

Statistische Downscalingverfahren zur Ableitung von Extremereignissen in Österreich

Institut für Meteorologie und Physik
Universität für Bodenkultur Wien



Projektmitarbeiter und Autoren des Berichts:

Herbert Formayer

Christoph Matulla

Patrick Haas

Nikolaus Groll*

Alle Institut für Meteorologie und Physik, BOKU-Wien;

* GKSS Forschungszentrum-Geesthacht, Deutschland

Danksagung:Die Autoren bedanken sich bei den Mitarbeitern der StartClim Projekte 1, 2, 4 und den Kollegen am GKSS Forschungszentrum für die Unterstützung und Diskussionen.

Wien, November 2003

Teilprojekt von StartClim

“Startprojekt Klimaschutz: Erste Analysen extremer Wetterereignisse und ihrer Auswirkungen in Österreich“

Projektleitung: Institut für Meteorologie und Physik
der Universität für Bodenkultur Wien
Türkenschanzstr. 18, 1180 Wien
URL: <http://www.austroclim.at/startclim/>

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung / Abstract	4
5-1 Einleitung	6
5-2 Verwendete Downscalingmethoden	7
5-2.1 Kanonische Korrelationsanalyse (CCA)	7
5-2.2 Analogverfahren	8
5-3 Möglichkeiten und Grenzen der CCA	10
5-4 Möglichkeiten und Grenzen des Analogansatzes	14
5-5 Schlussfolgerung	19
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....	20
Literatur.....	21

Kurzfassung / Abstract

In dieser Arbeit werden lokalskalige Klimaänderungsszenarien für die Klimaparameter Temperatur und Niederschlag in Österreich vorgestellt. Diese basieren auf IS92a Emissionsszenarien des IPCC, deren Auswirkungen auf das Klimasystem mit dem globalen Zirkulationsmodell (GCM): ECHAM4/OPYC3 am Deutschen Klimarechenzentrum (DKRZ) auf einem groben den Globus umspannenden, Gitter berechnet worden sind. Diese IS92a Szenarien liegen in Hinblick auf die mögliche globale Temperaturzunahme im Mittelfeld der neuen SRES (Second Report Emission Szenarios) Szenarien (IPCC 2001).

Mit GCMs berechnete Szenarien sind nicht geeignet um direkt auf der regionalen Skala Aussagen über mögliche Veränderungen zu treffen. Es ist notwendig die Information von der groben Skala der GCMs auf die regionale Skala zu transformieren. Dies geschieht in der vorliegenden Arbeit mit empirischem Downscaling. Empirisches Downscaling basiert auf der Ableitung von statistischen Beziehungen zwischen Beobachtungen auf verschiedenen hoch aufgelösten Skalen. Auf der GCM Skala verwenden wir die NCEP/NCAR Reanalysedaten und auf der lokalen Skala Beobachtungen an Stationen, die von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik zur Verfügung gestellt wurden. Der Beobachtungszeitraum ist die zweite Hälfte des 20. Jhdts. Als Downscaling-Verfahren werden die Kanonische Korrelationsanalyse (CCA) auf Monatsbasis und die Analogverfahren auf Tagesbasis verwendet.

Generell kann gesagt werden, dass die Ergebnisse auf regionaler Skala für die Temperatur recht robust sind. In allen regionalen Szenarien bewegt sich die Temperaturänderung zwischen 1°C und 3°C und ist damit weit stärker als die Unsicherheit der Downscalingverfahrens. Beim Niederschlag gibt es weit größere Unterschiede zwischen den regionalen Szenarien (Ensembles).

Besonderer Schwerpunkt dieser Arbeit ist die Untersuchung der Downscalingverfahren auf Aussagen bezüglich Extremereignisse. Bei Verfahren auf Monatsbasis (CCA) können indirekt Aussagen über moderate Extremereignisse wie „Tropentage“ oder „Eistage“ abgeleitet werden, nicht jedoch für Starkniederschläge. Die mit dem Analog-Verfahren berechneten Szenarien können direkt auf Tagesbasis ausgewertet werden. Beim Analog-Verfahren zeigen sich beim Übergang von Reanalyse- auf GCM-Felder noch ungeklärte Probleme, die die Interpretation der Szenarien erschwert.

In this study we set out to provide local scale climate change scenarios for temperature and precipitation at about thirty stations in Austria. These are based on IPCC IS92a scenarios, which were realized with the ECHAM4/OPYC3 global circulation model (GCM). The global temperature increase caused by the IS92a scenarios lies in the middle of the newer SRES (Second Report Emission Scenarios) scenarios.

GCMs are suitable to reproduce the large scale behavior of climatic parameters, but cannot simulate satisfactorily local scale effects. To provide climate scenario data at the local scale it is necessary to use some kind of downscaling, i.e. to cascade down information from larger scales to smaller scales. In this work, statistical downscaling is applied, which is based on empirically derived relationships between the GCM scale and the local scale of the stations. At the GCM scale monthly NCEP/NCAR reanalysis data are used and at the local scale, station data provided by the Austrian weather service. The considered observation period spans the second half of the 20th century. Canonical Correlation Analysis (CCA) and the Analogue technique are used as downscaling tools on monthly and daily scales, respectively. On the regional scale the results are more robust for the temperature. All regional scenarios show a warming between 1°C to 3°C, which clearly exceeds the uncertainty of the downscaling techniques. For precipitation no significant trend can be seen in the regional ensembles.

The main aim of this study is to investigate the reliability of extreme events obtained from the downscaling techniques. From methods based on monthly data (CCA), moderate extreme events as „Tropentage“ or „Eistage“ can be derived statistically for temperature, but that is not possible for precipitation. The scenarios produced with the Analogue technique can be analysed directly on a daily base. However, this technique shows some unresolved problems in the change from Reanalyses- to GCM-fields. This fact limits the interpretation of these scenarios.

5-1 Einleitung

Die derzeitigen gekoppelten Globalen Zirkulations Modelle (GCM) sind recht gut in der Lage, das Klima auf globaler bis kontinentaler Größenordnung zu reproduzieren. Um zu regionalen Aussagen aus den GCM-Szenarien zu gelangen, werden seit Beginn der 90er Jahre verschiedene Downscaling-Verfahren entwickelt und eingesetzt.

Statistische Downscaling Verfahren sind in der Klimafolgenforschung weit verbreitet, da sie geringere Ansprüche an die Infrastruktur stellen als dynamische Verfahren und relativ einfach an die jeweiligen Ansprüche der Aufgabenstellung angepasst werden können (Hewitson und Crane 1996). Bei diesen Verfahren wird ein statistischer Zusammenhang zwischen beobachteten Stationsdaten und großräumigen Verhältnissen (von einigen GCM Gitterpunktwerten bis hin zu kontinentalen Strukturen) abgeleitet.

Notwendige Voraussetzungen, auf denen das empirisch/statistische Downscaling beruht, sind:

- Die gewählten Prädiktoren steuern die regionale Variabilität des Klimas und werden vom GCM realistisch beschrieben.
- Die Klimaänderung wird im Wesentlichen von den Prädiktoren erfaßt.
- Der Zusammenhang zwischen den Skalen behält auch unter geänderten Klimabedingungen seine Gültigkeit.

Der Großteil dieser Downscaling-Verfahren wurde bisher für klimatologische Anwendungen verwendet, wobei sowohl auf regionaler, als auch auf großskaliger Ebene Monatsmittel als Eingangsgrößen verwendet wurden. Hierbei werden in erster Linie Veränderungen der großräumigen Zirkulationsmuster untersucht. Erst neuere Projekte, wie STARDEX der Europäischen Kommission, beschäftigen sich direkt mit der Ableitung von Informationen über Extremereignisse aus Klimaänderungsszenarien mittels statistischer Verfahren auf Tagesbasis.

Ziel des vorliegenden Projektes war es zu klären, wie weit verschiedene statistische Downscaling-Verfahren für die Abbildung von Extremereignissen in Österreich geeignet sind und erste Aussagen aus Klimaänderungsszenarien abzuleiten.

Als globale Klimaänderungsszenarien wurden zwei IS92a Szenarien verwendet. Diese stammen vom Deutschen Klimarechenzentrum (DKRZ) und sind mit dem ECHAM4/OPYC3 GCM auf einem Gitter mit der räumlichen Auflösung von rund 250km berechnet worden. Diese IS92a Szenarien liegen in Hinblick auf die mögliche globale Temperaturzunahme im Mittelfeld der neuen SRES (Second Report Emission Szenarios) Szenarien (IPCC 2001).

Innerhalb von StartClim wurde sehr eng mit den Projekten StartClim 1 und StartClim 2 in Fragen der Datenverfügbarkeit und Datenqualität zusammengearbeitet. Mit den Kollegen von StartClim 4 erfolgten zahlreiche Diskussionen bezüglich der Interpretation der Ergebnisse, der Regionseinteilung Österreichs und der Validierung.

5-2 Verwendete Downscalingmethoden

In diesem Projekt wurde ein Verfahren auf Monatsbasis und eines auf Tagesbasis untersucht. Diese Downscaling-Verfahren sind im Rahmen eines Forschungsprojektes für das Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur für Österreich adaptiert worden. Auf Monatsbasis wurde die Kanonische Korrelationsanalyse (CCA) und auf Tagesbasis das Analogverfahren verwendet.

5-2.1 Kanonische Korrelationsanalyse (CCA)

Die kanonische Korrelationsanalyse (CCA) hat weite Verbreitung in der Meteorologie gefunden. Insbesondere in der Klimaforschung wird sie zum Downscaling von klassischen meteorologischen Größen wie Temperatur oder Niederschlag (von Storch et al. 1993; Gyalistras et al. 1994; Busuioc und von Storch 1996) verwendet, findet aber auch bei anderen Größen wie beispielsweise phänologischen Phasen (Maak und von Storch 1997; Matulla et al. 2003) Anwendung.

Die kanonische Korrelationsanalyse wurde von Hotelling (1936) erstmals beschrieben und ist ein lineares Verfahren, das charakteristische Variabilitätsmuster zueinander in Beziehung setzt. Sie ist so konstruiert, dass sie sukzessive jene Muster auswählt, deren Zeitreihen maximal korreliert sind. In der vorliegenden Arbeit wird die CCA in den EOF-Räumen, der GCM-Skala und der lokalen Skala durchgeführt. Das Signal ist also bereits vom Rauschen getrennt ehe man mit der CCA beginnt. Damit schränkt man die CCA auf Prozesse ein, deren Amplitude vergleichsweise groß ist und verhindert, dass sie Pärchen kanonischer Muster auszeichnet, die von kleiner Amplitude sind bzw. die das Rauschen beschreiben. Eine ausführliche Darstellung der Methode findet man etwa in von Storch und Zwiers (1999).

Für diese Studie haben wir für die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts (1948-1998) Stationsdaten aus dem auf Monatsbasis vorliegenden ALOCLIM Datensatz (Auer et al. 2001; Böhm et al. 2001) der österreichischen Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) herausgegriffen (siehe Abb. 1). ALOCLIM ist ein homogenisierter Stationsdatensatz der eine lange Zeitspanne (z.T. 1767-2000) umfasst und bei dessen Erstellung auch Stationen aus den Nachbarländern verwendet wurden.

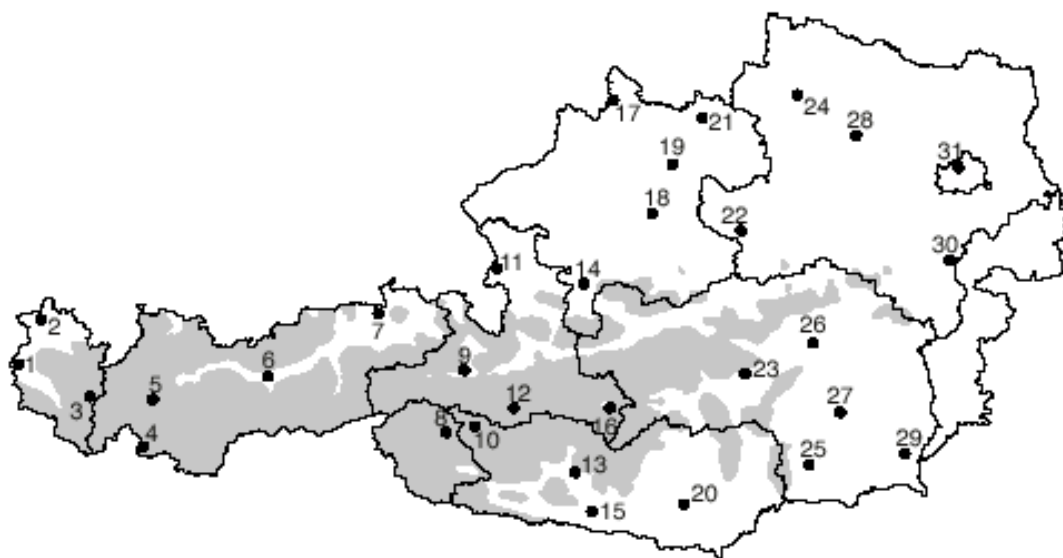


Abb. 5-1: Räumliche Verteilung der für das CCA-Verfahren verwendeten österreichischen Stationen.

Da das Wettergeschehen in den mittleren Breiten einen deutlichen saisonalen Charakter besitzt, ist es notwendig die CCA für jede Saison gesondert zu entwickeln. In letzter Zeit wurde auch der Ansatz diskutiert zwischen verschiedenen Klimaprovinzen zu unterscheiden (Woth 2001). In der vorliegenden Arbeit wird sowohl zwischen den Saisonen wie den Regionen unterschieden und jede Wahl gesondert betrachtet. Abbildung 2 zeigt exemplarisch für den Niederschlag eine solche Einteilung Österreichs in Regionen für den Winter und die Übergangsjahreszeiten. Eine detaillierte Ableitung der Regionen mit Hilfe verschiedener multivariater Verfahren findet sich in Matulla et al. (2003).

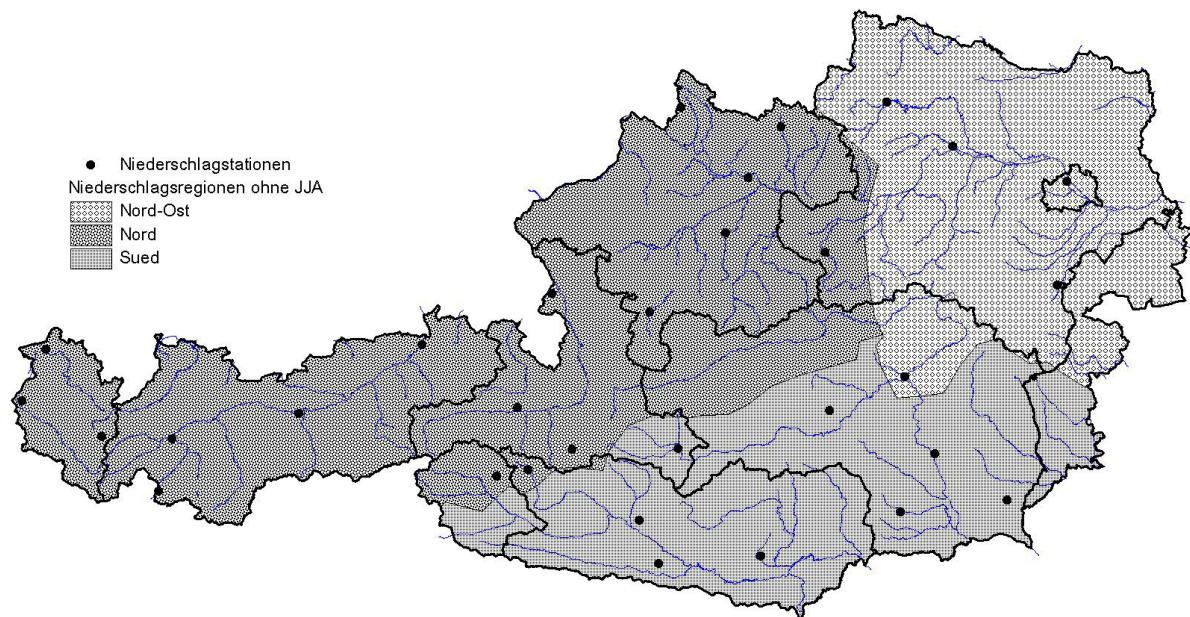


Abb. 5-2: Regionen für den saisonalen Niederschlag in Österreich. Diese Regionen werden im Winter und den Übergangsjahreszeiten verwendet.

Für jede dieser Regionen und jede Jahreszeit kalibrieren wir CCA-Modelle, die in Validierungsexperimenten getestet werden. Dabei lassen wir eine große Zahl von Prädiktorkombinationen zur Konkurrenz zu. Großskalige Felder, die eine ähnlich gute Leistung in den Experimenten aufweisen, werden herangezogen um lokalskalige Reaktionen auf die großräumigen Szenarien zu schätzen. Wir erhalten so Ensembles von Schätzungen und Verteilungen, die den möglichen Temperatur- und Niederschlagswandel charakterisieren. Details zu dieser Vorgangsweise finden sich in Matulla und Haas (2003). Die Regions-, Saisons- und Prediktorabhängigkeit gestattet die Ableitung von Ensembles von lokalskaligen Szenarien.

5-2.2 Analogverfahren

Wie der Name schon sagt bedient sich die Analogmethode, analogen Situationen der Atmosphäre. Zu diesen Verfahren zählen auch alle Ansätze, die Wetterlagen verwenden. Die hier untersuchte Analogmethode sucht auf Basis der Hauptkomponentenanalyse (PCA), rein statistisch ähnliche Verteilungsmuster in den großräumigen meteorologischen Feldern

(Zorita und von Storch 1999). Das ähnlichste Feld wird durch Minimierung der Distanz der PCs definiert und es wird unterstellt, dass bei gleichen (ähnlichsten) großräumigen Bedingungen, auch lokalskalig die selben Wettererscheinungen (Temperatur, Niederschlag) auftreten.

Es wird die Periode 1948-2000, in zwei Perioden geteilt (A,B). Die Periode (A) stellt den Pool an Daten dar, woraus analoge Felder für die Periode (B) gesucht werden. Die Güte des Verfahrens hängt stark von der Länge der zur Verfügung stehenden Zeitreihe (A) ab. Daher wurde nur das Jahr, das den Tag der Analoogsuche enthält, aus der Periode A ausgeschlossen. So standen stets 52 Jahre für die Suche zur Verfügung. Es wurden nur jene Tage zur Analoogsuche verwendet, die +/- 25 Tage um den gesuchten Tag liegen. Dies reduziert zwar die Anzahl der möglichen Analogon deutlich, aber es wird gewährleistet, dass nur die gleiche Jahreszeit zur Suche herangezogen wird. Das Analogon wurde sowohl für einen Tag gesucht, als auch für eine Abfolge von zwei Tagen. Für die meteorologischen Felder wurde der Ausschnitt 5 Grad West bis 20 Grad Ost und 40 bis 55 Grad Nord gewählt. Es wird für die gesamte Periode eine EOF-Analyse des gewählten meteorologischen Feldes durchgeführt, danach werden die aus den Eigenvektoren gebildeten Hauptkomponenten (PCs) für Periode A und B, miteinander verglichen. Dabei wird der Abstand für jeden Tag aus A mit dem Tag aus B berechnet. Es wird jener Tag aus A gewählt der den kleinsten Abstand aufweist. So erhält man für jeden Tag der Periode B einen Tag aus A. An diesem Tag nimmt man den gewünschten lokalen Parameter (Temperatur, Niederschlag,...) an den Stationen und erhält lokale Zeitreihen. Dieses Verfahren stellt sicher, dass für jeden Tag ein Analogon gefunden wird. Es sagt aber nichts über die Güte des gefundenen Analogons aus.

Auf der lokalen Skala wurde der Tagesdatensatz der ZAMG verwendet (Auer et al. 2001). Alle Stationen, die zwischen 1948 und 2000 mindestens 30 Jahre an Daten aufweisen sind verwendet worden. In Abb. 3 ist die räumliche Verteilung dieser Stationen dargestellt.

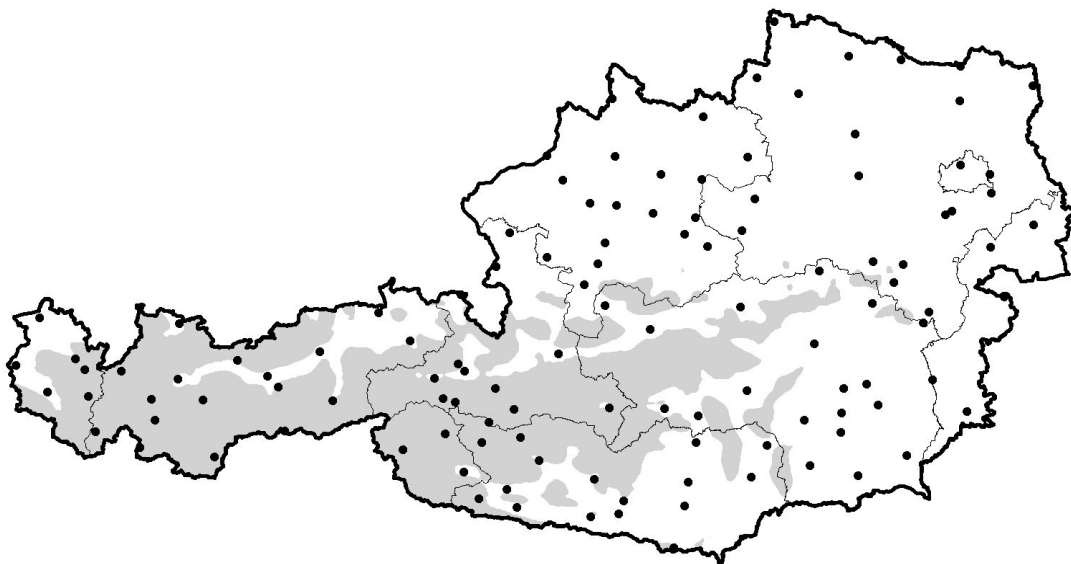


Abb. 5-3: Räumliche Verteilung der ZAMG-Stationen, die beim Analogverfahren verwendet wurden.

5-3 Möglichkeiten und Grenzen der CCA

In Validierungsexperimenten konnte gezeigt werden, dass für die Temperatur sehr hohe Korrelationen ($R^2 \sim 0.65$) zwischen den beobachteten und modellierten Zeitreihen bestehen (Matulla und Haas, 2003). Beim Niederschlag sind die Korrelationen deutlich geringer, wobei sich regionale und jahreszeitliche Unterschiede ergeben. Der Grossteil der Korrelationen ist jedoch mit 95 prozentiger Sicherheit signifikant und die CCA liefert i.a. bessere Ergebnisse als ein Multipler Linearer Regressionsansatz.

Da das CCA-Verfahren auf Monatsdaten (sowohl lokal als auch großskalig) beruht, sind direkte Auswertungen bezüglich Extremereignissen nicht möglich. Dennoch können für die Temperatur Aussagen über „moderate“ Extremereignisse wie Tropentage (Tagesmaximum über 30°C) oder Eistage (Tagesmaximum unter 0°C) abgeleitet werden, da ein guter statistischer Zusammenhang zwischen Monatsmitteltemperatur und der Temperaturverteilung innerhalb des Monats besteht. In Abb. 3 ist dieser Zusammenhang für Tropen- und Sommertage (Tagesmaximum über 25°C) in Wien dargestellt; in Abb. 4 für die Eis- und Frosttage (Tagestemperaturminimum unter 0°C) auf der Schmittenhöhe (1964 masl) im Winter. In den Abbildungen 5 und 6 wurden diese statistischen Eigenschaften auf die CCA-Klimaänderungsszenarien (Matulla und Haas, 2003) angewandt und ausgewertet.

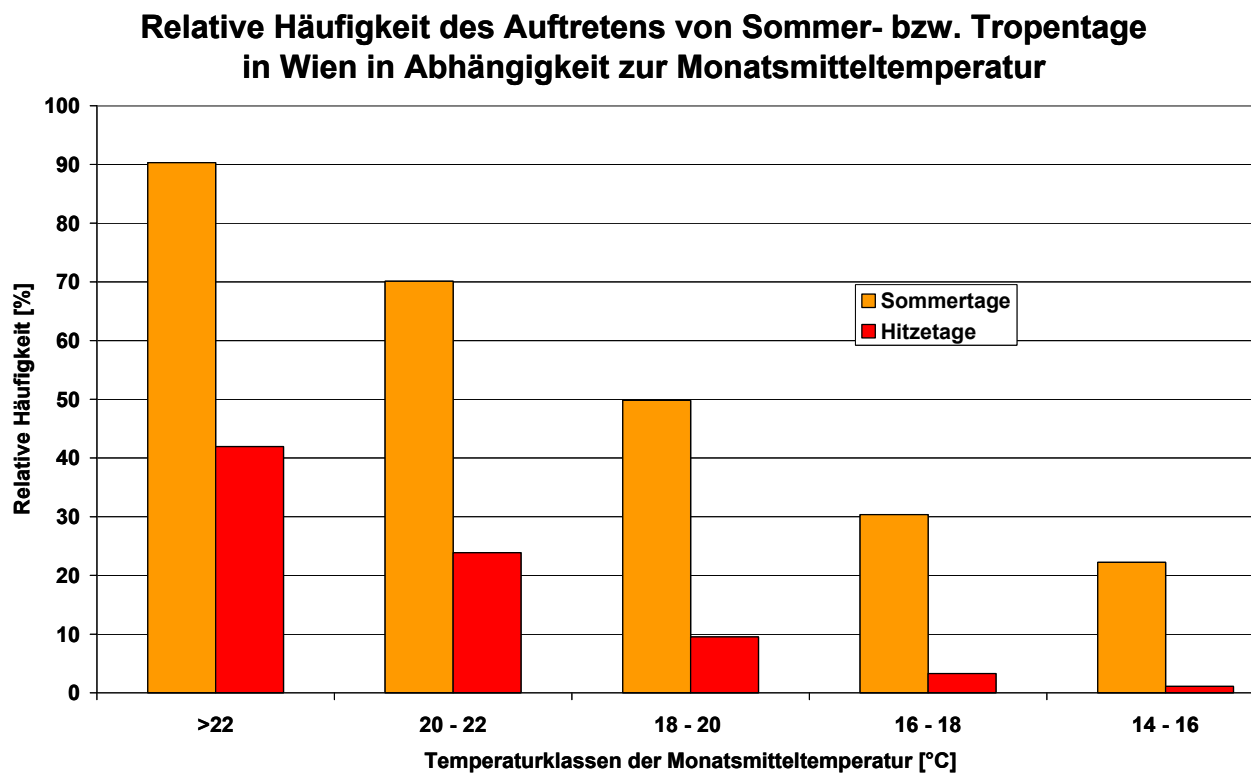


Abb. 5-4: Relative Häufigkeit von Sommer- bzw. Tropentagen in Wien in Abhängigkeit von der Monatsmitteltemperatur.

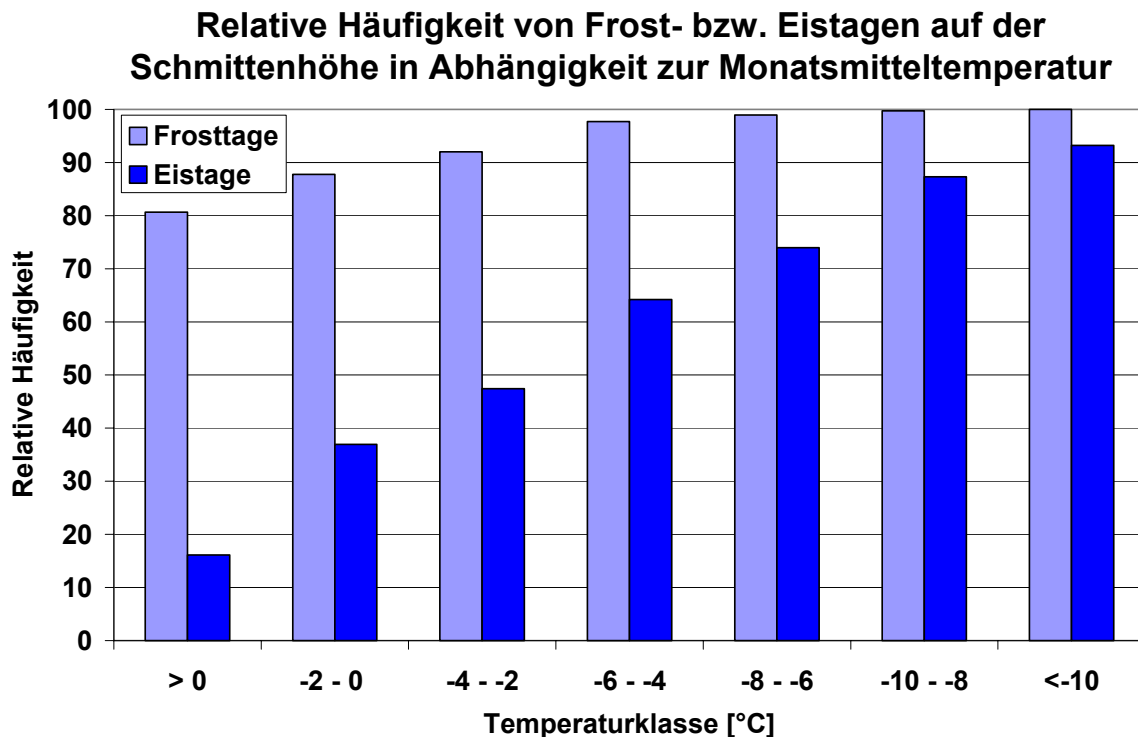


Abb. 5-5: Relative Häufigkeit von Eis- bzw. Frosttagen auf der Schmittenhöhe im Winter in Abhängigkeit von der Monatsmitteltemperatur.

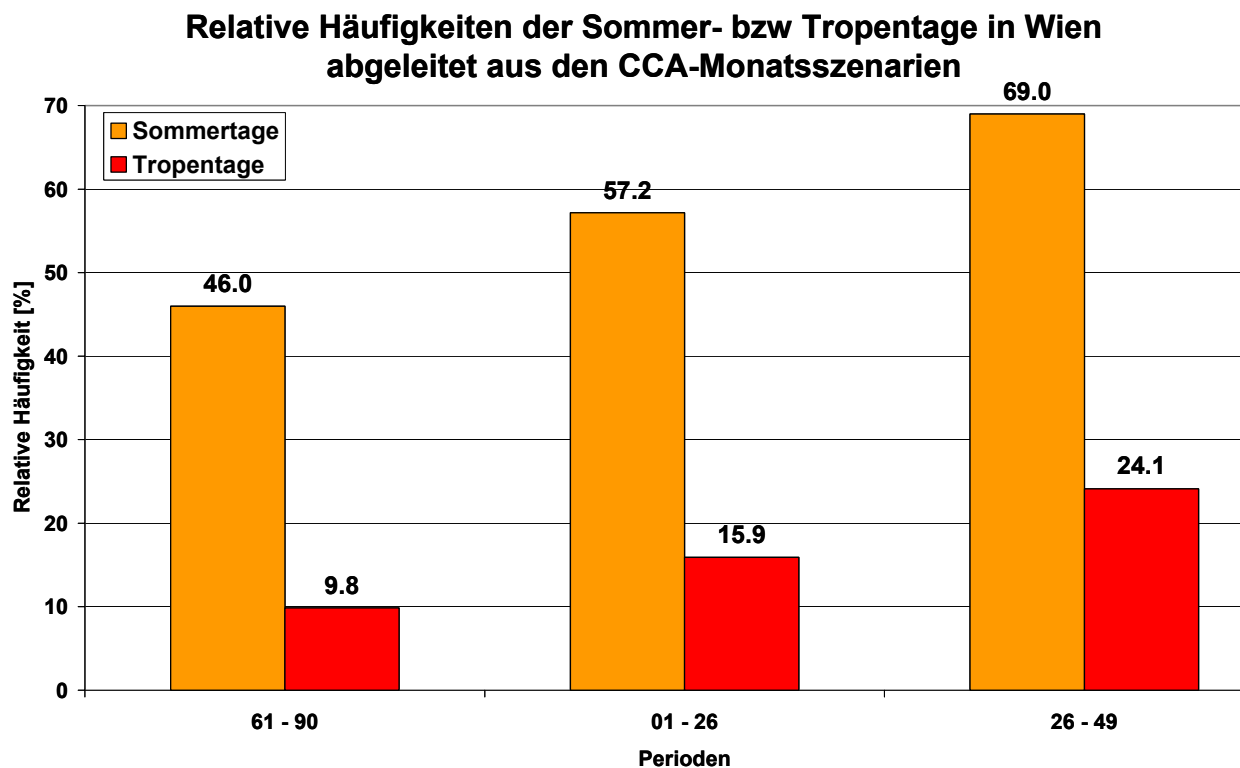


Abb. 5-6: Veränderung der relativen Häufigkeit von Sommer- bzw. Tropentagen in Wien während der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts (abgeleitet aus CCA-Monatsszenarien).

Relative Häufigkeiten der Frost- bzw. Eistage auf der Schmittenhöhe abgeleitet aus den CCA-Monatsszenarien

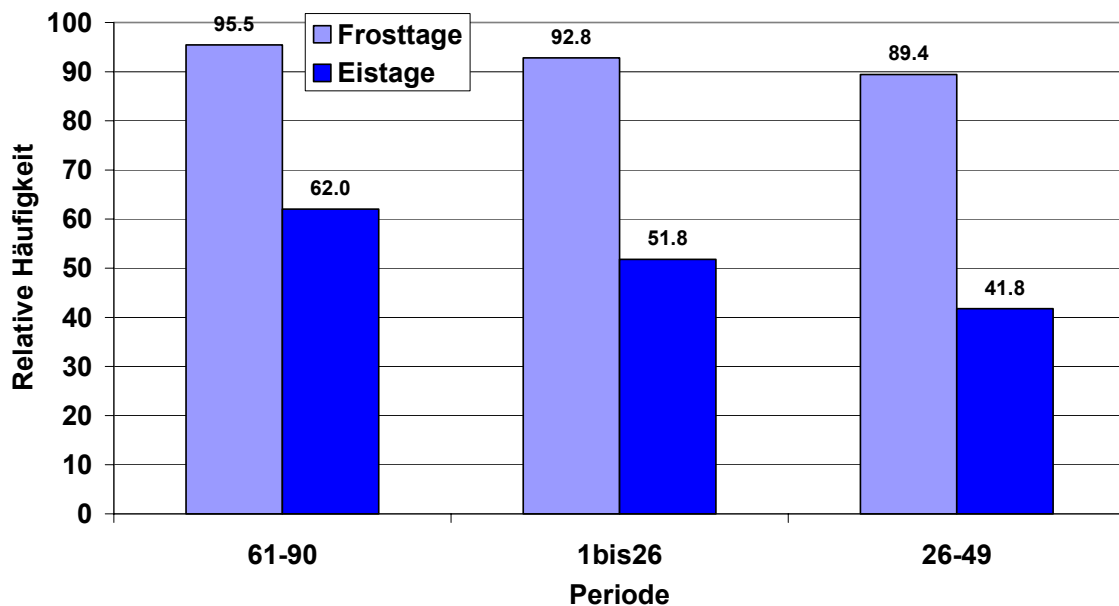


Abb. 5-7: Veränderung der relativen Häufigkeit von Frost- bzw. Eistagen auf der Schmittenhöhe im Winter (DJF) während der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts (abgeleitet aus CCA-Monatsszenarien).

Das Bild der Veränderungen, das die lokalskaligen Szenarien beim Niederschlag liefern ist im Vergleich zur Temperatur sehr uneinheitlich. Die Realisierungen zeigen zum Teil unterschiedliche Vorzeichen der Veränderung. Abb. 7 zeigt das Ergebnis für die Südregion im Frühjahr anhand von vier lokalskaligen Szenarien. Die mit CO₂ gekennzeichneten entsprechen dem IS92a 'greenhouse gas only' Szenario und die mit SO₄ dem IS92a 'greenhouse gas plus aerosols' Szenario. In dieser Region liefern nahezu alle Ensemblemitglieder in allen Jahreszeiten eine Abnahme des Niederschlages gegenüber der Beobachtungsperiode (Ausnahme: Herbst). In den anderen Niederschlagsregionen gibt es wesentlich stärkere Schwankungen zwischen den Szenarien.

Wegen der geringen Leistung in den Validierungsexperimenten und der starken Variabilität im lokalen Ensemble sind die regionalen Niederschlagsszenarien weniger vertrauenswürdig als die Temperaturszenarien. Für den Niederschlag, speziell für Starkniederschläge können keine einfachen Beziehungen zwischen Monatssummen und Extremereignissen abgeleitet werden, da sich die Monatsniederschlagssumme aus vielen Niederschlagsereignissen mit geringer Intensität, oder aus wenigen mit hoher Intensität zusammensetzen kann. Lediglich für sehr trockene Perioden kann eine Aussage getroffen werden, da solche Perioden einige Wochen anhalten können und sich daher auch in den Monatsfeldern äußern. In Abb. 8 ist die Häufigkeitsverteilung der Niederschläge [mm] für die Südregion Österreichs im Frühjahr (für das Ensemblemitglied CO₂-1) dargestellt. Man erkennt die deutliche Zunahme von derzeit ~ 36 auf über 50 Prozent an Saisonen mit moderat geringen Niederschlagssummen zwischen 150 und 200 mm. Weiters zeigt sich eine Reduktion der sehr nassen Saisonen mit mehr als 250 mm Niederschlag.

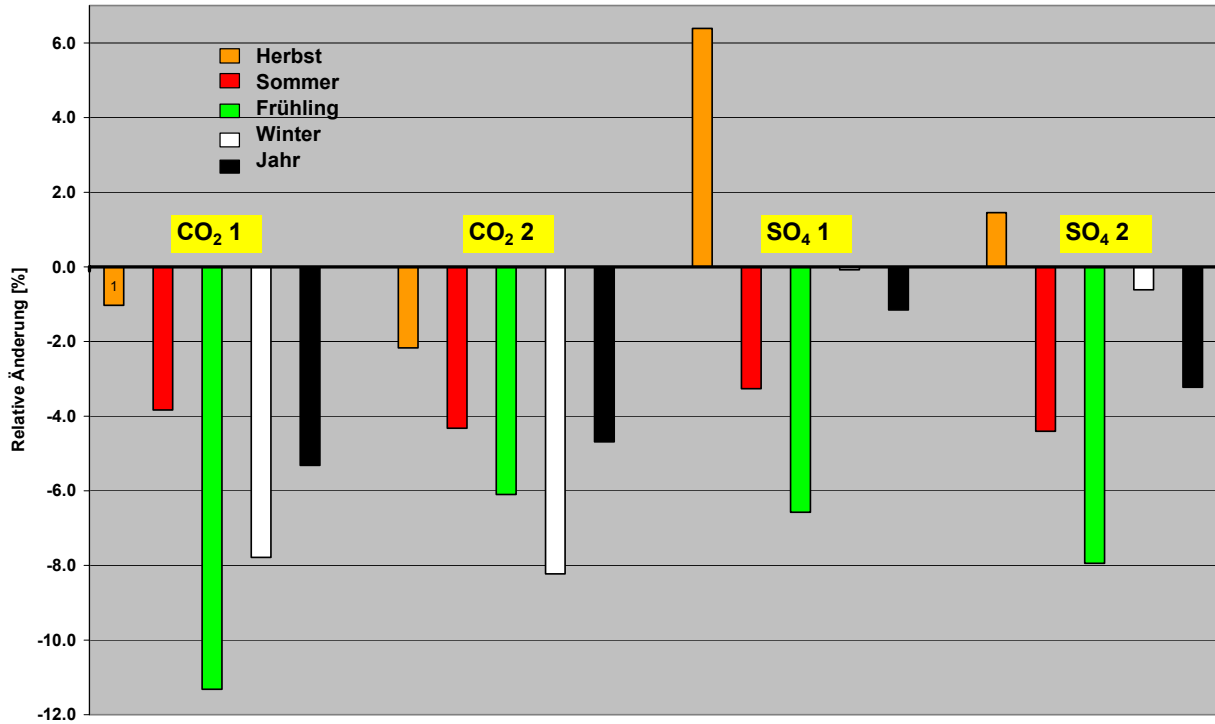


Abb. 5-8: Relative Änderung der saisonalen Niederschlagssumme [mm] für die Südregion in allen Jahreszeiten. Gezeigt ist ein Ensemble von vier lokalen Szenarien (CO₂-1 bis SO₄-2).

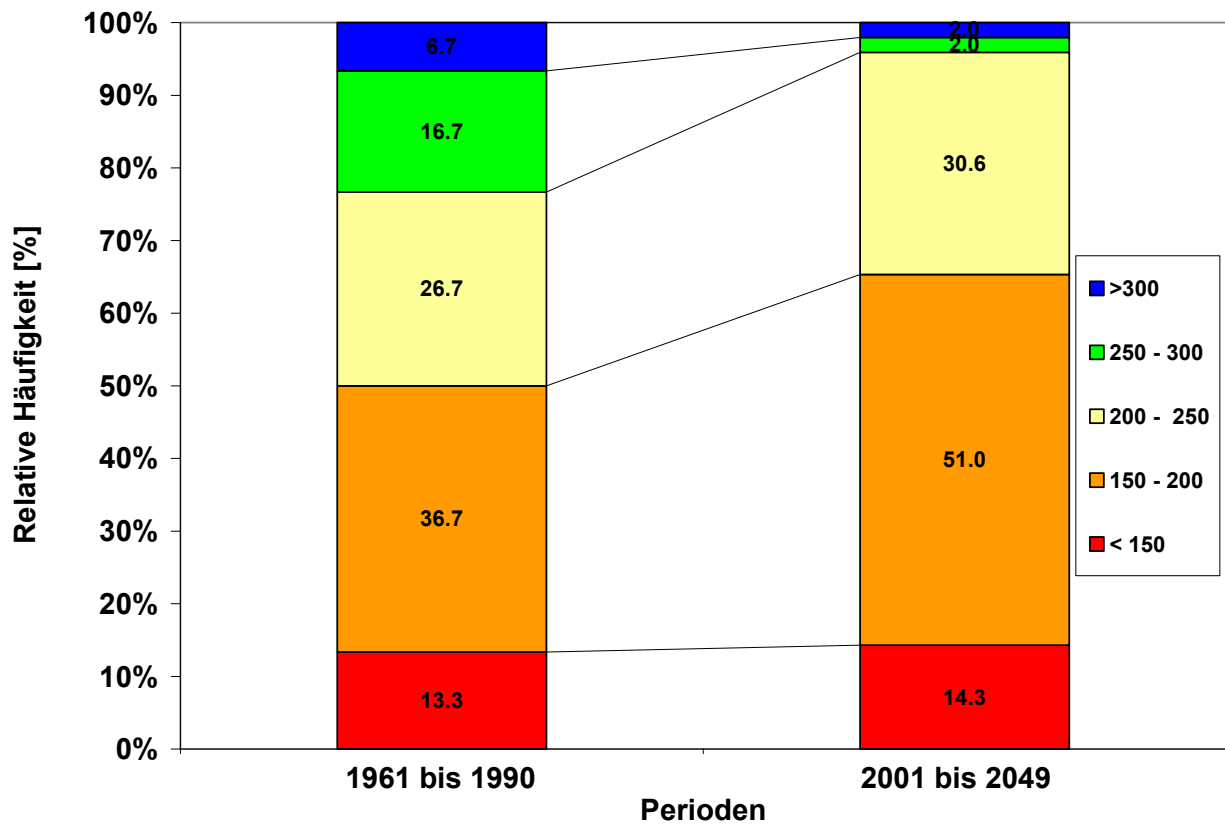


Abb. 5-9: Relative Häufigkeit von Niederschlagsklassen [mm] für die Südregion Österreichs im Frühjahr (CO₂-1) (abgeleitet mittels CCA-Verfahren).

5-4 Möglichkeiten und Grenzen des Analogansatzes

Bei den Validierungsexperimenten ergab sich für die Temperatur ebenfalls eine hohe Korrelation ($R^2 \sim 0.65$). Hierbei stellte sich die relative Topographie 850/700hPa als bester Prädiktor heraus. Dies ist nicht verwunderlich, da die relative Topographie direkt der Mittelschichttemperatur zwischen den Druckflächen aus denen sie berechnet wird proportional ist. Betrachtet man neben der Korrelation den mittleren absoluten Fehler (Winter ~ 0.9 °C, Sommer ~ 0.5 °C), erkennt man, dass dieses Verfahren im Sommer besser funktioniert. Dies kann durch die bessere Durchmischung der Atmosphäre und durch die folglich bessere Koppelung der Temperatur am Boden mit der Temperatur in der freien Troposphäre erklärt werden.

Da das Analogverfahren Ergebnisse auf Tagesbasis liefert, können diese Szenarien direkt für Auswertungen von Extremereignissen verwendet werden. Die Analogmethode zeigt zum Teil ausgezeichnete Ergebnisse im Validierungsexperiment. Es zeigten sich aber beim Übergang von großräumigen Reanalysefeldern auf GCM-Felder Schwierigkeiten, die noch nicht vollständig geklärt werden konnten.

Bei der Anwendung der Analogmethode auf den GCM-Kontrolllauf, das ist jener GCM-Lauf der dem jetzigen Klima entspricht, zeigen sich systematische Unterschiede zu den Beobachtungen. In den Sommermonaten, Juli, August und auch im September stimmen die beobachteten und modellierten Tagesdaten einigermaßen überein. Im Herbst und Frühwinter liefert das Modell zu warme Temperaturen mit der maximalen Abweichung im November. Der Februar ist bereits etwas zu kalt, wobei im Frühjahr diese Anomalie noch zunimmt und im April ihren Höhepunkt erreicht.

Dieser atypisch modellierte Jahresgang kann durchaus eine Folge der Kombination GCM-Analogverfahren sein. Da das Analogverfahren sowohl den Betrag als auch das dynamische Muster der betrachteten Felder berücksichtigt, könnten vom GCM falsch simulierte Gradienten im Übergangsbereich Ozean-Kontinent diesen Jahresgang zur Folge haben.

In Abb. 10 ist das Ergebnis einer möglichen Auswertung für die, mit dem Analogverfahren ermittelten, Temperatur dargestellt. In der Abbildung ist die kumulierte Häufigkeitsverteilung der Tagestemperaturen von 132 österreichischen Stationen für den August dargestellt. Die schwarze Linie zeigt die Beobachtungen, die blaue Linie die Kontrolllaufergebnisse und die rote Linie das Szenario für 2001 bis 2050. Im August ist die Übereinstimmung Beobachtung – Kontrolllauf recht gut (blaue und schwarze Linie). Im Szenario liegen die Temperaturen um rund 3°C über denen der Beobachtung, wobei eine stärkere Abnahme der sehr kalten Tage zu beobachten ist.

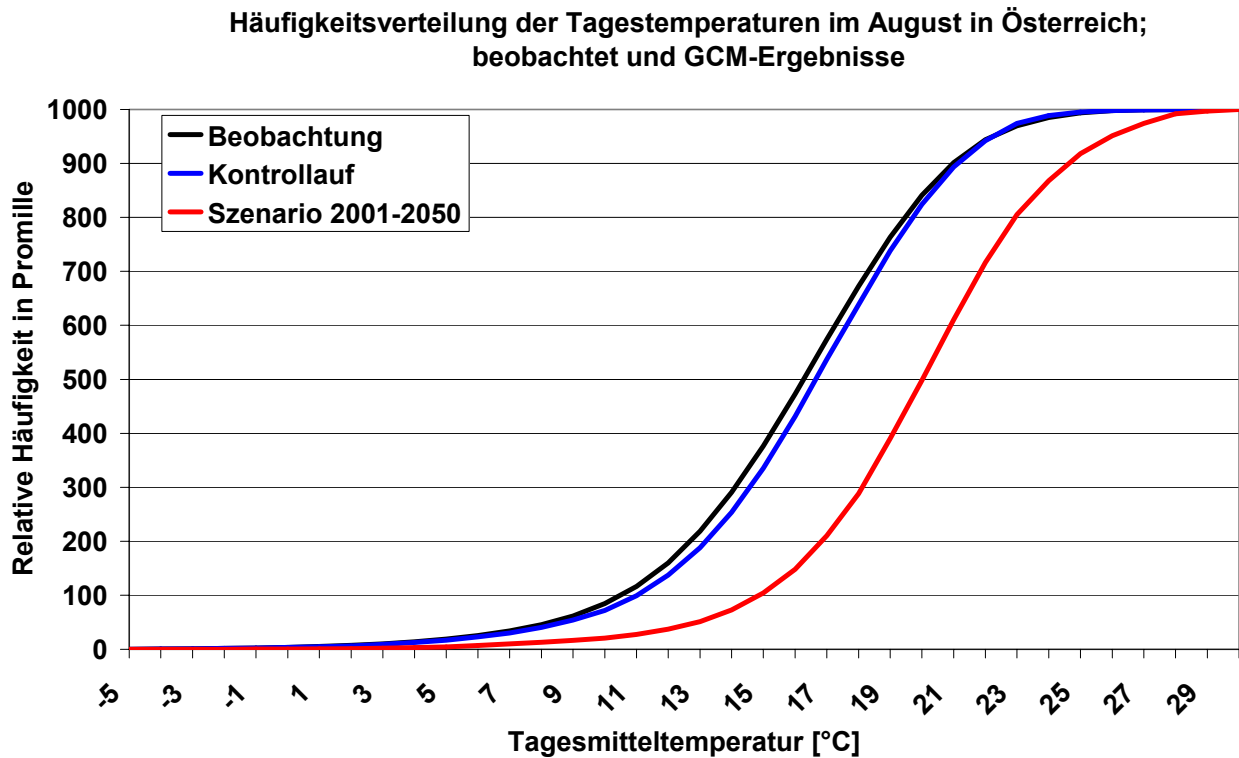


Abb. 5-10: Kumulierte Häufigkeitsverteilung der Tagesmitteltemperaturen in Österreich.

Für den Niederschlag ist nicht eindeutig feststellbar, welches meteorologische Feld der beste Prädiktor ist. Hier gibt es sowohl zwischen Regionen als auch Jahreszeiten Unterschiede. Generell sind die zeitlichen Korrelationen weit schlechter als bei der Temperatur. In Tabelle 1 sind einige Niederschlagskennzahlen für die Stationen Wien und Schmittenhöhe aus dem Validierungsexperiment exemplarisch zusammengefasst. Man erkennt, dass das Analogverfahren klimatologisch sowohl die Niederschlagssumme als auch die Häufigkeit sehr gut abbilden kann, obwohl die zeitliche Korrelation auf Tagesbasis nahezu Null ist.

Tab. 5-1: Niederschlagskennzahlen Wien und Schmittenhöhe: Beobachtung und Validierung.

Station	Saison	Saisonales Mittel Beobachtet [mm]	Modell[mm]	Niederschlagswahrscheinlichkeit		Korrelation (R ²)
				Beobachtet [%]	Modell [%]	
Wien	Sommer	206	202	41.8	41.9	0.01
	Winter	125	126	46.5	45.9	0.01
Schmittenhöhe	Sommer	530	523	57.4	57.2	0.03
	Winter	282	269	40.0	39.8	0.10

Aber nicht nur die klimatologische Häufigkeitsverteilung des Niederschlages wird mit der Analogmethode richtig reproduziert (siehe auch Abb. 11), sondern auch die Häufigkeit von Trockenperioden (Abb. 13) und Niederschlagsperioden über mehrere Tage (Abb. 12) werden einigermaßen richtig wiedergegeben. Da Klimaänderungsszenarien generell nur klimatologisch interpretiert werden können würden Analogverfahren ausreichen, um für Downscaling eingesetzt werden zu können. Dennoch muß noch untersucht werden, warum die schlechten zeitlichen Korrelationen zu Stande kommen, bevor eine umfassende Interpretation und Bewertung der Analogsznarien möglich ist.

Häufigkeitsverteilung des Niederschlages in Wien beobachtet (1948-2000) und mittels Analogverfahren

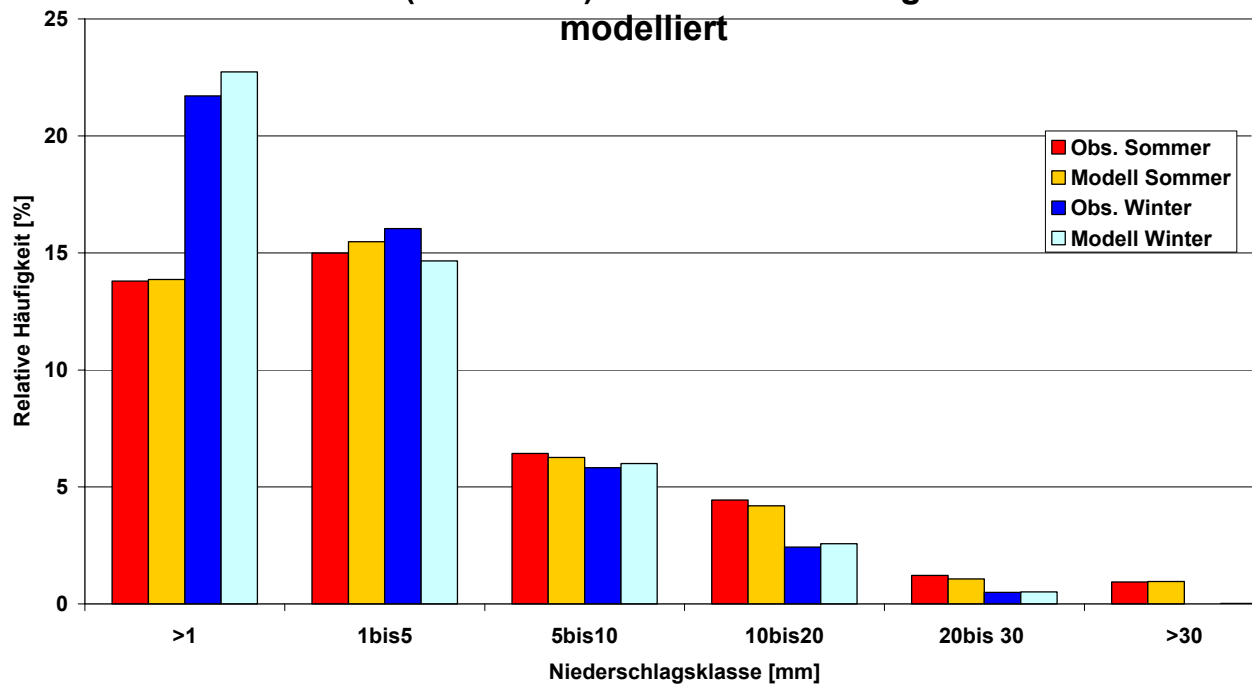


Abb. 5-11: Häufigkeitsverteilung von Niederschlagssummen in Wien: Beobachtung (Obs.) und Validierungsexperiment (Modell: Analogverfahren).

Niederschlagsepisodenwahrscheinlichkeit in Wien beobachtet (1948 - 2000) und modelliert

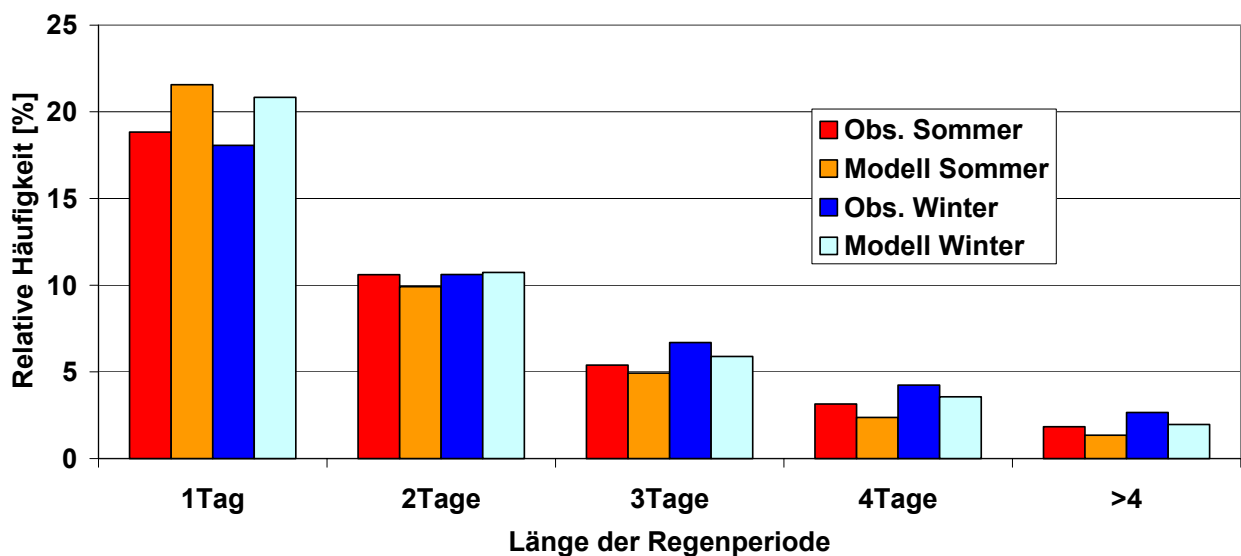


Abb. 5-12: Häufigkeitsverteilung von Niederschlagsperioden für Wien: Beobachtung (Obs.) und Validierungsexperiment (Modell: Analogverfahren).

Relative Häufigkeit von Trockenperioden in Wien beobachtet (1948 - 2000) und modelliert

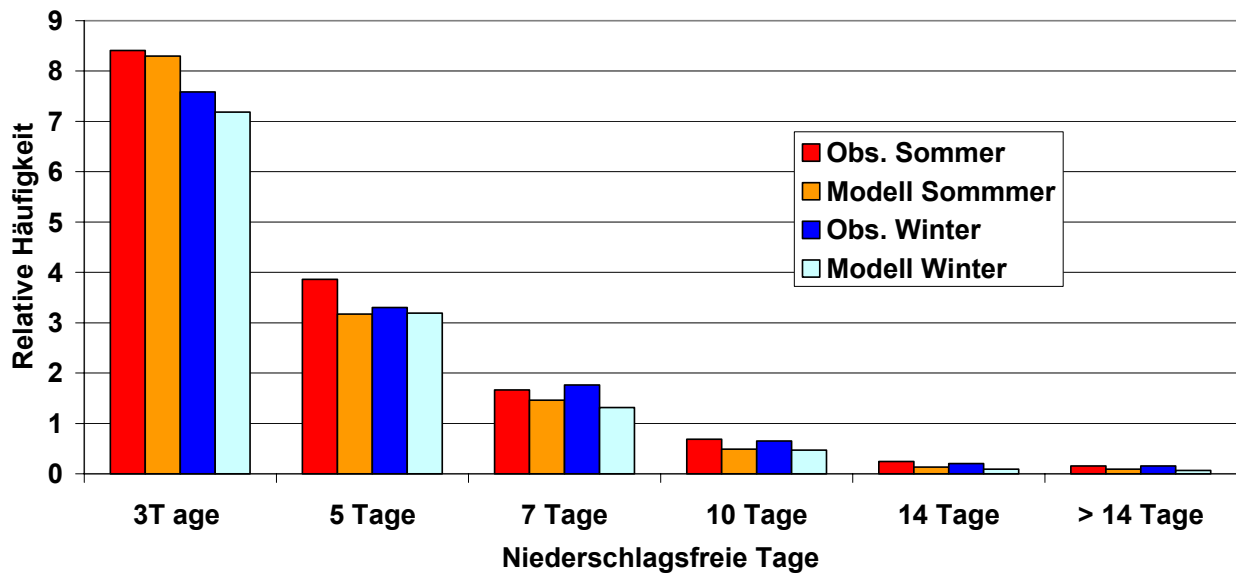


Abb. 5-13: Häufigkeitsverteilung von Trockenperioden für Wien: Beobachtung (Obs.) und Validierungsexperiment (Modell: Analogverfahren).

Eine mögliche Auswertung der Analogsznarien für den Niederschlag ist in Abb. 14 dargestellt. Nach diesem Szenario würde die Anzahl von niederschlagsfreien Tagen um rund 6 Prozent zunehmen. Dies kommt hauptsächlich durch eine Reduktion der Niederschlagstage mit weniger als 5 mm zustande.

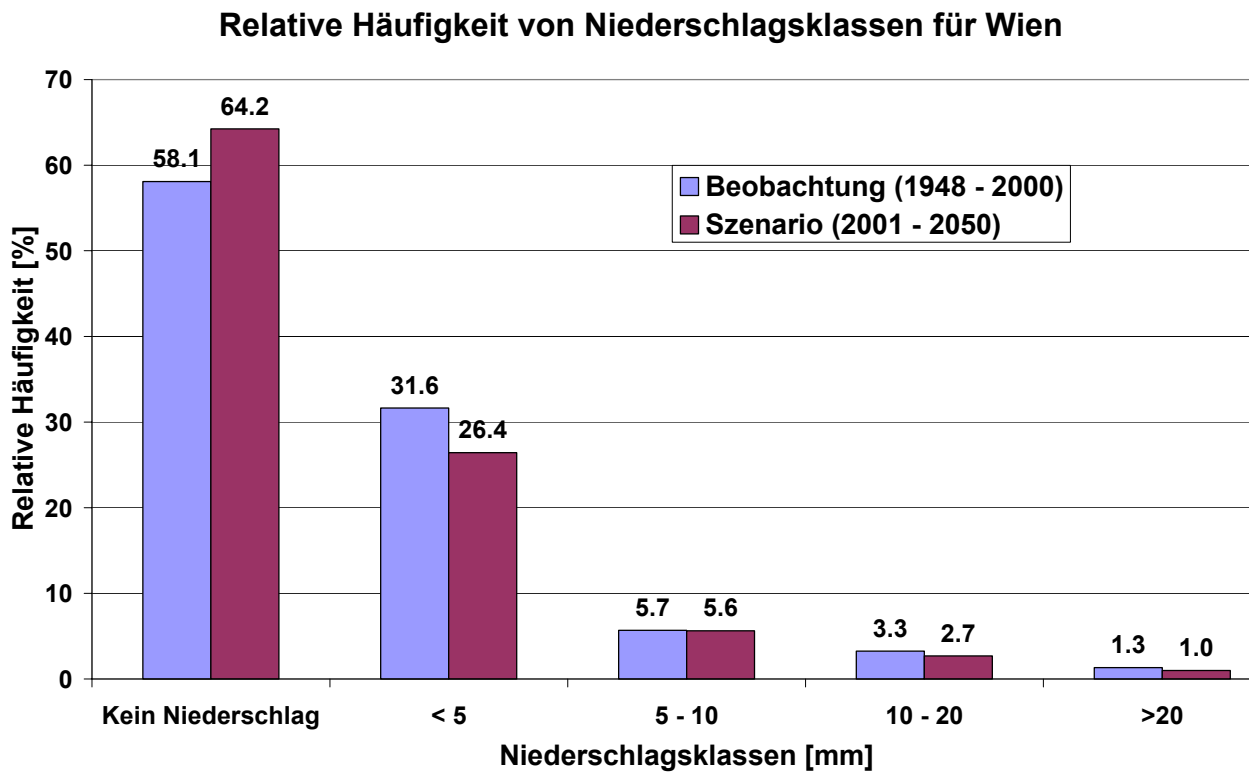


Abb. 5-14: Vergleich der Häufigkeitsverteilung von Niederschlagssummen in Wien. Beobachtungen und mittels Analogverfahren für 2001 bis 2050 abgeleitetes Szenario.

5-5 Schlussfolgerung

Generell kann gesagt werden, dass der statistische Zusammenhang zwischen lokaler Witterung und großskaligen meteorologischen Feldern für die Temperatur von beiden Verfahren mit ausreichender Genauigkeit hergestellt wird. Für den Niederschlag wird bei beiden Verfahren dieser Zusammenhang unschärfer. Das Verfahren auf Monatsbasis (CCA) scheint aufgrund des höheren Anteils an signifikanten Korrelationen, robustere Aussagen bezüglich des Niederschlages zu gestatten.

Die zeitlichen Korrelationen für den Niederschlag auf Tagesbasis gehen beim Analogverfahren nahezu auf Null zurück. Dennoch ist das Analog-Verfahren in der Lage, die statistischen Niederschlagseigenschaften wie Niederschlagshäufigkeit, die Verteilungsfunktion des Niederschlages und die Häufigkeit von Trockenperioden richtig zu modellieren.

Beim Analogverfahren treten Schwierigkeiten beim Übergang von Reanalyse- zu GCM-Feldern auf, die noch nicht restlos geklärt sind. Diese können mit verschiedenen Realisierungsvarianten des Analog-Verfahrens und deren Umsetzung in Programmcode zusammenhängen, es ist aber auch denkbar, dass die Kombination GCM-Analogverfahren Schwachstellen des GCMs im Übergangsbereich Ozean-Kontinent aufzeigt.

Informationen über Extremereignisse können aus Szenarien auf Monatsbasis nur indirekt bezüglich der Temperatur abgeleitet werden. Hierfür sind Szenarien auf Tagesbasis wesentlich besser geeignet. Die geringe Korrelation des Analog-Verfahrens auf dieser Zeitskala erschwert jedoch die Interpretation der Ergebnisse.

Für die Verwendung in der Klimafolgenforschung sollten auf jeden Fall Ensembleszenarien, abgeleitet aus verschiedenen Emmissionszenarien und GCMs verwendet werden. Dies ist notwendig, weil die statistischen Downscalingverfahren auch die Veränderungen der Dynamik über Europa erfassen, und diese in den verschiedenen GCMs, selbst bei ähnlichen Ergebnissen auf globaler Ebene, unterschiedlich sein können.

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungen

Abb. 5-1: Räumliche Verteilung der für das CCA-Verfahren verwendeten österreichischen Stationen.....	7
Abb. 5-2: Niederschlagsregionen für den saisonalen Niederschlag für Österreich im Winter und in den Übergangsjahreszeiten abgeleitet mittels Clusteranalyse.....	8
Abb. 5-3: Räumliche Verteilung der ZAMG-Stationen mit Tagesdaten, die beim Analogverfahren verwendet wurden.	9
Abb. 5-4: Relative Häufigkeit von Sommer- bzw. Tropentagen in Wien in Abhängigkeit zur Monatsmitteltemperatur.	10
Abb. 5-5: Relative Häufigkeit von Eis- bzw. Frosttagen auf der Schmittenhöhe im Winter in Abhängigkeit zur Monatsmitteltemperatur.....	11
Abb. 5-6: Veränderung der relativen Häufigkeit von Sommer- bzw. Tropentagen in Wien während der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts. Abgeleitet aus CCA-Monatsszenarien.....	11
Abb. 5-7: Veränderung der relativen Häufigkeit von Frost- bzw. Eistagen auf der Schmittenhöhe im Winter (DJF) während der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts. Abgeleitet aus CCA- Monatsszenarien.	12
Abb. 5-8: Relative Änderung der saisonalen Niederschlagssumme [mm] für die Südregion in allen Jahreszeiten und in den vier mittels CCA-Verfahren abgeleiteten Szenarien.....	13
Abb. 5-9: Relative Häufigkeit von Niederschlagsklassen [mm] für die Südregion Österreichs im Frühjahr (CO ₂ -1). Abgeleitet mittels CCA-Verfahren.....	13
Abb. 5-10: Häufigkeitsverteilung der Tagesmitteltemperaturen in Österreich beobachten und mittels Analogverfahren aus GCM- Kontroll- und Szenarienlauf für 2001 bis 2050 abgeleitet.....	15
Abb. 5-11: Häufigkeitsverteilung von Niederschlagsklassen für Wien beobachten und im Validierungsexperiment aus Reanalysefelder mittels Analogverfahren abgeleitet.	16
Abb. 5-12: Häufigkeitsverteilung von Niederschlagsperioden für Wien beobachten und im Validierungsexperiment aus Reanalysefelder mittels Analogverfahren abgeleitet.	16
Abb. 5-13: Häufigkeitsverteilung von Trockenperioden für Wien beobachten und im Validierungsexperiment aus Reanalysefelder mittels Analogverfahren abgeleitet.	17
Abb. 5-14: Vergleich der Häufigkeitsverteilung von Niederschlagsklassen in Wien beobachtet und mittels Analogverfahren für 2001 bis 2050 abgeleitet.	18

Tabellen

Tab. 5-1: Niederschlagskennzahlen Wien und Schmittenhöhe beobachtet und Validierung.	15
--	----

Literatur

- Auer, I., R. Böhm, and W. Schöner, 2001: *Austrian long-term climate 1767-2000*, Volume 25 of *Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik*. Central Institute for Meteorology and Geodynamics.
- Böhm, R., I. Auer, M. Brunetti, M. Maugeri, T. Nanni, and W. Schöner, 2001: Regional Temperature Variability in the European Alps: 1760-1998 from Homogenized Instrumental Time Series. *Journal of Climatology*, **21**, 1779–1801.
- Busuioac, A., and H. von Storch, 1996: Changes in the winter precipitation in Romania and its relation to the large-scale circulation. *Tellus*, **48A**, 538–552.
- Gyalistras, D., H. von Storch, A. Fischlin, and M. Beniston, 1994: Linking GCM-simulated climatic changes to ecosystem models: case studies of statistical downscaling in the Alps. *Clim. Res.*, **4**, 167–189.
- Hewitson, B., and R. Crane, 1996: Climate downscaling: techniques and application. *Clim. Res.*, **7**, 85–95.
- Hotelling, H., 1936: Relations between two sets of variants. *Biometrika*, **28**, 321–377.
- IPCC, 2001: *Climate Change 2001 - The Scientific Basis*. Cambridge University Press, 881 pp.
- Maak, K., and H. von Storch, 1997: Statistical downscaling of monthly mean air temperature to the beginning of flowering of *galanthus nivalis* L. in Northern Germany. *Int. J. Biometeorol.*, **41**, 5–12.
- Matulla, C., and P. Haas, 2003: Prädiktorsensitives downscaling gekoppelt mit Wettergeneratoren: saisonale und tägliche CC-Szenarien in komplex strukturiertem Gelände. GKSS report 24, GKSS research center, Max-Planck-Strasse 1, D-21502 Geesthacht, Germany.
- Matulla, C., E.K. Penlap, P. Haas, and H. Formayer, 2003: Multivariate techniques to analyse precipitation in Austria during the 20th century. *Int. J. Climatol.* **23**, 1577-1588.
- Matulla, C., H. Scheifinger, A. Menzel, and E. Koch, 2003: Exploring two methods for statistical downscaling of Central European phenological time series. *Int. J. Biometeorol.* in press.

von Storch, H., E. Zorita, and U. Cubasch, 1993: Downscaling of global climate change estimates to regional scales: An application to Iberian rainfall in wintertime. *J. Climate*, **6**, 1161–1171.

von Storch, H., and F. Zwiers, 1999: *Statistical Analysis in Climate Research*. Cambridge University Press, 528 pp.

Woth, K., 2001: Abschätzung einer zukünftigen Niederschlagsentwicklung mit statistischen Methoden unter Einbezug räumlicher Differenzierungsverfahren am Beispiel des südwesteuropäischen Raums. Master's thesis, GKSS-Report 2001/28 – University of Trier, 101pp.

Zorita, E., and H. von Storch, 1999: The analog method - a simple statistical downscaling technique: comparison with more complicated methods. *J. Climate*, **12**, 2474–2489.