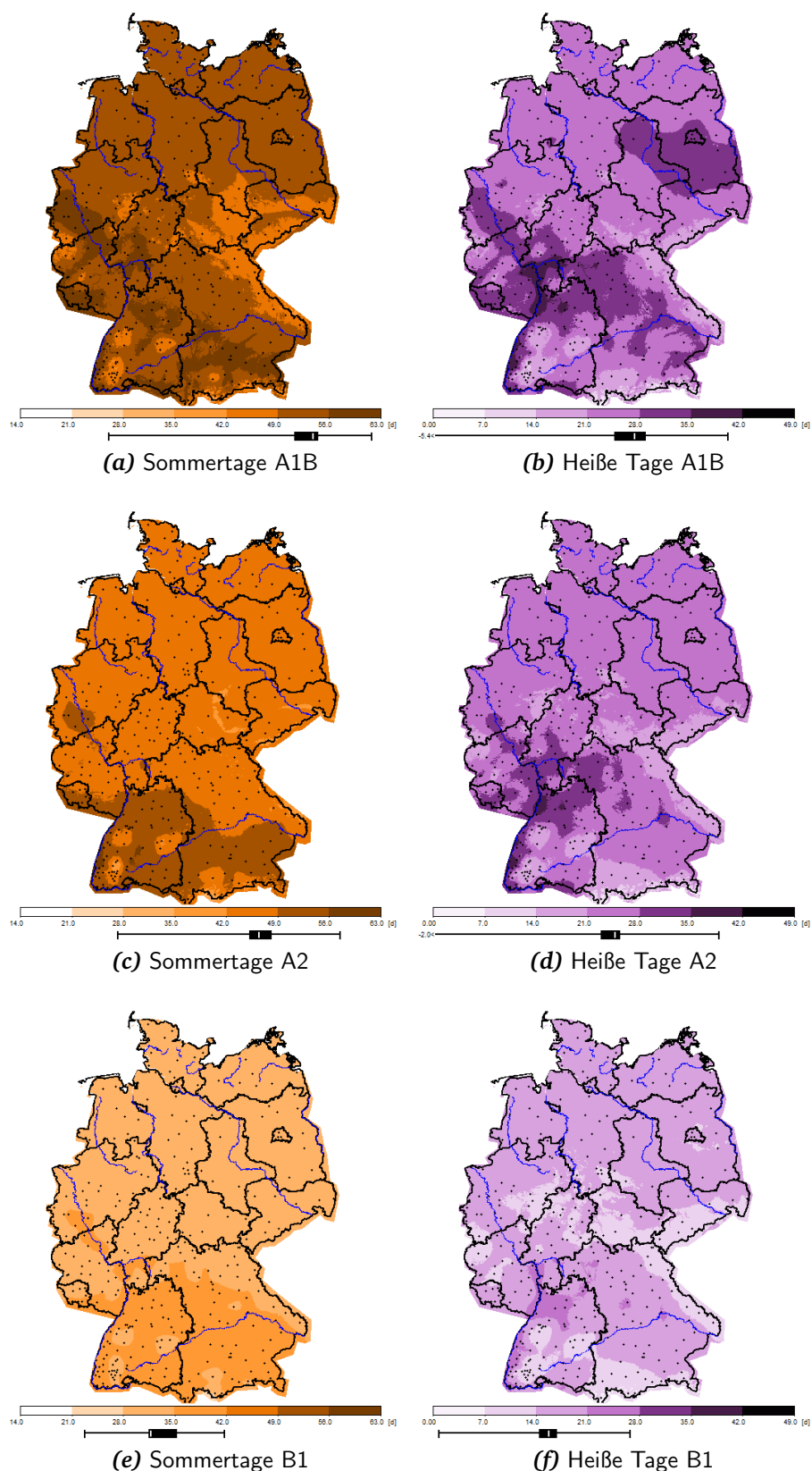
**Abbildung 5.22:** Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenario A1B im Jahr. Dargestellt ist die Zahl der Eistage (Tagesmaximum unter  $0^{\circ}\text{C}$ ) für die Perioden 1971–2000 (20C) und 2071–2100 (ECHAM5-A1B). Obere Reihe: Skalierung von 0 bis 140 Eistagen pro Jahr; untere Reihe: Skalierung von 0 bis 49 Tagen pro Jahr.



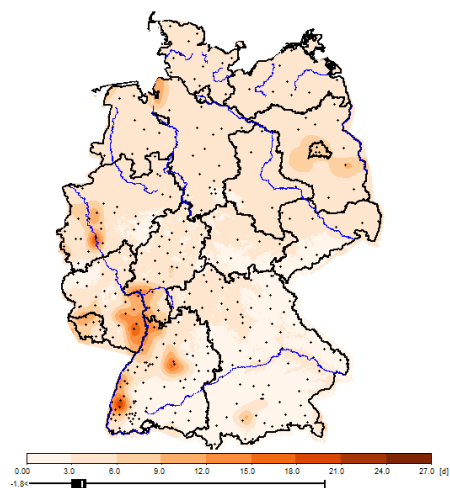
**Abbildung 5.23:** Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Jahr. Dargestellt ist die Zahl der Eistage (Tagesmaximum unter  $0^{\circ}\text{C}$ , linke Spalte mit Karten) und der Frosttage (Tagesminimum unter  $0^{\circ}\text{C}$ , rechte Spalte mit Karten). Periode: 2071 bis 2100 minus 1971 bis 2000.



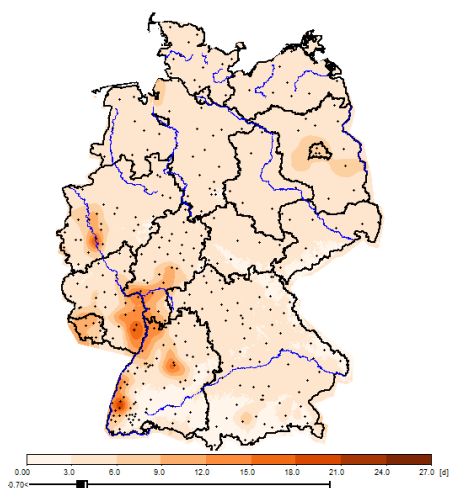
**Abbildung 5.24:** Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenario A1B im Jahr. Dargestellt ist die Zahl der Sommertage (Tagesmaximum über 25°C) und der Heißen Tage (Tagesmaxima über 30°C) für die Perioden 1971–2000 (20C) und 2071–2100 (ECHAM5-A1B).



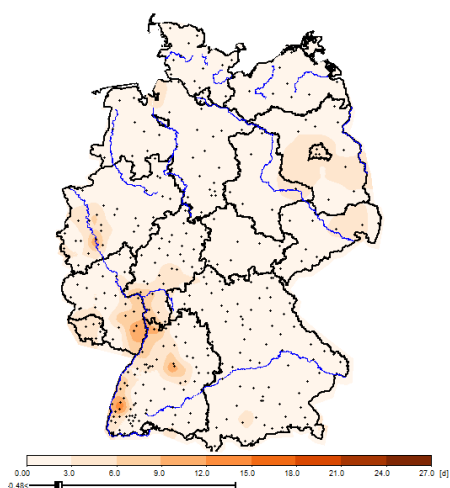
**Abbildung 5.25:** Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Jahr. Dargestellt ist die Zahl der Sommertage (Tagesmaximum mindestens  $25^{\circ}\text{C}$ , linke Spalte mit Karten) und der heißen Tage (Tagesmaximum mindestens  $30^{\circ}\text{C}$ , rechte Spalte mit Karten). Periode: 2071 bis 2100 minus 1971 bis 2000.



(a) Tropennächte A1B



(b) Tropennächte A2



(c) Tropennächte B1

**Abbildung 5.26:** Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Jahr. Dargestellt ist die Zahl der Tropennächte (Minimumtemperatur über 20°C. Periode: 2071 bis 2100 minus 1971 bis 2000).

# 6 Diskussion

## 6.1 Statistische und dynamische Aspekte in WETTREG

Statistische Regionalisierungen stellen einen alternativen Entwurf zur dynamischen Betrachtung dar. Die WETTREG-Methodik nutzt Aspekte aus beiden Herangehensweisen, denn sie verfügt über statistische und dynamische Interpretationskomponenten.

- Statistisch
  1. Verwendung eines Algorithmus zur Klassifikation von ähnlichen Tagen.
  2. Nutzung eines stochastischen Wettergenerators zur Konstruktion synthetischer Zeitreihen.
  3. Ableitung von Maßen wie z.B. Dekadenmitteln, Häufigkeitsverteilungen oder Periodenlängen zu Analyse und Vergleich von Resultaten.
- Dynamisch
  1. Verwendung von Simulationen großräumiger Zirkulationsmodelle und deren Fähigkeit, konsistent atmosphärische Muster zu reproduzieren.
  2. Antrieb des Wettergenerators mit synoptisch-physikalisch relevanten Randbedingungen.
  3. Aufprägen einer zusätzlichen physikalischen Signatur, die vom großräumigen Zirkulationsmodell in den Szenariorechnungen simuliert wurde.

Die mit WETTREG2006 erfolgte Regionalisierung für ganz Deutschland [Datensatz: [KREIENKAMP et al. \(2006b\)](#), Bericht: [SPEKAT et al. \(2007b\)](#)] verfügte bereits über die oben genannten Aspekte. Jedoch bestand bei den WETTREG2006-Resultaten die Auffälligkeit, dass ab der Mitte des 21. Jahrhunderts das großräumige Temperatursignal des antreibenden Modells ECHAM5 insbesondere im Sommer deutlich stärker war, als das mit WETTREG2006 regionalisierte. Dies legte den Schluss nahe, dass ein Teil des ECHAM5-Klimasignals von den WETTREG2006-Simulationen nicht erfasst wurde – wenn es, wie in Abschnitt [1.2](#) postuliert, eine stringente Kopplung zwischen großräumigem Signal und der aufgesetzten statistischer Methodik geben sollte, so müssten sich beide Signale ähnlich sein.

## 6.2 Definition von Transwetterlagen

Die Einführung von Transwetterlagen stellt einen wesentlichen Fortschritt und einen Paradigmen-Wandel dar. Bisher wurde die Identifikation von atmosphärischen Mustern an den *gegenwärtigen* physikalischen Eigenschaften der Atmosphäre vollzogen. Der Erkenntnis folgend, dass es emergente Strukturen gibt, die in Zukunft an Bedeutung gewinnen, verfügt die statistische Regionalisierung WETTREG nunmehr über einen weiteren dynamisch-physikalischen Interpretationsaspekt. Wie in [KREIENKAMP et al. \(2010c\)](#) dokumentiert, sind diese Transwetterlagen in der Gegenwart zu selten, als dass sie bei einem Strukturbildungsalgorithmus als eigenständig identifiziert werden können. Jedoch gewinnen sie ab etwa der Hälfte des 21. Jahrhunderts an Bedeutung und leisten einen wichtigen Beitrag zu den Klimasignalen.

Ein weiterer Grund für die Einführung von Transwetterlagen ist die von den atmosphärischen Strukturklassen gebildete angestrebte *optimale Komplexität* der Beschreibung durch das statistische Modell. Es gilt, eine Balance zwischen einer zu groben und einer unnötig nuancierten Differenzierung zu finden. Aus Vorstudien [ENKE and SPEKAT \(1997\)](#) wurde eine Größenordnung von  $\approx 10$  ermittelt. Da die globalen Klimamodelle in der Lage sind, physikalische Änderungen eines zukünftigen Klimas in Änderungen der Häufigkeit von atmosphärischen Mustern zu übersetzen, tritt in der Zukunft folgender Effekt auf: Es gibt einen „Schwund“ bei den mit niedriger Temperatur assoziierten Mustern und eine Zunahme bei den Mustern, die mit hoher Temperatur assoziiert sind. Dies führt dazu, dass etliche der „kalten“ Muster in der Zukunft völlig verschwinden. Somit ist die Einführung zusätzlicher Muster, allein schon um die optimale Komplexität weiter wahren zu können, notwendig.

**Anmerkung 1:** Die Einführung der Transwetterlagen wirkt sich insbesondere in der Jahreszeit Sommer (Juni-Juli-August) aus. Hier ist eine wesentliche Grundlage für die geänderten Signale gegenüber der UBA-Studie [SPEKAT et al. \(2007b\)](#) zu finden.

**Anmerkung 2:** Die Notwendigkeit zu einer Erweiterung um Transwetterlagen ist eine Folge der Vorgehensweise *Environment-to-Circulation* (s. S. 11). Auch der oben beschriebene Effekt des ‚Aussterben‘ kalter Klassen hängt damit zusammen.

## 6.3 Verwendung von Anomalien

Gegenüber WETTREG2006 erfolgte in dieser Studie eine weitere wesentliche Veränderung: Der Übergang zur Verwendung von Anomalien für die Definition der Muster sowie den stochastischen Wettergenerator. Wie in [KREIENKAMP et al. \(2010c\)](#) beschrieben, waren atmosphärische Muster bisher so definiert, dass sie, jahreszeiteinspezifisch, bestimmte Intervalle der Temperatur oder des Niederschlags wiedergaben. Beispiel: Muster #3 fasst Atmosphärenzustände zusammen, die im Sommer mit einem Regionaltemperaturmittel zwischen 11,1 und 13,0°C und im Winter mit einem Regionaltemperaturmittel zwischen -11,0



und  $-8,1^{\circ}\text{C}$  assoziiert sind. Mit dem Übergang zu Anomalien fasst Muster #3 in der WETTREG-Version von 2010 Atmosphärenzustände zusammen, die mit einer Abweichung vom mittleren regionalen Jahresgang zwischen  $-4,4$  und  $-3,0^{\circ}\text{C}$  assoziiert sind, *und zwar für jede Jahreszeit einheitlich (!)*.

Die Zahl der Klassen, die mit Hilfe des Anomalie-Ansatzes gebildet werden ist ebenfalls 10 – sowie die hinzugefügten zwei Anomalieklassen, die zur Bildung der Transwetterlagen benötigt werden. Ihre Häufigkeitsverteilung ist derjenigen in WETTREG2006 ähnlich. Beim Temperaturregime treten die Verschiebungen zu den „warmen“ Klassen (in WETTREG die Klassen mit besonders starker positiver Temperaturabweichung vom Jahresgang) mit zunehmender Zeit verstärkt auf, während die „kalten“ Klassen (in WETTREG die Klassen mit besonders starker negativer Abweichung vom Jahresgang) seltener werden.

**Anmerkung:** *Die Verwendung von Anomalien hat vielfältige Auswirkungen. Dazu zwei Beispiele.*

**Beispiel 1:** *In beiden Übergangsjahreszeiten erlaubt die Nutzung der Anomalie-bezogenen Witterungsabschnitte in stärkerem Maße, die Witterungsabschnitte innerhalb der Jahreszeit zu verschieben. Somit ist eine Erhöhung der Anpassungsgüte beim Wettergenerator möglich.*

**Beispiel 2:** *Der für UBA-Studie [SPEKAT et al. \(2007b\)](#) genutzte Ansatz unterteilte die Wetterlagenklassen nach dem mittleren Temperaturniveau. Zum Beispiel fielen dabei die Tage mit einem regionalen Temperaturmittel von  $22$  bis  $24^{\circ}\text{C}$  in eine Klasse. Für den reinen Temperaturbezug ist dieses ausreichend. Die Feuchteverhältnisse sind aber, je nach Position im Jahr, unterschiedlich. Im Frühsommer sind Temperaturmittelwerte von  $23^{\circ}\text{C}$  überdurchschnittlich hoch und wahrscheinlich mit einer trockenen Hochdruckwetterlage verbunden. Im Hochsommer hingegen ist ein Wert von  $23^{\circ}\text{C}$  eher unterdurchschnittlich und wahrscheinlich mit starker Bewölkung und möglicherweise auch dem Auftreten von Niederschlag assoziiert. Tage, die mit den Anomalie-Ansatz einer Klasse mit starker positiver (negativer) Anomalie zugeordnet wurden, sind daher sehr wahrscheinlich trockener (feuchter) als andere Tage. Dieser Effekt ist einer der Gründe für die erhöhte Sommertrockenheit im hier vorgestellten Datensatz.*

## 6.4 Ausdehnung des Zeitrahmens bei den Klimadaten

Eine weitere Veränderung gegenüber WETTREG2006 besitzt Relevanz für den stochastischen Wettergenerator: Der Zeitrahmen für die Klimareihen wurde erweitert. In der Studie von 2006 wurden dem Wettergenerator Episoden bis 2000 zur Verfügung gestellt. Für WETTREG wurde der Zeitraum bis Ende 2007 ausgedehnt. Folge ist, dass die Segmente, aus denen der Wettergenerator die simulierten Zeitreihen synthetisiert, auch mehr extreme Ereignisse der jüngsten Vergangenheit beinhalten. Das hat Auswirkungen auf die Zeitreihen, denn wenn durch die Randbedingungen, nach denen der Wettergenerator die Reihensynthe-



se durchführt, bestimmte Extreme häufiger gefordert werden, so steht ihm eine größere Zahl und Diversität von „Kandidatensegmenten“ zur Verfügung.

**Anmerkung:** Die Ausdehnung des Zeitrahmens bei den Klimadaten hat noch einen weiteren Einfluss. Im Zeitraum 1971–2007 hat sich die Relation zwischen der Zuordnung eines Tages zu einer Temperaturklasse und einer Feuchteklasse geändert. Im späteren Zeitraum (nach 2000) sind für viele Temperaturklassen sinkende mittlere Niederschläge zu verzeichnen. Somit entfällt die in WETTREG2006 für die Gegenwart ermittelte starke Korrelation zwischen ansteigenden Temperaturwerten und steigenden Niederschlägen.

## 6.5 Übergang von Zeitscheiben zu transienter Herangehensweise

Die Simulationen erfolgten bei WETTREG2006 in so genannten Zeitscheiben. Die steuernde Häufigkeitsverteilung der atmosphärischen Muster, die eine bedeutsame Größe für den Wettergenerator ist, wurde dazu für eine Dekade konstant gehalten und es entstand ein Sprung beim Übergang zur nächsten Dekade. WETTREG verfügt über einen transienten Ansatz, bei dem sich die Häufigkeitsverteilung der atmosphärischen Muster mit der Zeit gleitend ändert. In [SPEKAT et al. \(2006\)](#) und [SPEKAT et al. \(2007a\)](#) ist die transiente Vorgehensweise beschrieben.

## 6.6 Resultierende Temperatur- und Niederschlagssignale

Als Folge der Veränderungen sind die Temperatursignale in der WETTREG-Version von 2010 stärker als in WETTREG2006. Abb. 6.1 (Seite 60) gibt wieder, wie sich das Erwärmungssignal für Deutschland zum Ende des 21. Jahrhunderts für verschiedene Regionalisierungen darstellt. Die gesamte Breite eines Band zeigt an, welcher Wertebereich in der entsprechenden Karte des Temperatursignals<sup>1)</sup> auftrat. Werden diese der Größe nach sortiert und dann die Werte zwischen 25% und 75% dieser Rangfolge zusammengefasst (die „inneren 50%“). Die rote Markierung zeigt den Wert in der Mitte dieser Rangfolge (Median) an.

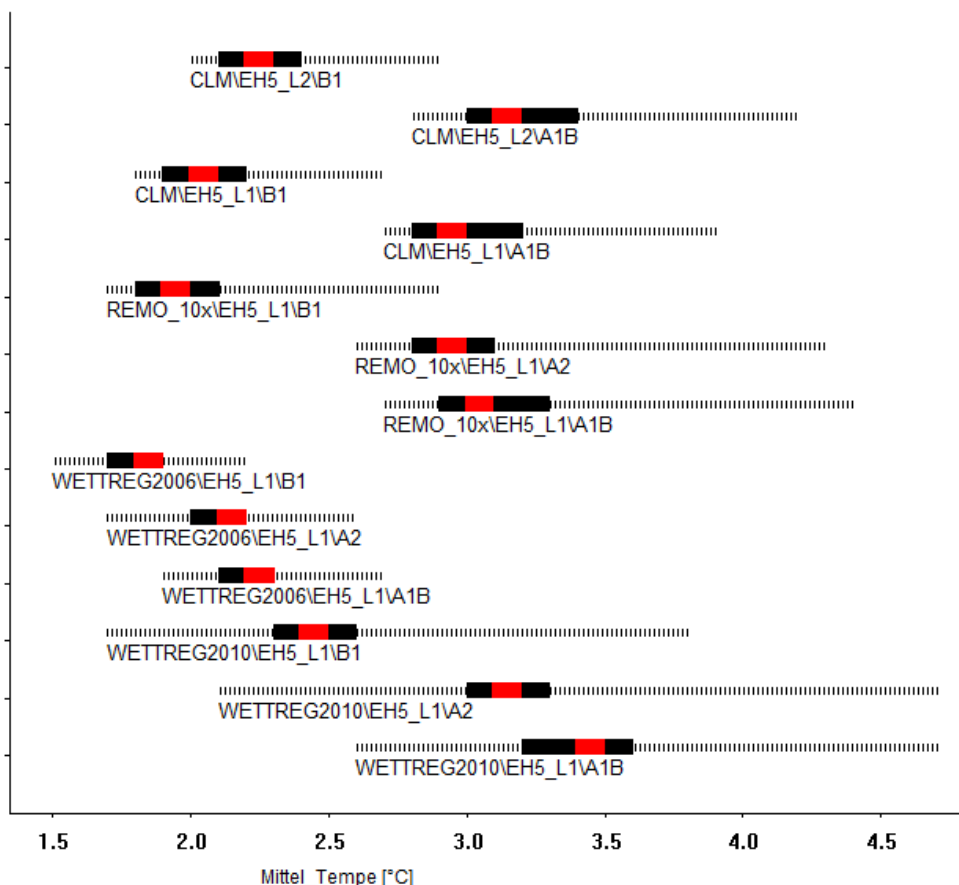
Dort kommt eine in Abschnitt 6.1 angesprochene Beobachtung zum Ausdruck: Zum Ende des 21. Jahrhunderts errechnete WETTREG2006 eine Temperaturentwicklung, die unter der des antreibenden globalen Modells ECHAM5 lag. Wie in Abb. 6.1 zum Ausdruck kommt, liegen die dynamischen Regionalisierungen CCLM und REMO für diesen Zeitraum in einem höheren Wertebereich, der der „Vorgabe“ von ECHAM5 nahe kommt. Wird der o.e. schwarz hervorgehobene Kernbereich des jeweiligen Bandes in Abb. 6.1 betrachtet so zeigt sich, ganz ähnlich wie bei WETTREG2006 und den dynamischen Modellen CCLM und REMO, dass die „A-Szenarios“ von B1 deutlich unterscheidbare Klimazustände darstellen. Für diejenigen Modelle, die auch A2-Szenarios gerechnet haben (REMO, WETTREG2006 und der WETTREG Version von 2010) ist erkennbar, dass die Unterschiede zwischen A1B und A2 relativ gering sind, wobei A1B tendenziell etwas stärkere Erwärmungsraten liefert als A2.

Abb. 6.2 (Seite 61) zeigt die von den verschiedenen Modellen simulierte Entwicklung des Jahresniederschlags zum Ende des 21. Jahrhunderts. Hier ist auffällig, dass die Simulationen in etwa über einen ähnlichen Wertebereich verfügen. Der von den Modellen projizierte sommerliche Niederschlagsrückgang überkompensiert dabei die winterliche Zunahme, so dass der überwiegende Teil der Bänder (incl. der schwarz hervorgehobenen mittleren 50%) für das Jahresniederschlagssignal im negativen Bereich liegt. Zudem zeichnet sich beim Vergleich der Szenarios eines Modells eine Reihung  $A1B < A2 < B1$  ab, wiewohl es eine Überlappung der Wertebereiche gibt.

---

<sup>1)</sup>Für das als drittes von unten dargestellte Band der WETTREG A1B-Regionalisierung ist dies die in Abb. 5.15(a) gezeigte Karte; die Teilfiguren (b) und (c) dieser Abbildung liefern das Analysematerial für die Bänder der Szenarios A2 (zweites Band von unten) bzw. B1 (unterstes Band).

Ensemble aus 13 Projekten (Bänder der Häufigkeiten): 2071\_2090; 2081\_2090; 2091\_2100; Mittel\_Tempe; meteorologisches Jahr  
1971\_1980; 1981\_1990; 1991\_2000;



**Abbildung 6.1:** Gegenüberstellung der Jahres-Temperatursignale im Vergleich der Perioden 2071–2100 (Antrieb: ECHAM5-Szenariorechnungen) und 1971–2000 (Antrieb: ECHAM5-20C-Rechnungen) für 11 verschiedene Regionalisierungen. Die Breite jedes Bandes gibt die Werteverteilung innerhalb Deutschlands wieder. Die dargestellten Regionalisierungen sind: CLM/EH5.L2/B1 - CCLM, angetrieben vom B1-Szenariolauf 2 des ECHAM5-Modells; CLM/EH5.L2/A1B - CCLM, angetrieben vom A1B-Szenariolauf 2 des ECHAM5-Modells; CLM/EH5.L1/B1 - CCLM, angetrieben vom B1-Szenariolauf 1 des ECHAM 5-Modells; CLM/EH5.L1/A1B - CCLM, angetrieben vom A1B-Szenariolauf 1 des ECHAM5-Modells; REMO10x/ECHAM5/B1 - REMO 10km Auflösung mit verdriftetem Niederschlag, angetrieben vom B1-Szenariolauf 1 des ECHAM5-Modells; REMO10x/ECHAM5/A2 - REMO 10km Auflösung mit verdriftetem Niederschlag, angetrieben vom A2-Szenariolauf 1 des ECHAM5-Modells; REMO10x/ECHAM5/A1B - REMO 10km Auflösung mit verdriftetem Niederschlag, angetrieben vom A1B-Szenariolauf 1 des ECHAM5-Modells; WETTREG/ECHAM5/B1 - WETTREG2006, angetrieben vom B1-Szenariolauf 1 des ECHAM5-Modells; WETTREG/ECHAM5/A2 - WETTREG2006, angetrieben vom A2-Szenariolauf 1 des ECHAM5-Modells; WETTREG/ECHAM5/A1B - WETTREG2006, angetrieben vom A1B-Szenariolauf 1 des ECHAM5-Modells; WETTREG2010/EH5.L1/A1B - WETTREG, Version 2010, angetrieben vom A1B-Szenariolauf 1 des ECHAM5-Modells; WETTREG2010/EH5.L1/A2 - WETTREG, Version 2010, angetrieben vom A2-Szenariolauf 1 des ECHAM5-Modells; WETTREG2010/EH5.L1/B1 - WETTREG, Version 2010, angetrieben vom B1-Szenariolauf 1 des ECHAM5-Modells.

## 6.6 Resultierende Temperatur- und Niederschlagssignale

Ensemble aus 13 Projekten (Bänder der Häufigkeiten): 2071\_2080; 2081\_2090; 2091\_2100; Niederschlag; meteorologisches Jahr  
1971\_1980; 1981\_1990; 1991\_2000;

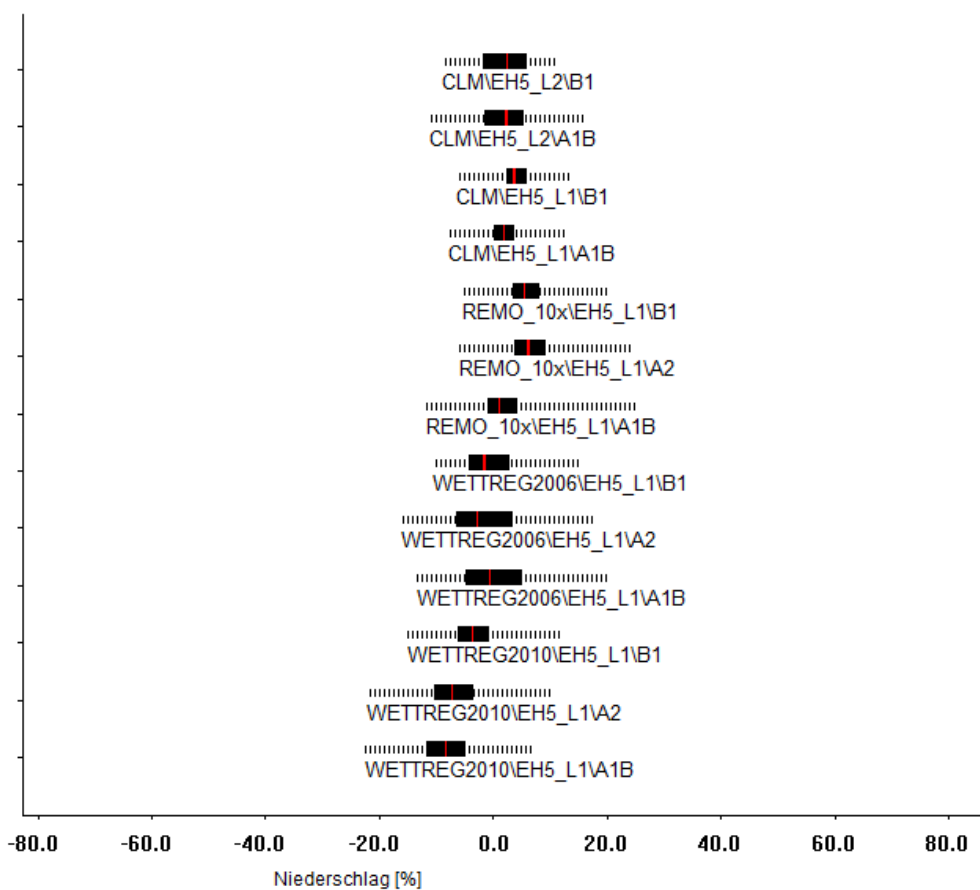


Abbildung 6.2: Wie Abb. 6.1, jedoch für die Jahresniederschlagssignale.



## 7 Zusammenfassung

Für Planungen, basierend auf regionalen/thematischen Untersuchungen der Folgen des Klimawandels sind hoch aufgelöste Basisdaten notwendig, die sowohl bezüglich der verwendeten Erkenntnisse aus den Globalmodellen als auch bezüglich der eingesetzten Regionalisierungsmethode *state-of-the-art* sind.

Im Zuge des IPCC-Prozesses werden die Klimamodelle stetig weiter verbessert und beinhalten ein zunehmendes Maß an Prozessen und Wechselwirkungen. Ein zusätzliches, die immer umfassender werdende physikalische Beschreibung des Klimasystems ergänzendes Verbesserungspotenzial für klimarelevante Planungen stellen statistische Regionalisierungsmethoden dar. Ein Beispiel dafür findet sich in der verbreitet genutzten WETTREG-Methodik, die an die globalen Modelle gekoppelt ist – es wird die Fähigkeit der globalen Modelle, den Klimawandel in Form von Änderungen von atmosphärischen Mustern zu reproduzieren genutzt. Eine zielführende Aktualisierung von WETTREG war der Inhalt der von den Ländern getragenen vorbereitenden Studie [KREIENKAMP et al. \(2010c\)](#). Die in [KREIENKAMP et al. \(2010a\)](#) erfolgte Aktualisierung der UBA-WETTREG-Studie [SPEKAT et al. \(2007b\)](#) beinhaltet dabei die Regionalisierung des ECHAM5-Szenarios A1B. Die hiermit vorgelegte Studie erweitert den Umfang der Szenarios und stellt WETTREG-Regionalisierungen auch für die ECHAM5-Szenarios A2 und B1 zur Verfügung.

Bezüglich der Weiterentwicklung von WETTREG ist insbesondere hervorzuheben, dass ein Algorithmus eingeführt wurde, der die Identifikation von zukünftig auftretenden, neuen Atmosphärenmustern, so genannten Transwetterlagen ermöglicht. Gegenüber [SPEKAT et al. \(2007b\)](#) wurden zusätzliche Veränderungen in folgenden Aspekten sichtbar:

- Verstärkte Anknüpfung der WETTREG-Resultate an das antreibende Modell (ECHAM5);
- stärkere Temperatursignale;
- stärkere Extreme, insbesondere bei der Temperatur<sup>1)</sup>.

Es ist zu beachten, dass die verbesserte Anknüpfung an das antreibende Modell unter Umständen Eigenheiten dieses Modells aufnimmt. Auch ist die Fähigkeit von WETTREG, Zeitreihen eines geänderten Klimas zu simulieren, in denen

---

<sup>1)</sup>Beispielsweise liegen die WETTREG-Simulationen der Maximumtemperatur im Zeitbereich 2071–2100 um rund 1,5–2°C über denen mit WETTREG2006. Außerdem treten für nahezu die gesamte Fläche Deutschlands in WETTREG für diesen Zeithorizont gegenüber WETTREG2006 1–3 Tage mehr auf, an denen ein Tagesmaximum von 35°C übertroffen wird – im Rhein-Main-Gebiet sind es sogar 5–9 Tage mehr.

sich die geänderten Häufigkeiten aller Wetterlagen wiederfinden, nicht in allen Jahreszeiten in vollem Umfang gegeben. Die WETTREG-Daten der Version von 2010 sind aber in jedem Fall für neue Impaktstudien und Vergleiche mit den Ergebnissen auf der Basis der Daten von 2006 geeignet.

Der Antrieb von WETTREG mit Daten der ECHAM5 Szenarios A1B, A2 und B1 (jeweils Lauf 1) stellt ein Ensemble dar. Um die Vergleichbarkeit mit anderen Untersuchungen zu erhöhen, sollten auch andere Szenarios als Antrieb verwendet werden – nicht nur von ECHAM5 sondern auch von anderen globalen und regionalen Klimamodellen.

# Literaturverzeichnis

- BENESTAD, R., I. HANSEN-BAUER, D. CHENG, 2008: Empirical-statistical Downscaling – World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- BOBERG, F., P. BERG, P. THEJLL, W. GUTOWSKI, J. CHRISTENSEN, 2009: Improved confidence in climate change projections of precipitation evaluated using daily statistics from the PRUDENCE ensemble. – *Clim. Dyn.* **32**, 1097–1106, Published online: 22 July 2008.
- BOBERG, F., P. BERG, P. THEJLL, W. GUTOWSKI, J. CHRISTENSEN, 2010: Improved confidence in climate change projections of precipitation further evaluated using daily statistics from ENSEMBLES models. – *Clim. Dyn.* **35**, 1509–1520, Published online: 15 October 2009.
- BUSER, C., H. KÜNSCH, C. SCHÄR, 2010: Bayesian multi-model projections of climate: generalization and application to ENSEMBLES results. – *Clim. Res.* **44**, 227–241, DOI: 10.3354/cr00895.
- CHRISTENSEN, J. H., 2005: Prediction of regional scenarios and uncertainties for defining european climate change risks and effects (PRUDENCE). Final Report. Technical Report EVK2-CT2001-00132, DMI. Copenhagen.
- CUBASCH, U., J. WACZKEWITZ, G. HEGERL, J. PERLWITZ, 1995: Regional climate changes as simulated in time-slice experiments. Technical Report 153, Max Planck Institute, Hamburg.
- ENKE, W., 2005: Zusammenfassende Bearbeitung und Bewertung der für einzelne Bundesländer vorhandenen Klimaszenarien; im Unterauftrag des Max-Planck-Instituts für Meteorologie Hamburg. UBA-Projekt: Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland - Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland. Technical Report 204 41 138, Umweltbundesamt, Dessau.
- ENKE, W., A. SPEKAT, 1997: Downscaling Climate Model Outputs into local and regional Weather Elements by Classification and Regression. – *Clim. Res.* **8**, 195–207.
- ENKE, W., F. SCHNEIDER, T. DEUTSCHLÄNDER, 2005a: A novel scheme to derive optimized circulation pattern classifications for downscaling and forecast purposes. – *Theor. Appl. Climatol.* **82**, 51–63, DOI: 10.1007/s00704-004-0116-x. <http://www.springerlink.com/content/m737r30600222273/fulltext.pdf>.



- ENKE, W., T. DEUTSCHLÄNDER, F. SCHNEIDER, W. KÜCHLER, 2005b: Results of five regional climate studies applying a weather pattern based downscaling method to echam4 climate simulations. – *Meteorol. Z.* **14**, 247–257, DOI: 10.1127/0941-2948/2005/0014-001. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2005/0028>.
- FOWLER, H. J., S. BLENKINSOP, C. TEBALDI, 2007: Review: Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling. – *Int. J. Climatol* **27**, 1547–1578.
- GIORGI, F., 1990: Simulation of regional climate using a limited area model nested in a general circulation model. – *J. Climate* **3**, 941–963.
- GIORGI, F., 2005: Climate change prediction. – *Clim. Change* **73**, 239–265.
- GOODESS (ED.), C., 2009: STARDEX. Downscaling Climate Extremes. Final Report. Technical report, STARDEX Consortium 24 pp.
- GREATBATCH, R., P.-P. RONG, 2006: Discrepancies between different northern hemisphere summer atmospheric data products. – *J. Climate* **19**, 1261–1273.
- GROTCH, S., M. MACCRACKEN, 1991: The use of general circulation models to predict regional climatic change. – *J. Climate* **4**, 286–303.
- HESS, P., H. BREZOWSKY, 1952: Katalog der Großwetterlagen Europas (Catalog of the European Large Scale Weather Types). Technical report, Ber. Dt. Wetterd. in der US-Zone 33, Bad Kissingen, Germany.
- HUTH, R., C. BECK, A. PHILIPP, M. DEMUZERE, Z. USTRNUL, M. CAHYNOVÁ, J. KYSELÝ, O. TVEITO, 2008: Classification of atmospheric circulation patterns. recent advances and applications. – *Ann. N.Y. Acad. Sci.* **1146**, 105–152.
- IPCC, 1990: Climate Change. The IPCC Scientific Assessment. Intergovernmental Panel on Climate Change – Cambridge University Press, Cambridge, Melbourne.
- IPCC, 1996: Climate Change 1995. The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change – Cambridge University Press, Cambridge, Oakleigh.
- IPCC, 1998: The Regional Impacts of Climate Change - An Assessment of Vulnerability A Special Report of the IPCC Working Group II. – Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change – Cambridge University Press, Cambridge, U.K. und New York, USA.

- IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Number ISBN: 978 0521 70596-7. – Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA.
- JACOB, D., L. BÄRRING, O. CHRISTENSEN, J. CHRISTENSEN, S. HAGEMANN, M. HIRSCHI, E. KJELLSTRÖM, G. LENDERINK, B. ROCKEL, C. SCHÄR, S. SENEVIRATNE, S. SOMOT, A. VAN ULDEN, B. VAN DEN HURK, 2007: An inter-comparison of regional climate models for Europe: Design of the experiments and model performance. – *Clim. Change* **81**, 31–52.
- JONAS, M., T. STAENGER, C.-D. SCHÖNWIESE, 2005: Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von Extremereignissen durch Klimaänderungen - Schwerpunkt Deutschland. Technical Report Forschungsvorhaben 201 41 254, Umweltbundesamt.
- KALNAY, E., M. KANAMITSU, R. KISTLER, W. COLLINS, D. DEAVEN, L. GANDIN, M. IREDELL, S. SAHA, G. WHITE, J. WOOLLEN, Y. ZHU, A. LEETMAA, R. REYNOLDS, M. CHELLIAH, W. EBISUZAKI, W. HIGGINS, J. JANOWIAK, K. MO, C. ROPELEWSKI, J. WANG, R. JENNE, D. JOSEPH, 1996: The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. – *Bull. Amer. Met. Soc.* **77**, 437–471.
- KREIENKAMP, F., A. SPEKAT, W. ENKE, 2006a: Ableitung von Transwetterlagen. Teilbericht zum Vorhaben: Ableitungen von Transwetterlagen und Entwicklung eines interaktiven Diagnose- und Präsentationstools. Technical Report BW: 500 94836/43, HE: 4500169596, RP: 69-CK/Mo, TH: 05/000126, Land Baden-Württemberg vertreten durch die Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU-BW), Freistaat Bayern vertreten durch das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU-BY) Dienstort München, Land Hessen vertreten durch das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG), Land Rheinland-Pfalz vertreten durch das Landesamt für Umweltschutz, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (LUGW), Freistaat Sachsen vertreten durch das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG), Freistaat Thüringen vertreten durch die Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG).
- KREIENKAMP, F., A. SPEKAT, W. ENKE, 2006b: WETTREG-UBA, <http://cerawww.dkrz.de/WDCC/ui/BrowserExperiments.jsp?proj=WETTREG-UBA>. Technical report, Climate and Environment Consulting Potsdam GmbH.
- KREIENKAMP, F., A. SPEKAT, W. ENKE, 2009: Sensitivity studies with a statistical downscaling method – the role of the driving large scale model. – *Meteorol. Z.* **18**, 597–606, <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2009/0410>.
- KREIENKAMP, F., A. SPEKAT, W. ENKE, 2010a: Ergebnisse eines regionalen Szenarienlaufs für Deutschland mit dem statistischen Modell WETTREG2010. Technical report, Climate and Environment Consulting Potsdam GmbH im Auftrag des Umweltbundesamtes.

- KREIENKAMP, F., A. SPEKAT, W. ENKE, 2010b: Erstellung eines E1 Szenarios für die Region Sachsen-Anhalt mit WETTREG. Technical report, Climate and Environment Consulting Potsdam GmbH Im Auftrag des Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Fachbereich 3 Immissionsschutz/Klimaschutz Vertrag Nr. 01/31/2010.
- KREIENKAMP, F., A. SPEKAT, W. ENKE, 2010c: Weiterentwicklung von WETTREG bezüglich neuartiger Wetterlagen. Technical report, Land Baden-Württemberg, vertreten durch die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), Freistaat Bayern, vertreten durch das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU-BY), Dienstort München, Freie und Hansestadt Hamburg, vertreten durch die Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, Amt für Natur- und Ressourcenschutz, Energieabteilung, Land Hessen, vertreten durch das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG), Land Mecklenburg-Vorpommern, vertreten durch das Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus, Land Niedersachsen, vertreten durch den Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), Land Nordrhein-Westfalen, vertreten durch das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV), Land Rheinland-Pfalz, vertreten durch die Landforsten Rheinland-Pfalz, Zentralstelle für Forstverwaltung, Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft, Land Saarland, vertreten durch das Ministerium für Umwelt, Abteilung D (Natur und Mensch), Freistaat Sachsen, vertreten durch das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), Land Sachsen-Anhalt, vertreten durch das Landesamt für Umweltschutz, Fachbereich 3: Immissionsschutz/Klimaschutz, Land Schleswig-Holstein, vertreten durch das Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (MLUR), Freistaat Thüringen, endvertreten durch die Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie Weblink: [klimawandel.hlug.de/fileadmin/dokumente/inklim\\_a/TWL\\_Laender.pdf](http://klimawandel.hlug.de/fileadmin/dokumente/inklim_a/TWL_Laender.pdf).
- KREIENKAMP, F., S. BAUMGART, A. SPEKAT, W. ENKE, 2011: Regional climate signals and their dependency on the choice of model resolution which derive them. – *Atmosphere* **2**, 129–145, DOI:10.3390/atmos2020129.
- LORENZ, P., D. JACOB, 2005: Influence of regional scale information on the global circulation: A two-way nesting climate simulation. – *Geophys. Res. Lett.* **32**, L18706, Doi:10.1029/2005GL02335.
- LORENZ, P., D. JACOB, 2010: Validation of temperature trends in the ENSEMBLES regional climate model runs driven by ERA40. – *Clim. Res.* **44**, 167–177, DOI: 10.3354/cr00973.
- LUCARINI, V., S. CALMANTI, A. DELL'AQUILA, P. RUTI, A. SPERANZA, 2007: Intercomparison of the northern hemisphere winter mid-latitude atmospheric variability of the IPCC models. – *Clim. Dyn.* **28**, 829–848.

- MOSS, R., M. BABIKER, S. BRINKMAN, E. CALVO, T. CARTER, J. EDMONDS, I. EL-GIZOULI, S. EMORI, L. ERDA, K. HIBBARD, R. JONES, M. KAINUMA, J. KELLERHER, J. LAMARQUE, M. MANNING, B. MATTHEWS, J. MEEHL, L. MEYER, J. MITCHELL, N. NAKICENOVIC, B. O'NEILL, R. PICHES, K. RIAHI, S. ROSE, P. RUNCI, R. STOUFFER, D. VAN VUUREN, J. WEYANT, T. WILBANKS, J. VAN YPERSELE, M. ZUREK, 2008: Towards new scenarios for analysis of emissions, climate change, impacts, and response strategies. Report. 19–21 September 2007, Noordwijkerhout, The Netherlands. Technical report, Intergovernmental Panel on Climate Change. 132 pp.
- NAKIĆENOVIĆ, N., J. ALCAMO, DE B. VRIES, J. FENHANN, S. GAFFIN, K. GREGORY, A. GRÜBLER, T. JUNG, T. KRAM, E. L. ROVERE, L. MICHAELIS, S. MORI, T. MORITA, W. PEPPER, H. PITCHER, L. PRICE, K. RAIHI, A. ROEHRL, H.-H. ROGNER, A. SANDOVSKI, M. SCHLESINGER, P. SHUKLA, S. SMITH, R. SWART, S. VAN ROOIJEN, N. VICTOR, Z. DADI, 2000: Emissions Scenarios; A Special Reports of IPCC Working Group III – Cambridge University Press; Cambridge, UK., 570.
- PHILIPP, A., J. BARTHOLY, C. BECK, M. ERPICUM, P. ESTEBAN, X. FETTWEIS, R. HUTH, P. JAMES, S. JOURDAIN, F. KREIENKAMP, T. KRENNERT, S. LYKOUDIS, S. MICHAELIDIS, K. PIANKO-KLUCZYNSKA, P. POST, D. R. ALVARAZ, R. SCHIEMANN, A. SPEKAT, F. TYMVIOS, 2010: Cost733cat – a database of weather and circulation type classifications. – Phys. Chem. Earth **35**, 360–373, DOI: 10.1016/j.pce.2009.12.010. Available at <http://dx.doi.com/10.1016/j.pce.2009.12.010>.
- PRUDENCE, 2005: PRUDENCE (prediction of regional scenarios and uncertainties for defining european climate change risks and effects): Final Report. Technical report EU Code EVK2-CT2001-00132.
- ROECKNER, E., G. BAEUML, L. BONAVENTURA, R. BROKOPF, M. ESCH, M. GIORGETTA, S. HAGEMANN, I. KIRCHNER, L. KORNBLUEH, E. MANZINI, A. RHODIN, U. SCHLESE, U. SCHULZWEIDA, A. TOMPKINS, 2003: The atmospheric general circulation model ECHAM5 - Part 1: Model Description, volume 349 of *MPI-Berichte* – Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg.
- ROECKNER, E., R. BROKOPF, M. ESCH, M. GIORGETTA, S. HAGEMANN, L. KORNBLUEH, E. MANZINI, U. SCHLESE, U. SCHULZWEIDA, 2004: The atmosphere general circulation model ECHAM5. Part 2: Sensitivity of simulated climate to horizontal and vertical resolution, volume 354 of *MPI-Berichte* – Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg.
- RUMMUKAINEN, M., 2010: State-of-the-art with regional climate models. – WIREs Climate Change **1**, 82–96.
- SPEKAT, A., W. ENKE, F. KREIENKAMP, 2006: Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für den Freistaat Sachsen und Bereitstellung

- regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die Szenarios B1, A1B und A2 (WEREX IV). Endbericht: Transiente Szenarios. Technical Report Werkvertrag 13-0345.42/237, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden.
- SPEKAT, A., F. KREIENKAMP, W. ENKE, 2007a: Erstellung von transienten Szenarios für Hessen. Endbericht. Technical report, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden. Werkvertrag 4500272588.
- SPEKAT, A., W. ENKE, F. KREIENKAMP, 2007b: Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES-Szenarios B1, A1B und A2 (Endbericht). Im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens: Klimaauswirkungen und Anpassungen in Deutschland - Phase I: Erstellung regionaler Klimaszenarios für Deutschland des Umweltbundesamtes. Technical Report Förderkennzeichen 204 41 138, Umweltbundsamt, Dessau [http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf\\_l/3133.pdf](http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf_l/3133.pdf).
- SPEKAT, A., F. KREIENKAMP, W. ENKE, 2008: Probabilistische Abschätzung regionaler Klimaänderungen der kommenden Dekaden und ihre Unsicherheiten (PARK): Anwendung von Methoden zur Abschätzung regionaler Klimaänderungen der kommenden Dekaden, Szenarienrechnungen mit WETTREG. Dritter Zwischenbericht. Technical report, Land Baden-Württemberg, vertreten durch das Umweltministerium (UM), dieses vertreten durch die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe.
- SPEKAT, A., F. KREIENKAMP, W. ENKE, 2010: An impact-oriented classification method for atmospheric patterns. – *Phys. Chem. Earth* **35**, 352–359, Available at <http://dx.doi.org/10.1016/j.pce.2010.03.042>.
- TAUBENHEIM, J., 1969: Statistische Auswertung geophysikalischer und meteorologischer Daten – Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.-G., Leipzig.
- UPPALA, S., P. KÅLLBERG, A. SIMMONS, U. ANDRAE, DA V. COSTA BECHTOLD, M. FIORINO, J. G. J., HASELER, A. HERNANDEZ, G. KELLY, X. LI, K. ONOGI, S. SAARINEN, N. SOKKA, R. ALLAN, E. ANDERSSON, K. ARPE, M. BALMASEDA, A. BELJAARS, L. VAN DE BERG, J. BIDLOT, N. BORMANN, S. CAIRES, F. CHEVALLIER, A. DETHOF, M. DRAGOSAVAC, M. FISHER, M. FUENTES, S. HAGEMANN, E. HÓLM, B. H. L. ISAKSEN, P. JANSSEN, R. JENNE, A. MCNALLY, J.-F. MAHFOUF, J.-J. MORCRETTE, N. RAYNER, R. SAUNDERS, P. SIMON, A. STERL, K. TRENBERTH, A. UNTCH, D. VASILJEVIC, P. VITERBO, J. WOOLLEN, 2005: The ERA-40 re-analysis. – *Quart. J. Roy. Met. Soc.* **131**, 2961–3012.

- VAN DER LINDEN, P., J. MITCHELL (EDS.), 2009: ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. – Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK.
- WANG, X., V. SWAIL, F. ZWIERS, 2006: Climatology and changes of extra-tropical cyclone activity: Comparison of ERA40 with NCEP/NCAR reanalysis for 1958–2001. – *J. Climate* **19**, 3145–3166.
- WILBY, R., T. WIGLEY, 1997: Downscaling general circulation model output: A review of methods and limitations. – *Progr. Phys. Geogr.* **21**, 530–548.
- WMO, 2010: Guide to climatological practices, 3rd edition. Technical report, World Meteorological Organization, (WMO-No. 100).
- WOODS, A., 2006: Medium-Range Weather Prediction. The European Approach. The Story of The European Center for Medium-Range Weather Forecasts – Springer, New York.
- YARNAL, B., 1993: Synoptic Climatology in Environmental Analysis – Belhaven Press.

Teil II  
Anhänge





# A Beschreibung der Abbildungen

Auf den Folgeseiten sind in gruppierter Form Darstellungen mehrerer Felder, die zur Definition der Wetterlagen durch die WETTREG Version von 2010 bestimmt wurden, dokumentiert. Dabei handelt es sich um Felder für die 8 Wetterlagen des Feuchteregimes, jeweils als „Typ: RR“ gekennzeichnet sowie die Felder für die 12 Wetterlagen des Temperaturregimes, jeweils als „Typ: TM“ gekennzeichnet. Die Darstellung erfolgt jahreszeitenweise. Die einzelnen Bilder stellen die für jede dargestellte Größe normierte räumliche Verteilung dar. Sie basieren auf einem äquidistanten Gitternetz mit 100 km Weite, dessen Mittelpunkt auf der Koordinate 51°N und 10°O liegt. Die Bildunterschriften setzen sich jeweils aus der Kennung des Feldes und der Nummer der WETTREG-Wetterlage zusammen, wobei abhängig von Feucht- resp. Temperaturregime sowie der Jahreszeit unterschiedliche Felder in WETTREG verwendet werden.

Die jeweiligen Teilfiguren sind mit `k1_fk` gekennzeichnet, die Klassenzahl `k1` liegt beim Feuchteregime zwischen 01 (sehr trocken) und 08 (sehr niederschlagsreich) und beim Temperaturregime zwischen 01 (viel kälter als Mittel) und 12 (viel wärmer als Mittel). Die Feldkennungen `fk` sind:

- 01 – Geopotenzielle Höhe, 1000 hPa-Niveau
- 02 – Geopotenzielle Höhe, 850 hPa-Niveau
- 03 – Geopotenzielle Höhe, 700 hPa-Niveau
- 04 – Geopotenzielle Höhe, 500 hPa-Niveau
- 05 – Temperatur, 850 hPa-Niveau
- 13 (nur Winter, Temperaturregime) – Vorticity, 1000 hPa-Niveau
- 14 – Vorticity, 850 hPa-Niveau
- 18 – Schichtdicke, 700/1000 hPa
- 34 – Advektion der absoluten Feuchte, 850 hPa-Niveau

Die Selektion der jeweiligen Felder erfolgte durch eine Screening-Analyse im Zuge der regionsspezifischen Anpassung.

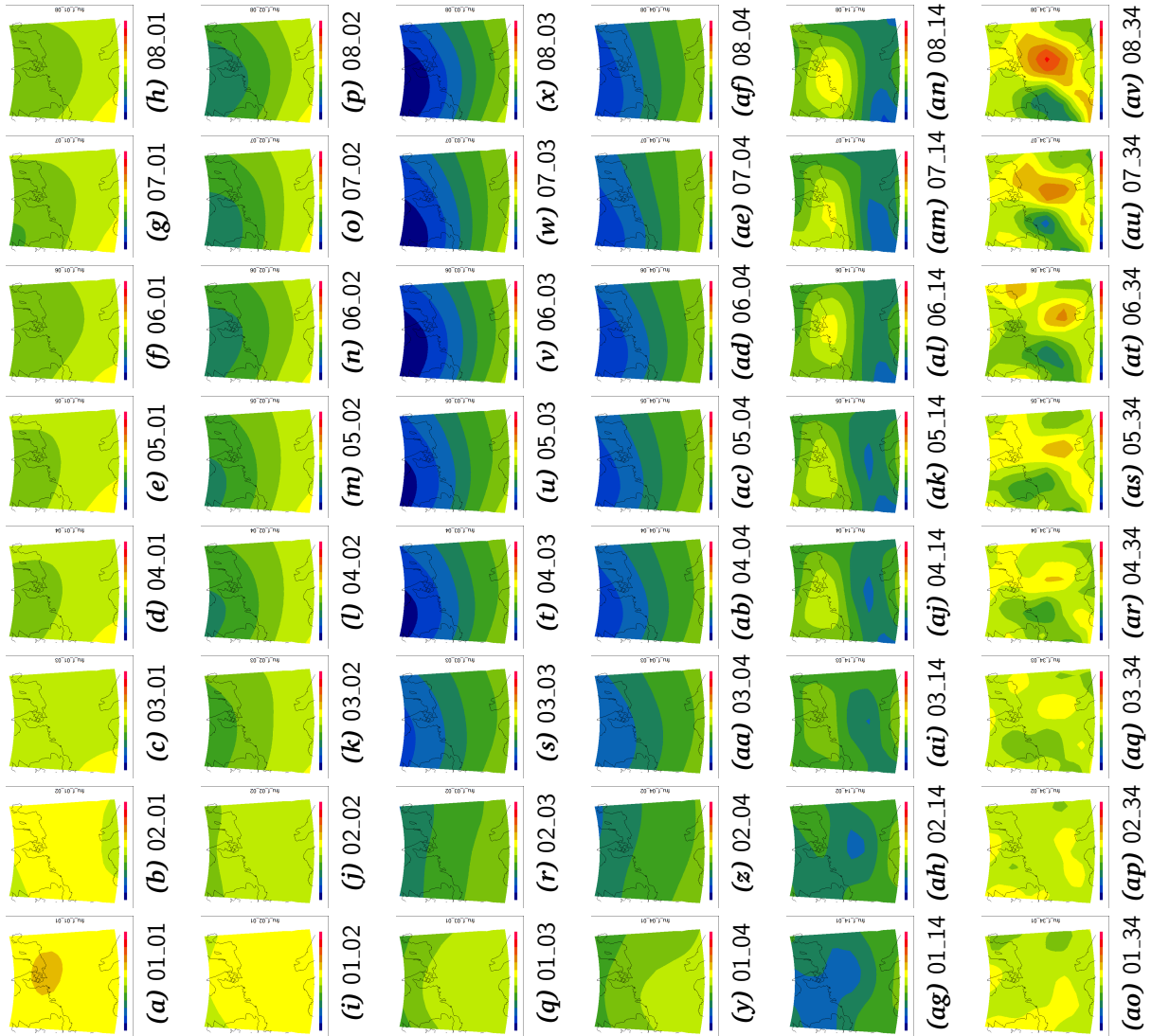


Abbildung A.1: Typ: RR, Jahreszeit: Frühjahr (März, April, Mai).

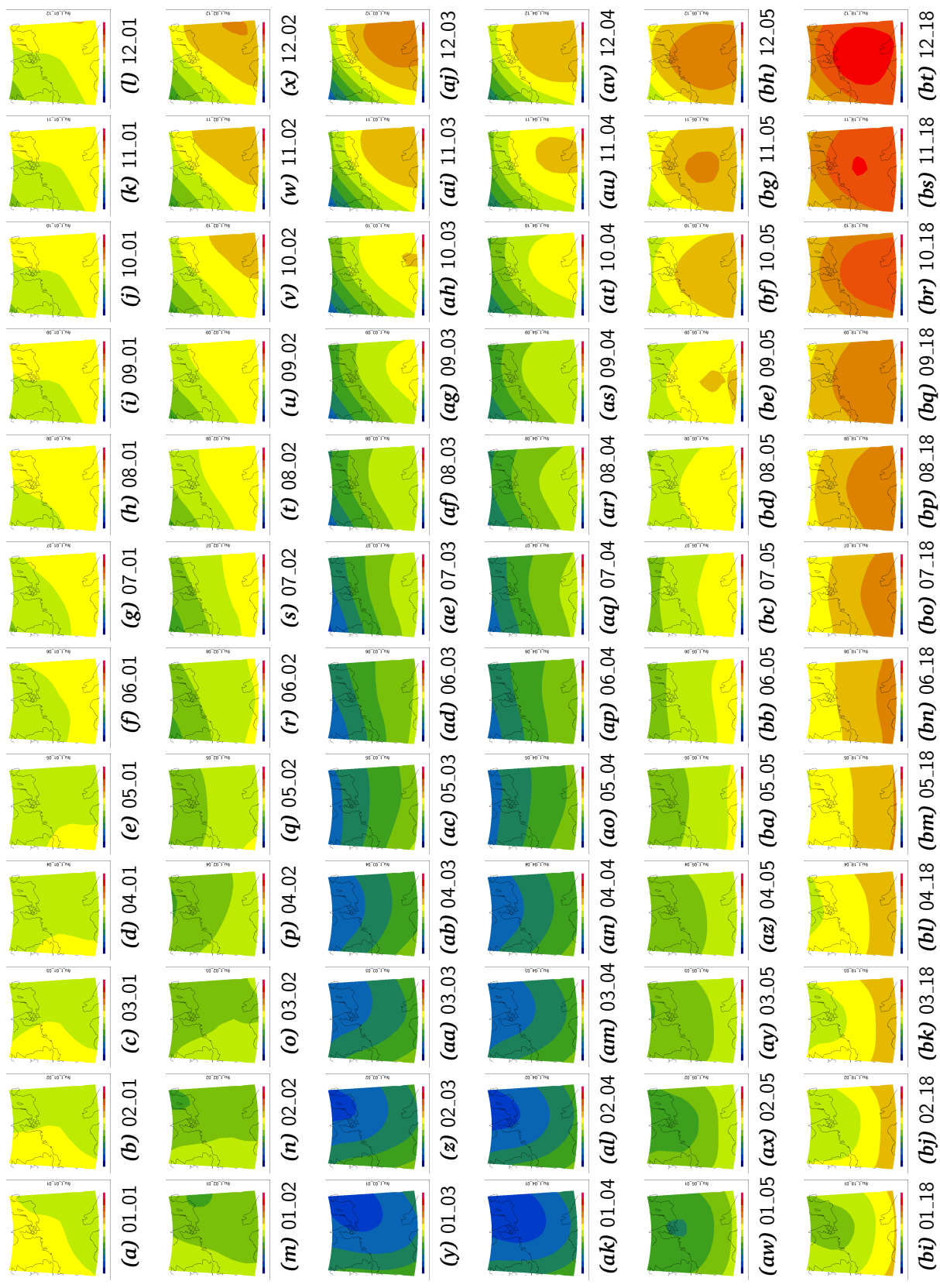


Abbildung A.2: Typ: TM, Jahreszeit: Frühjahr (März, April, Mai).

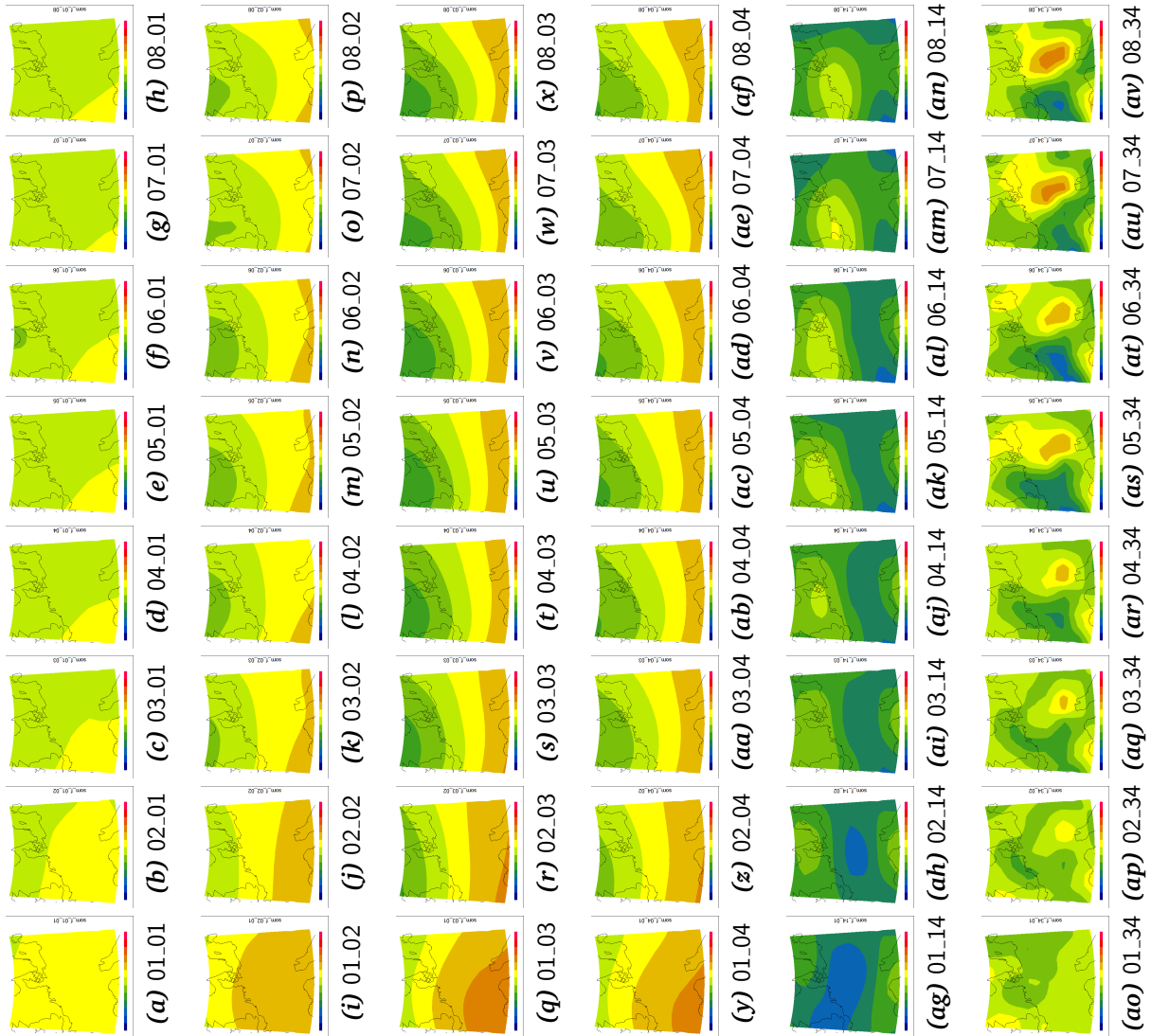


Abbildung A.3: Typ: RR, Jahreszeit: Sommer (Juni, Juli, August).

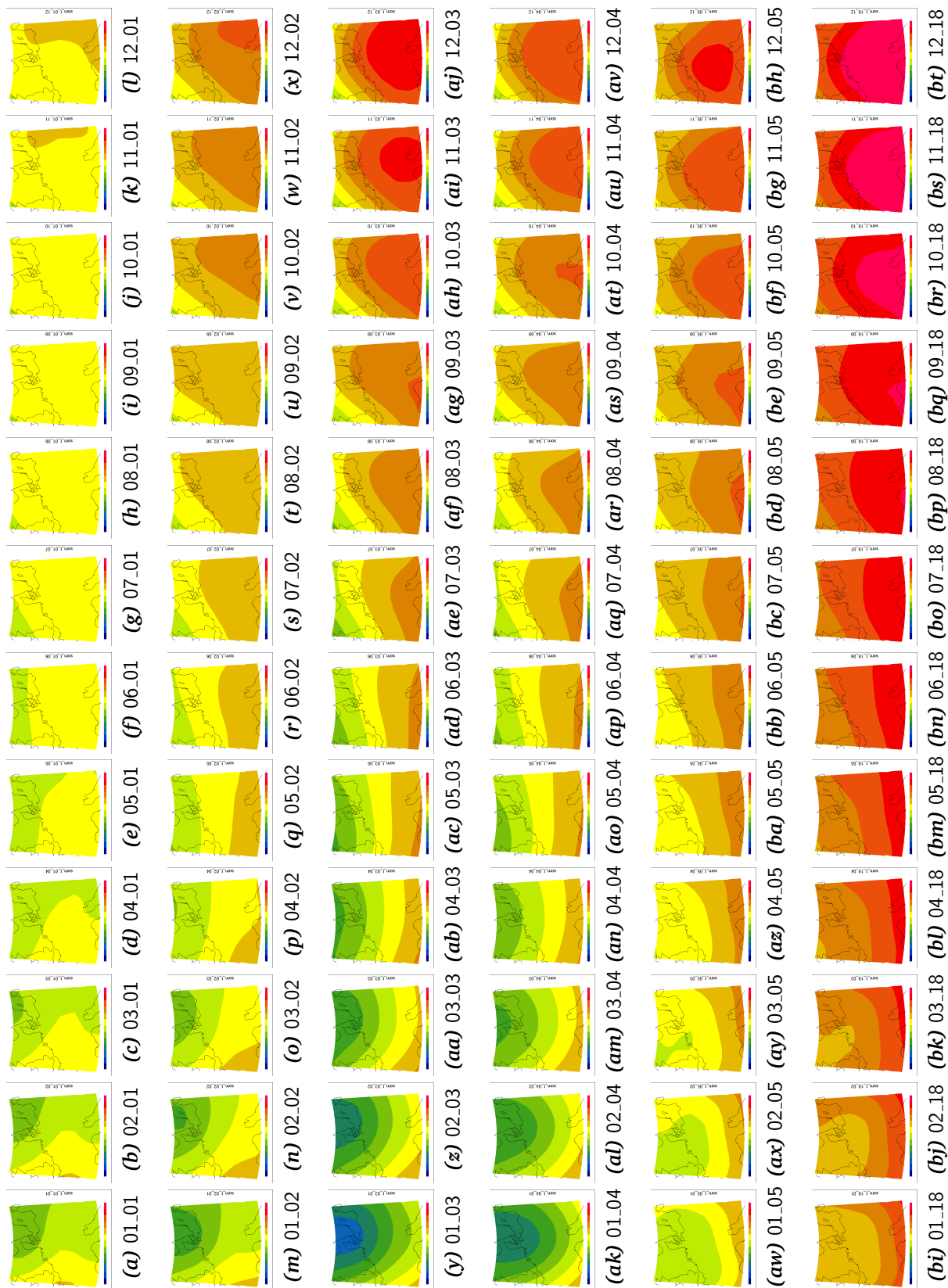


Abbildung A.4: Typ: TM, Jahreszeit: Sommer (Juni, Juli, August).

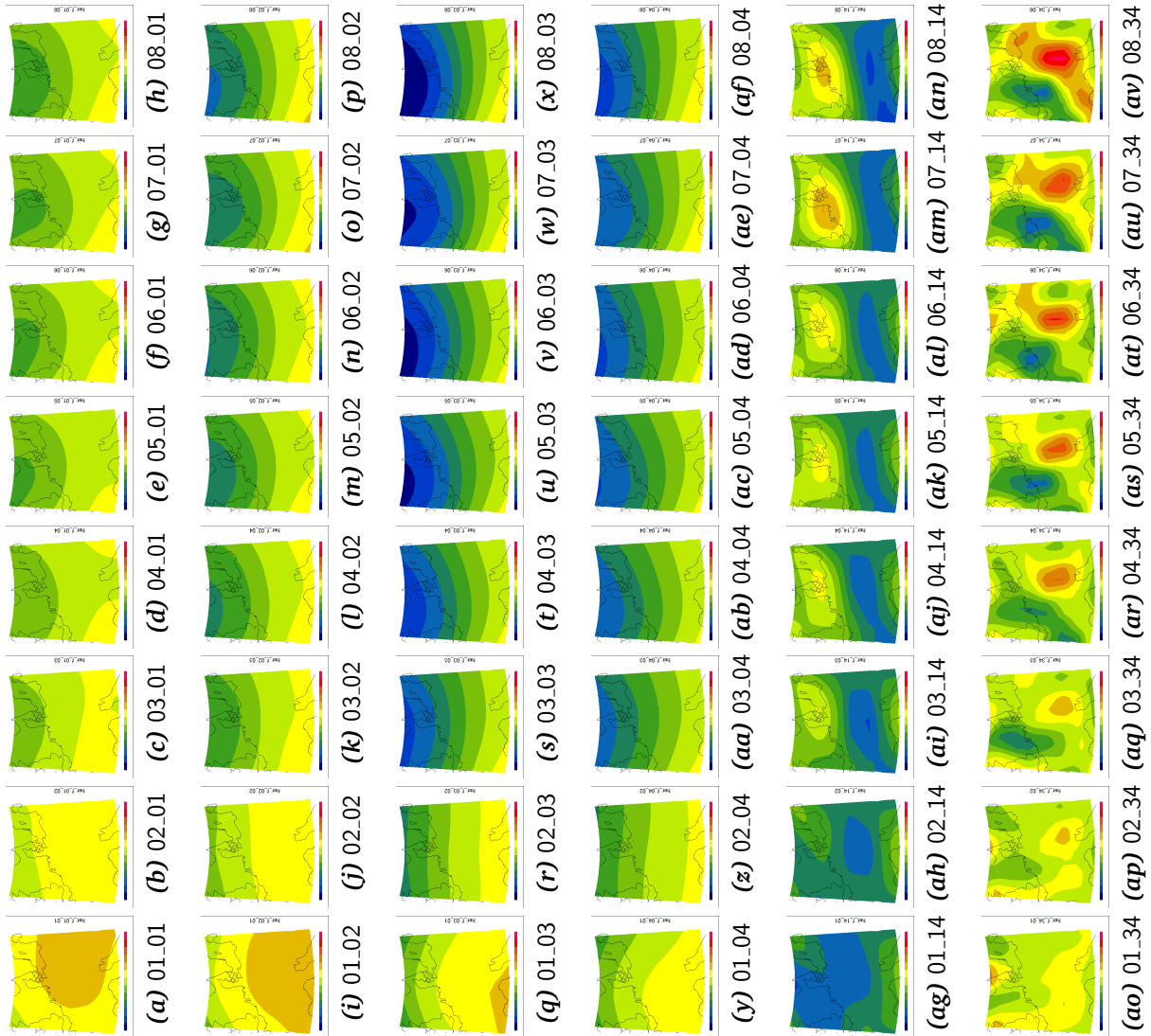


Abbildung A.5: Typ: RR, Jahreszeit: Herbst (September, Oktober, November).

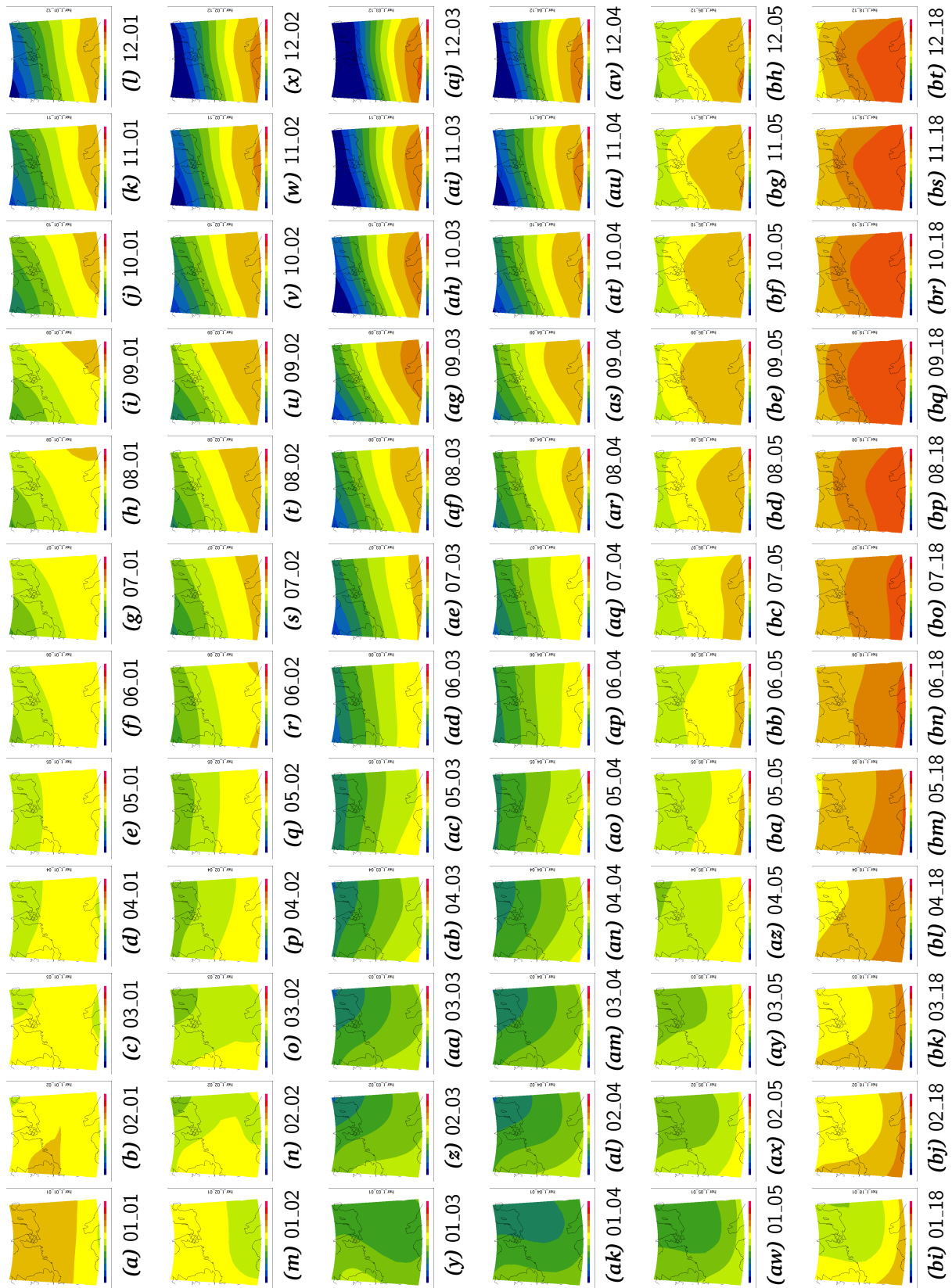


Abbildung A.6: Typ: TM, Jahreszeit: Herbst (September, Oktober, November).

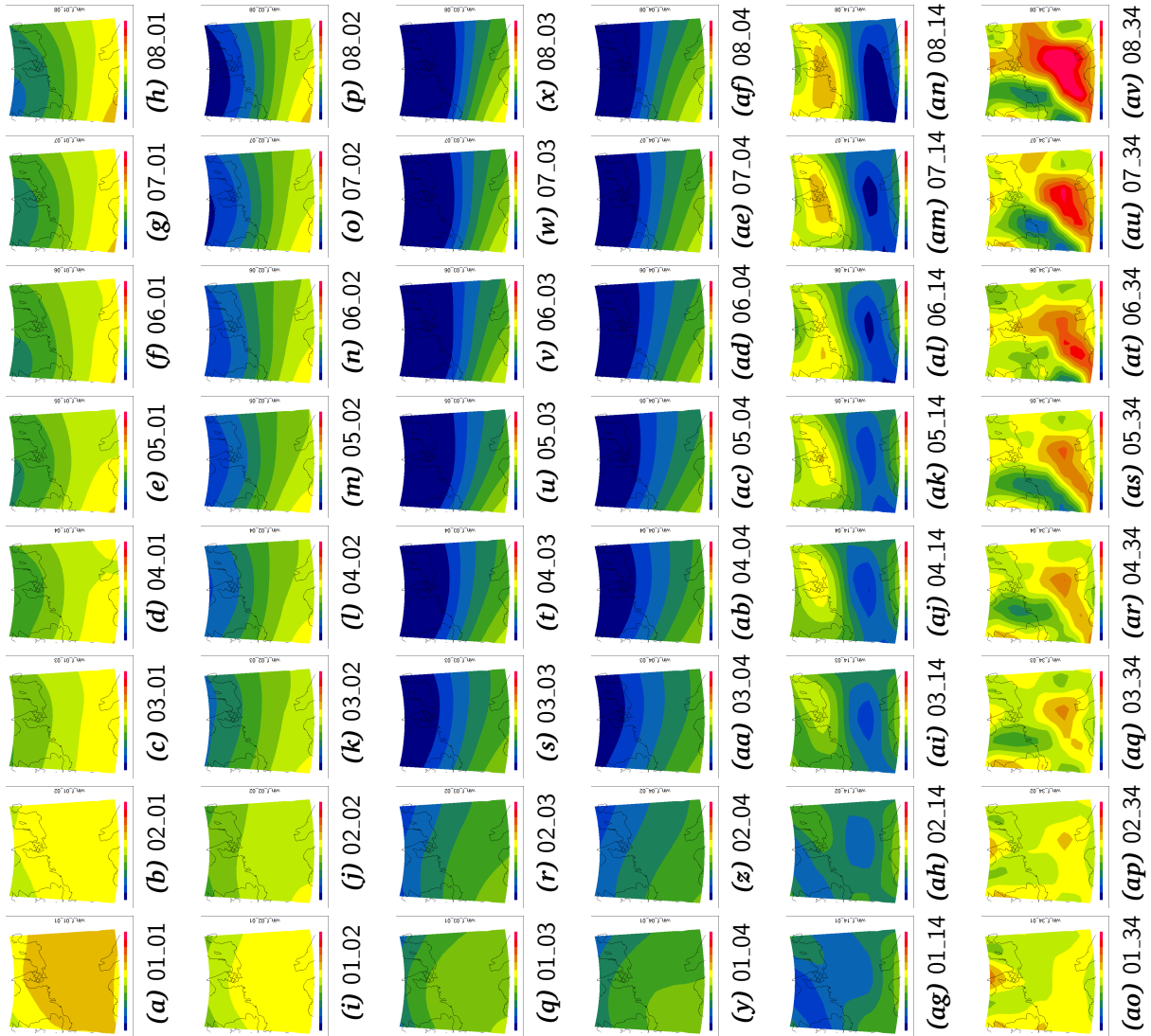


Abbildung A.7: Typ: RR, Jahreszeit: Winter (Dezember, Januar, Februar).



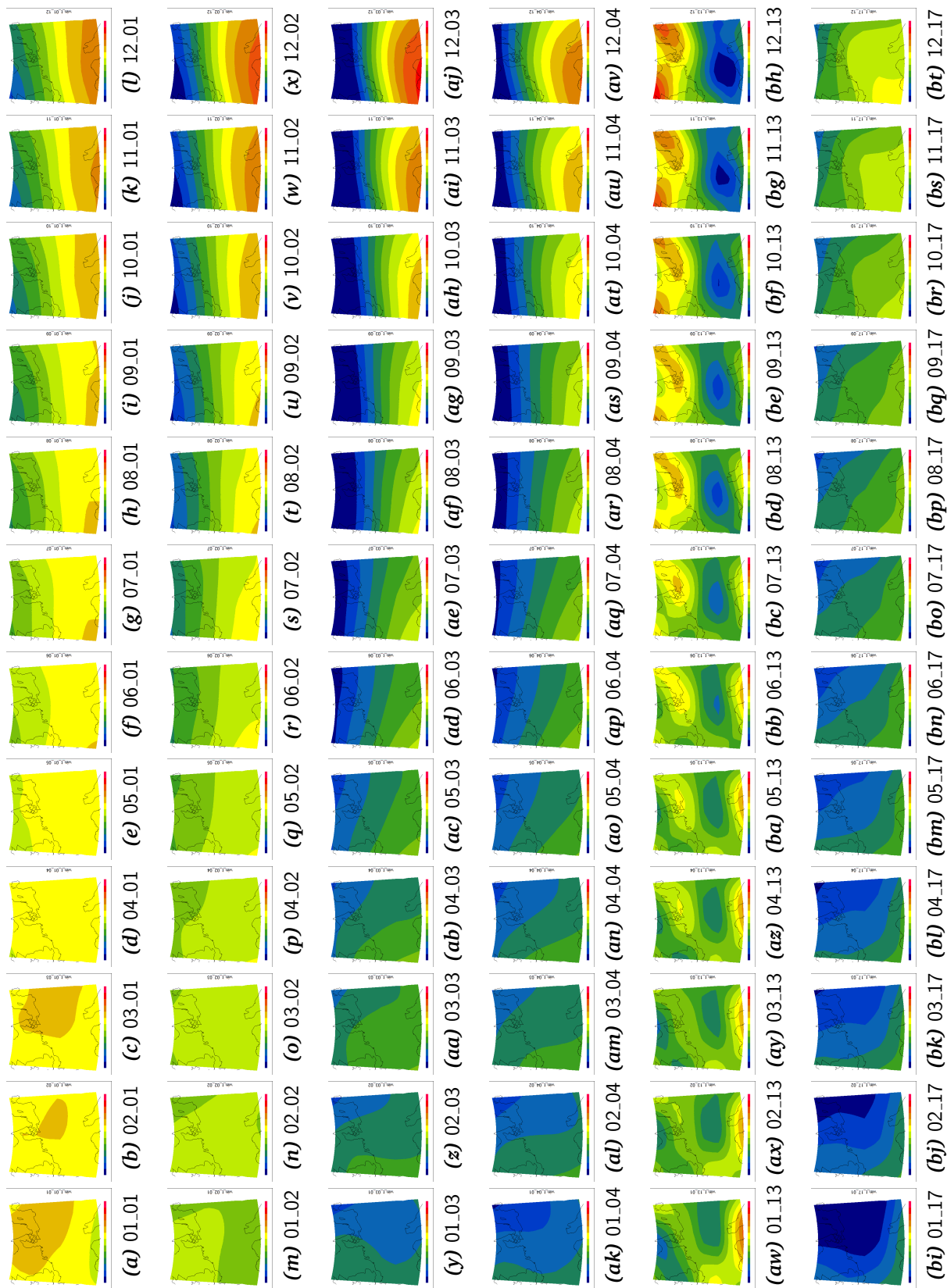


Abbildung A.8: Typ: TM, Jahreszeit: Winter (Dezember, Januar, Februar).



# Abbildungsverzeichnis

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 2.1 | Pool der Klima- (links) und Niederschlagsstationen (rechts). Aus jeder Karte ist zusätzlich zu ersehen, wie sich die Stationsdichte von der WETTREG2006-Studie zur WETTREG-Studie von 2010 erhöht hat. . . . .  | 9  |
| 4.1 | Vergleich der Simulation (WETTREG, angetrieben mit dem 20C-Lauf von ECHAM5, über die zehn Simulationen gemittelt) mit den Beobachtungsdaten der Jetztzeit. Element: Tagesmitteltemperatur. Periode: 1971–2000. Blautöne: Modell zu kalt, Rottöne: Modell zu warm. . . . .   | 16 |
| 4.2 | Vergleich der Simulation (WETTREG, angetrieben mit dem 20C-Lauf von ECHAM5, über die zehn Simulationen gemittelt) mit den Beobachtungsdaten der Jetztzeit. Element: Niederschlagssumme. Periode: 1971–2000. Blautöne: Modell zu feucht, Rottöne: Modell zu trocken. . . . . | 18 |
| 4.3 | Vergleich der Simulation (WETTREG, angetrieben mit dem 20C-Lauf von ECHAM5, über die zehn Simulationen gemittelt) mit den Beobachtungsdaten der Jetztzeit. Element: Luftdruck. Periode: 1971–2000. . . . .  | 20 |
| 4.4 | Vergleich der Simulation (WETTREG, angetrieben mit dem 20C-Lauf von ECHAM5, über die zehn Simulationen gemittelt) mit den Beobachtungsdaten der Jetztzeit. Element: relative Feuchte. Periode: 1971–2000. . . . .   | 20 |
| 4.5 | Vergleich der Simulation (WETTREG, angetrieben mit dem 20C-Lauf von ECHAM5, über die zehn Simulationen gemittelt) mit den Beobachtungsdaten der Jetztzeit. Element: Dampfdruck. Periode: 1971–2000. . . . .   | 21 |
| 4.6 | Vergleich der Simulation (WETTREG, angetrieben mit dem 20C-Lauf von ECHAM5, über die zehn Simulationen gemittelt) mit den Beobachtungsdaten der Jetztzeit. Element: Sonnenscheindauer. Periode: 1971–2000. . . . .  | 21 |
| 4.7 | Vergleich der Simulation (WETTREG, angetrieben mit dem 20C-Lauf von ECHAM5, über die zehn Simulationen gemittelt) mit den Beobachtungsdaten der Jetztzeit. Element: . Periode: 1971–2000. . . . .   | 22 |
| 4.8 | Vergleich der Simulation (WETTREG, angetrieben mit dem 20C-Lauf von ECHAM5, über die zehn Simulationen gemittelt) mit den Beobachtungsdaten der Jetztzeit. Element: Windgeschwindigkeit. Periode: 1971–2000. . . . .  | 22 |

|      |  |    |
|------|--|----|
| 5.1  | Entwicklung der Häufigkeit der 12 Temperatur-Zirkulationsmuster zwischen 1961 und 2100 für die einzelnen Jahreszeiten. 1961–2000: ECHAM5 20C-Daten. 2001–2100: ECHAM5 Szenario A1B. . . . .  | 24 |
| 5.2  | Wie Abb. 5.1, jedoch für das Szenario A2. . . . .  | 24 |
| 5.3  | Wie Abb. 5.1, jedoch für das Szenario B1. . . . .  | 25 |
| 5.4  | Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Frühjahr und im Sommer. Element: Tagesmitteltemperatur. Periode: 2021 bis 2050 minus 1971 bis 2000. . . . .               | 28 |
| 5.5  | Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Herbst und im Winter. Element: Tagesmitteltemperatur. Periode: 2021 bis 2050 minus 1971 bis 2000. . . . .                 | 29 |
| 5.6  | Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Jahr. Element: Tagesmitteltemperatur. Periode: 2021 bis 2050 minus 1971 bis 2000. . . . .                                 | 30 |
| 5.7  | Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Frühjahr und im Sommer. Element: Niederschlag (prozentuale Änderung). Periode: 2021 bis 2050 minus 1971 bis 2000. . . . . | 31 |
| 5.8  | Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Herbst und im Winter. Element: Niederschlag (prozentuale Änderung). Periode: 2021 bis 2050 minus 1971 bis 2000. . . . .   | 32 |
| 5.9  | Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Jahr. Element: Niederschlag (prozentuale Änderung). Periode: 2021 bis 2050 minus 1971 bis 2000. . . . .                   | 33 |
| 5.10 | Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Jahr. Elemente: Luftdruck und relative Feuchte. Periode: 2021 bis 2050 minus 1971 bis 2000. . . . .                       | 35 |
| 5.11 | Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Jahr. Elemente: Dampfdruck und Sonnenscheindauer. Periode: 2021 bis 2050 minus 1971 bis 2000. . . . .                     | 36 |

|   |    |
|---|----|
| 5.12 Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Jahr. Elemente: Bedeckungsgrad und Windgeschwindigkeit. Periode: 2021 bis 2050 minus 1971 bis 2000. . . . .               | 37 |
| 5.13 Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Frühjahr und im Sommer. Element: Tagesmitteltemperatur. Periode: 2071 bis 2100 minus 1971 bis 2000. . . . .               | 39 |
| 5.14 Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Herbst und im Winter. Element: Tagesmitteltemperatur. Periode: 2071 bis 2100 minus 1971 bis 2000. . . . .                 | 40 |
| 5.15 Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Jahr. Element: Tagesmitteltemperatur. Periode: 2071 bis 2100 minus 1971 bis 2000. . . . .                                 | 41 |
| 5.16 Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Frühjahr und im Sommer. Element: Niederschlag (prozentuale Änderung). Periode: 2071 bis 2100 minus 1971 bis 2000. . . . . | 42 |
| 5.17 Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten - Szenarios A1B, A2 und B1 im Herbst und im Winter. Element: Niederschlag (prozentuale Änderung). Periode: 2071 bis 2100 minus 1971 bis 2000. . . . .        | 43 |
| 5.18 Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Jahr. Element: Niederschlag (prozentuale Änderung). Periode: 2071 bis 2100 minus 1971 bis 2000. . . . .                   | 44 |
| 5.19 Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Jahr. Elemente: Luftdruck und relative Feuchte. Periode: 2071 bis 2100 minus 1971 bis 2000. . . . .                       | 46 |
| 5.20 Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Jahr. Elemente: Dampfdruck und Sonnenscheindauer. Periode: 2071 bis 2100 minus 1971 bis 2000. . . . .                     | 47 |

|   |    |
|---|----|
| 5.21 Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Jahr. Elemente: Bedeckungsgrad und Windgeschwindigkeit. Periode: 2071 bis 2100 minus 1971 bis 2000. . . . .   | 48 |
| 5.22 Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenario A1B im Jahr. Dargestellt ist die Zahl der Eistage (Tagesmaximum unter 0°C) für die Perioden 1971–2000 (20C) und 2071–2100 (ECHAM5-A1B). Obere Reihe: Skalierung von 0 bis 140 Eistagen pro Jahr; untere Reihe: Skalierung von 0 bis 49 Tagen pro Jahr. . . . . | 50 |
| 5.23 Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Jahr. Dargestellt ist die Zahl der Eistage (Tagesmaximum unter 0°C, linke Spalte mit Karten) und der Frosttage (Tagesminimum unter 0°C, rechte Spalte mit Karten). Periode: 2071 bis 2100 minus 1971 bis 2000. . . . .                      | 51 |
| 5.24 Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenario A1B im Jahr. Dargestellt ist die Zahl der Sommertage (Tagesmaximum über 25°C) und der Heißen Tage (Tagesmaxima über 30°C) für die Perioden 1971–2000 (20C) und 2071–2100 (ECHAM5-A1B). . . . .   | 52 |
| 5.25 Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Jahr. Dargestellt ist die Zahl der Sommertage (Tagesmaximum mindestens 25°C, linke Spalte mit Karten) und der heißen Tage (Tagesmaximum mindestens 30°C, rechte Spalte mit Karten). Periode: 2071 bis 2100 minus 1971 bis 2000. . . . .     | 53 |
| 5.26 Vergleich der Simulation (über die zehn Simulationen gemittelt) mit den 20C-Lauf-Daten für die mit WETTREG regionalisierten ECHAM5-Szenarios A1B, A2 und B1 im Jahr. Dargestellt ist die Zahl der Tropennächte (Minimumtemperatur über 20°C. Periode: 2071 bis 2100 minus 1971 bis 2000. . . . .   | 54 |

|     |   |      |
|-----|---|------|
| 6.1 | Gegenüberstellung der Jahres-Temperatursignale im Vergleich der Perioden 2071–2100 (Antrieb: ECHAM5-Szenariorechnungen) und 1971–2000 (Antrieb: ECHAM5-20C-Rechnungen) für 11 verschiedene Regionalisierungen. Die Breite jedes Bandes gibt die Werteverteilung innerhalb Deutschlands wieder. Die dargestellten Regionalisierungen sind: CLM/EH5_L2/B1 - CCLM, angetrieben vom B1-Szenariolauf 2 des ECHAM5-Modells; CLM/EH5_L2/A1B - CCLM, angetrieben vom A1B-Szenariolauf 2 des ECHAM5-Modells; CLM/EH5_L1/B1 - CCLM, angetrieben vom B1-Szenariolauf 1 des ECHAM 5-Modells; CLM/EH5_L1/A1B - CCLM, angetrieben vom A1B-Szenariolauf 1 des ECHAM5-Modells; REMO10x/ECHAM5/B1 - REMO 10km Auflösung mit verdriftetem Niederschlag, angetrieben vom B1-Szenariolauf 1 des ECHAM5-Modells; REMO10x/ECHAM5/A2 - REMO 10km Auflösung mit verdriftetem Niederschlag, angetrieben vom A2-Szenariolauf 1 des ECHAM5-Modells; REMO10x/ECHAM5/A1B - REMO 10km Auflösung mit verdriftetem Niederschlag, angetrieben vom A1B-Szenariolauf 1 des ECHAM5-Modells; WETTREG/ECHAM5/B1 - WETTREG2006, angetrieben vom B1-Szenariolauf 1 des ECHAM5-Modells; WETTREG/ECHAM5/A2 - WETTREG2006, angetrieben vom A2-Szenariolauf 1 des ECHAM5-Modells; WETTREG/ECHAM5/A1B - WETTREG2006, angetrieben vom A1B-Szenariolauf 1 des ECHAM5-Modells; WETTREG2010/EH5_L1/A1B - WETTREG, Version 2010, angetrieben vom A1B-Szenariolauf 1 des ECHAM5-Modells; WETTREG2010/EH5_L1/A2 - WETTREG, Version 2010, angetrieben vom A2-Szenariolauf 1 des ECHAM5-Modells; WETTREG2010/EH5_L1/B1 - WETTREG, Version 2010, angetrieben vom B1-Szenariolauf 1 des ECHAM5-Modells. . . . . | 60   |
| 6.2 | Wie Abb. 6.1, jedoch für die Jahresniederschlagssignale. . . . .  | 61   |
| A.1 | Typ: RR, Jahreszeit: Frühjahr (März, April, Mai). . . . .   | IV   |
| A.2 | Typ: TM, Jahreszeit: Frühjahr (März, April, Mai). . . . .   | V    |
| A.3 | Typ: RR, Jahreszeit: Sommer (Juni, Juli, August). . . . .   | VI   |
| A.4 | Typ: TM, Jahreszeit: Sommer (Juni, Juli, August). . . . .   | VII  |
| A.5 | Typ: RR, Jahreszeit: Herbst (September, Oktober, November). . .   | VIII |
| A.6 | Typ: TM, Jahreszeit: Herbst (September, Oktober, November). . .   | IX   |
| A.7 | Typ: RR, Jahreszeit: Winter (Dezember, Januar, Februar). . . . .  | X    |
| A.8 | Typ: TM, Jahreszeit: Winter (Dezember, Januar, Februar). . . . .  | XI   |





# Tabellenverzeichnis

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 2.1 | Wetterelemente in den bereitgestellten Klimastationszeitreihen. . .   | 9  |
| 2.2 | Anzahl der vom DWD zur Verfügung gestellten Klima- bzw. Niederschlagsstationen in den einzelnen Bundesländern/Freistaaten (BL/FS). . . . .  | 10 |
| 5.1 | Veränderung des Anteils der 12 Temperaturklassen im Laufe des 21. Jahrhunderts nach Jahreszeit und Szenario. Abnahmewerte zwischen 5 und 9% sind <b>blau</b> gedruckt; Abnahmewerte $\leq 10\%$ sind zusätzlich hellgrau unterlegt. Zunahmewerte zwischen 5 und 9% sind <b>rot</b> wiedergegeben; Zunahmewerte $\geq 10\%$ sind zusätzliche mittelgrau unterlegt. . . . . | 26 |



# Index

- Adaptationsmaßnahmen, 3
- Anomalie, *siehe* Anomalie-Ansatz
- Anomalie-Ansatz, 57
- Anpassungsgüte, 57
- Anstiegsrate, 27
- Antrieb, 4
- Antrieb für Modelle, 11
- Atmosphärische Muster, 4
  - Bestimmung, 12
  - Beziehung zu Lokalklima, 11
  - Häufigkeitsverteilung, 11, 57
  - Identifikation, 56
  - semi-stabile, 11
- Auflösung, räumliche, 7, 11
  
- Bedeckungsgrad, 9, 22
- Beobachtungsdaten, 8, 15
- Bewölkung, 57
- Boden-Messstation, 8
- Box-Whisker-Diagramm, 17, 27, 38
  
- CCLM, 59, 60
- Circulation-to-Environment, 12
- Climate Service Center, 4, 6
- Computer-Ressource, 5
- COST-Aktion 733, 12
  
- Dampfdruck, 9
- Datenquelle
  - Beobachtung, 15
  - Beobachtungen, 19
  - Beobachtungsdaten, 16
  - Globales Modell, 7
  - Klimadaten, 57, 58
  - Klimamessungen, 19
  - Klimastation, 8, 9
  - Messdaten, 8
  - Niederschlagsstation, 8, 9
  - Reanalyse, 8
  - Reanalysen, 7
- Datenreihe, synthetisierte, 15
- Dekadenmittel, 55
- Deutscher Wetterdienst, 8
- Diskretisierung, 12
  
- ECHAM4, 8
- ECHAM5, 4–8, 16, 19, 23, 28–33, 35–37, 39–44, 46–48, 50–55, 59, 60
- ECHAM5 20C, 7
- ECMWF, 7
- emergente Strukturen, 56
- Emissions-Szenario, 11
- Ensemble-Diagramm, 59–61
- ENSEMBLES, 3, 8
- Environment-to-Circulation, 11, 12
- Erkenntnisprozess zum globalen Wandel, 4
- Erwärmungsrate, 59
- Erwärmungssignal, 59
- Erwartungswert, 17
- Erzgebirgsregion, 38
- Extrem, 58
- Extreme von Klimamessungen, 11
  
- Feldgröße
  - Feuchte, 11
  - Vorticity, 11
  - Zirkulation, 11
- Feldgröße, atmosphärische, 11
- Feuchte, relative, 9
- Feuchteklasse, 58
- Freiheitsgrad, 17

- GCM, 4
- Giorgi-Postulat, 5
- Gitter, 5
- Größenklasse, 11
- großskalig, 4
- Großwetterlage, 12
  
- Häufigkeitsverteilung, 55
- Hochdruckwetterlage, 57
- Homogenisierung, 8, 12
- Homogenität, 7
- Homogenitätsprüfung, 8
  
- Interquartilbereich, 17, 27
- IPCC-Prozess, 3
- Irrtumswahrscheinlichkeit, 17
  
- Jahresgang, 23
- Jahresniederschlag, 59
- Jahresniederschlagssignal, 59
- Jetztzeit, Klima der, 7
  
- Küstenbereich, 38
- Kenntage, 27
  - Eistage, 27, 45, 49–51
  - Frosttage, 27, 49, 51
  - Heiße Tage, 27, 49, 53
  - Sommertage, 27, 49, 52, 53
  - Tropennächte, 27, 49, 54
- Klassifikation ähnlicher Tage, 55
- Klassifikationsmethode, 12
- Klima
  - Entwicklung, 4
  - Globales Modell, 4
  - Impakt, 12
  - Modellauflösung, 4
  - Modellierung, 4
  - Prozesse, 3
  - Skala, 4
  - Studie, 5
- Klimadaten, 8
- Klimaelement, 15
- Klimaextreme, zukünftige, 3
- Klimagröße, 12
- Klimagröße, lokale, 11
- Klimaimpakt, 45
- Klimamessreihe, 11
- Klimamessung, 8, 23
- Klimamodell, 4, 7, 11
  - Emissionsszenario, 5
  - Modellberandung, 4
  - Simulation, 5
  - Szenario, 5
  - Szenariorechnung, 5, 7, 15
- Klimamodell, globales, 11
- Klimasignal, 23, 34, 56
  - Änderungsniveau, 38
  - Änderungssignal, 45
  - Anstiegsniveau, 38
  - Niveau, 38
- Klimasimulation, 59
- Klimastation, 7
- Klimastationszeitreihe, 9
- Klimawandel, 3–5, 8
  - Bandbreite, 5
- Komplexität, optimale, 56
  
- Luftdruck, 9, 19, 45
  
- Messdaten, 7, 8
- Messreihe, 11
- Messungen, instrumentelle, 8
- Mittelgebirgsregion, 38
- Mittelwert von Klimamessungen, 11
- mittlere Klima, 23
- Modellsimulation, 15
- Multimodell-Ansätze, 3
- Musterbestimmung, 12
  
- Nesting-Strategie, 4
- Niederschlag, 9, 57
- Niederschlagsklasse, 12
- Niederschlagsrückgang, sommerlicher, 38, 59
- Niederschlagssignal, 27, 59
- Niederschlagszunahme, winterliche, 38, 59
  
- Parameterisierung, physikalische, 4
- PaRK-Projekt, 8
- Periodenlänge, 55
- Prediktoren, potenzielle, 8

- Prozesse, modellierte, 4  
 PRUDENCE, 3
- Randbedingungen, synoptisch-physikalische, 55
- Reanalyse  
   Ansatz, 7  
   Datensätze, 7  
   ERA40, 7  
   NCEP/NCAR, 7  
   Philosophie, 7
- Reanalysedaten, 7
- Rechnerkapazität, 5
- Regionalisierung, 3, 4, 8, 55, 59  
   dynamische, 4, 55  
   Grundansätze, 4  
   statistische, 4, 5, 55, 56
- Regionalisierungsstudie, 3
- Regionalisierungsverfahren, 4
- Reihensynthese, 57
- REMO, 59, 60
- Signifikanzschwelle, 17
- Simulation von Zirkulationsmodellen, 55
- Simulationen der Gegenwart, 23
- Simulationszeitreihe, 11
- Sommertrockenheit, 57
- Sonnenscheindauer, 9
- SRES, 8
- STARDEX, 3
- Stationen in Bundesländern, 10
- Stationsdichte, 9
- Stationszeitreihe, 11
- Strukturbildungsalgorithmus, 56
- Strukturklasse, 56
- Szenario  
   Bedeckungsgrad, 27, 37, 48  
   Bewölkung, 45  
   Dampfdruck, 27, 34, 36, 45, 47  
   Feuchte, relative, 27, 35, 45, 46  
   Jahresniederschlag, 38  
   Jahressignal, 38  
   Luftdruck, 27, 35, 45, 46  
   Niederschlag, 27, 31–33, 42–44  
   Niederschlagssignal, 27, 38  
   Sonnenscheindauer, 27, 36, 45, 47  
   Temperatur, 27–30, 39–41  
   Temperaturanstieg, 38  
   Temperaturanstiegssignal, 27, 38  
   Temperatursignal, 38  
   Temperatursignalstärke, 38  
   Temperaturzunahme, 38  
   Windgeschwindigkeit, 27, 37, 45, 48  
   Zeithorizont, 38, 45
- Szenario-Spezifika, 25
- t-Verteilung, 17
- Tagesmitteltemperatur, 15, 16
- Temperatur, 9, 15, 24
- Temperatur-Klassen, 12
- Temperaturanstiegssignal, 27
- Temperaturentwicklung, 59
- Temperaturklasse, 12, 26, 58
- Temperaturniveau, mittleres, 57
- Temperaturregime, 23, 57
- Temperatursignal, 38, 55, 59
- transiente Strategie, 12
- transiente Vorgehensweise, 58
- Transwetterlage, 4, 23, 56, 57  
   Ansatz, 5  
   Studie, 13
- Transwetterlagen, 23
- Treibhausgas-Emissionsszenario, 5
- Trennschärfe, 12
- TWL, *siehe* Transwetterlage
- UBA-Deutschlandstudie, 4
- UBA-Studie, 8, 19, 57
- Umweltbundesamt, 4
- Validierung, 15, 27  
   Überinterpretation, 19  
   Auflösung, 19  
   Bedeckungsgrad, 19  
   Dampfdruck, 19, 21  
   Feuchte, relative, 19, 20  
   Jahresdarstellung, 19  
   Jahreszeiten-spezifisch, 15

- Luftdruck, 19, 20
- Niederschlag, 19
- Randbedingungen, 15
- Sonnenscheindauer, 19, 21
- Standardabweichung, 17
- Temperatur, 17
- Wertebereich, 19
- Windgeschwindigkeit, 19, 22
- Zeiteinheit, 17
- Zeitraum, 15
- Variabilität, modellinterne, 15
- Varianz von Klimamessungen, 11
- Vegetationsperiode, 17
- Verfahrensbeschreibung, 11
- Vertrauensgrenze, 17
- Voralpenland, 38
- Vorhersagbarkeit, 3
  
- Wetterelement, 8, 9, 11
- Wettergenerator, 11, 55–57
- Wettergenerator, stochastischer, 55
- Wetterlage, 5
- Wetterlagenklasse, 57
- WETTREG, 4, 5, 7, 11, 12, 23
  - 2006, 4, 9, 55–59, 63
  - 2010, 6, 9, 23, 28–33, 35–37, 39–44, 46–48, 50–54, 57–59, 64
  - Temperaturabweichung Jah-  
resgang, 57
  - Temperaturbezug, 57
  - Temperaturmittelwert, 57
- Anomalieklasse, 57
- Methodik, 55, 63
- Modellbildungsphase, 23
- Niederschlagsintervalle, 56
- Regionalisierung
  - 2006, 6
  - 2010, 6
- Regionalisierungsmethode, 7
- Simulation, 15, 17, 19, 23, 27
- Studie 2006, 6
- Temperaturintervalle, 56
- Verfahren, 5
- Zirkulationsmuster, III
  
- Feuchteregime, III, IV, VI, VIII,  
X
- Temperaturregime, III, V, VII,  
IX, XI
- Windstärke, 9
- Witterungsabschnitt, 57
  
- Zeithorizont von ECHAM5, 7
- Zeitraumen, 58
- Zeitscheibe, 12, 58
- Zeitscheibe und transiente Strategie,  
58
- Zirkulation, atmosphärische, 5
- Zirkulationsgröße, atmosphärische,  
5
- Zirkulationsmodell, 55
- Zirkulationsmuster, 7, 11–13, 23, 24
  - Häufigkeit, 25
  - Häufigkeit, linearen Trend, 25
  - Häufigkeitsverteilung, 12
  - Häufigkeitszunahme, 25
- Zwei-Wege-Kopplung, 5