

# Klimaszenarien für die Steiermark bis 2050



Eine Studie des Wegener Zentrums für Klima und Globalen Wandel im Auftrag des Landes Steiermark



Das Land  
Steiermark

## **KlimaWandelFolgen Steiermark (KWF)**

Eine Studie im Auftrag des Landes Steiermark

Klimaszenarien für die Steiermark (STMK12)

Überblick über die Projektergebnisse



**Wegener Center**  
www.wegcenter.at



**AutorInnen:** Andreas Gobiet, Martin Suklitsch, Armin Leuprecht, Stefanie Peßenteiner, Thomas Mendlik, Heimo Truhetz

**Mit Beiträgen von:** Georg Heinrich, Andreas Prein, Therese Rieckh, Matthias Themeßl

Wegener Zentrum für Klima und Globalen Wandel  
Karl-Franzens-Universität Graz  
Leechgasse 25, 8010 Graz  
Kontakt: Andreas Gobiet, 0316-380 8448,  
[andreas.gobiet@uni-graz.at](mailto:andreas.gobiet@uni-graz.at)

# Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Vorworte</b> .....	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>6</b>
<b>3.</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>7</b>
<b>4.</b>	<b>Basisstudie</b> .....	<b>9</b>
4.1	Zuverlässigkeit von Klimaszenarien .....	9
4.2	Die Datengrundlage.....	15
4.3	Methoden und Überblick über die Ergebnisse .....	18
<b>5.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>29</b>



Der fortschreitende Klimawandel ist für mich, als zuständiger politischer Referent in der Landesregierung, eine der zentralen gesellschaftspolitischen Aufgabenstellungen.

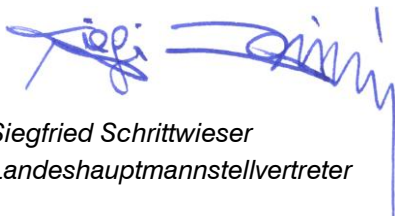
Demzufolge hat die Steiermärkische Landesregierung bereits seit dem Jahr 2009 begonnen, dem Klimaschutz eine wesentliche Bedeutung zukommen zu lassen. 2010 wurde der Klimaschutzplan Steiermark als strategische Grundlage zur Erreichung der internationalen Klimaschutzziele beschlossen.

Neben Maßnahmen zur Senkung der Treibhausgasemissionen, müssen vor diesem Hintergrund aber auch Strategien zur Anpassung an den Klimawandel auf regionaler Ebene entwickelt und umgesetzt werden.

Das Land Steiermark hat daher das Wegener Zentrum der Universität Graz beauftragt, eine wissenschaftliche Studie zu den Folgen des Klimawandels in der Steiermark zu erstellen und Zukunfts-Szenarien für verschiedene Bereiche zu beschreiben. Dadurch können wir die Auswirkungen des künftigen Klimawandels besser einschätzen und schaffen eine fundierte Basis für die Erstellung einer Strategie zur Anpassung an den Klimawandel.

Alle unsere Kräfte sind gefordert, einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten und eine Unterstützung bei der Realsierung von bevorstehenden Maßnahmen zur Klimawandelanpassung zu geben.

Ich bedanke mich auf diesem Wege herzlich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Wegener Zentrums und der Klimaschutzkoordinatorin des Landes Steiermark, Frau Mag.<sup>a</sup> Andrea Gössinger-Wieser, die mit ihrem Engagement und ihrer Leistung die Erstellung einer solchen Studie erst ermöglicht haben.



*Siegfried Schrittwieser*  
*Landeshauptmannstellvertreter*

Klimaszenarien für die Steiermark bis 2050

Die Zukunft des Klimas unseres Landes ist in vielen Bereichen, etwa für Landwirtschaft, Tourismus, Gesundheitswesen, Energieversorgung und Energieverbrauch, Wasserversorgung, Artenvielfalt, sowie Schutz vor Naturgefahren von Bedeutung. Insbesondere wenn es darum geht langfristige Investitionen zu tätigen, sollten die klimatischen Rahmenbedingungen der nächsten Jahrzehnte bekannt sein. Die neuen Klimaszenarien für die Steiermark (STMK12) stellen diese Rahmeninformation zur Verfügung.



Andererseits soll STMK12 aber auch eine Motivation bieten, durch ambitionierte Klimaschutzpolitik weitere, stärkere Klimaänderung zu verhindern. Wir haben es immer noch in der Hand, den Klimawandel langfristig zu begrenzen und nicht über das in dieser Studie beschriebene Niveau hinauszuschießen. Denn ohne sehr ambitionierte Klimaschutzmaßnahmen müssen wir uns langfristig auf weit drastischere Änderungen einstellen.

*Dr. Andreas Gobiet*

*Wegener Zentrum für Klima und Globalen Wandel - Universität Graz*

International besteht schon seit geraumer Zeit wissenschaftlicher Konsens darüber, dass der durch den Menschen verursachte Klimawandel nicht mehr verhindert, sondern nur die Auswirkung abgemildert werden können. In Europa ist nahezu keine Region und kein Lebensbereich von Effekten des Klimawandels ausgenommen.



Die Europäische Union hat sich zum Ziel gesetzt, den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur auf weniger als 2°C über dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen. Auch wenn der Ausstoß an Treibhausgasemissionen in den nächsten Jahren signifikant reduziert und damit eine Stabilisierung der Treibhausgaskonzentration erreicht wird, muss man mit einem weiteren Temperaturanstieg in den nächsten Jahrzehnten rechnen. Ursache dafür sind die bereits aktuell hohen Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre und die Trägheit des Klimasystems.

Mit der nun vorliegenden Studie des Wegener Zentrums ist nun auch für die Steiermark die Basis für eine notwendige Klimawandelanpassungsstrategie, analog der Aktivitäten der EU und des Bundes (Österreichische Klimawandelanpassungsstrategie), gelegt.

*Mag.ª Andrea Gössinger-Wieser*

*Klimaschutzkoordinatorin des Landes Steiermark*

Klimaszenarien für die Steiermark bis 2050



## 2. Zusammenfassung: Klimaszenarien für die Steiermark – STMK12

Um die Einschätzung der Auswirkungen des künftigen Klimawandels und die Erarbeitung von Anpassungsoptionen an den Klimawandel auf eine zuverlässige und langlebige Informationsgrundlage zu stellen, wurden im Auftrag der Steiermärkischen Landesregierung vom Wegener Zentrum für Klima und Globalen Wandel der Karl-Franzens-Universität Graz erstmals umfassend Klimaszenarien für die Steiermark (STMK12) erarbeitet.

Diese Informationsgrundlage enthält die neuesten Ergebnisse der nationalen und internationalen Klimaforschung und besteht aus den Ergebnissen von 24 Klimasimulationen, welche auf ein 1 km Gitter verfeinert, von Modellfehlern bereinigt und auf Tagesbasis für Temperatur und Niederschlag zur Verfügung gestellt wurden. Der Datensatz ermöglicht neben der Analyse von Szenarien unterschiedlicher meteorologischer Parameter auch eine weiterführende Nutzung in vielen anwendungsorientierten Abschätzungen der Folgen des Klimawandels.

Im ersten Teil des Projekts wurden die STMK12-Szenarien für die Grundgrößen Temperatur und Niederschlag analysiert. Aufbauend auf diesen Grundergebnissen wurden STMK12-Szenarien im zweiten Teil des Projekts auf anwendungsorientierte Kenngrößen des Klimawandels erweitert. So wurden beispielsweise Änderungen von Starkniederschlägen, Schneesicherheit, oder Trockenperioden unter Berücksichtigung der neuen Bezirksgrenzen, die ab Jänner 2013 in der Steiermark gültig sind, analysiert.

Die Ergebnisse zeigen, dass eine **weitere Temperaturzunahme in der Steiermark bis 2050 mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit** eintreten und einen Trend von etwa 0,3°C pro Jahrzehnt aufweisen wird. Insbesondere im Winter wird eine stärkere Erwärmung erwartet. In Bezug auf Niederschlag sind die Aussichten sehr unsicher. **Von Herbst bis Frühling wird eher mehr Niederschlag erwartet. Im Sommer und vor allem im Süden der Steiermark ist auch eine Niederschlagsabnahme möglich.** Zusätzlich gibt es allerdings **Anzeichen, dass Niederschläge in Zukunft heftiger ausfallen könnten.** Auswirkungen des Klimawandels, die stark von der Temperaturzunahme abhängen, werden in den nächsten Jahrzehnten mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit spürbar werden. So ist ohne Anpassung etwa mit einer **Zunahme des Energiebedarfs für Kühlung** und mit einer **starken Abnahme der Tage mit Schneedecke** zu rechnen.

Aufbauend auf den für STMK12 erarbeiteten Daten können nun von den jeweiligen Fachleuten relativ unaufwändig weitere Studien über die Auswirkungen des Klimawandels durchgeführt werden. So bietet es sich beispielsweise an, Szenarien für die Grundwasserneubildung in Teilen der Steiermark oder über landwirtschaftlich relevante Trockenheit zu erstellen.

Klimaszenarien für die Steiermark bis 2050

## 3. Einleitung

Im Auftrag der Steiermärkischen Landesregierung erarbeitete das Wegener Zentrum für Klima und Globalen Wandel der Karl-Franzens-Universität Graz einen Überblick über Kenngrößen des künftigen Klimawandels in der Steiermark bis 2050.

### Leitgedanken

Die Entwicklung dieser Klimaszenarien für die Steiermark (STMK12) ist von zwei Leitgedanken geprägt:

STMK12 soll eine **zuverlässige und langlebige Informationsgrundlage** für viele Fragen der Klimawandel-Anpassung und des Klimaschutzes darstellen. Anders als in der Vergangenheit wurden zur Erstellung der Szenarien nicht einzelne Klimasimulationen verwendet, welche nach wenigen Jahren durch neuere, manchmal im Detail widersprüchliche Simulationen ersetzt werden müssen. Für STMK12 wurden alle geeigneten Klimasimulationen der aktuellen Klimaforschung zusammengeführt und ausgewertet. Dadurch wurde ein Produkt erzeugt, welches auf dem neuesten Stand der internationalen Forschung ist, die Klimaänderungen auf Basis größtmöglicher Informationsgrundlage abschätzt und Angaben über die Zuverlässigkeit von Klimaszenarien enthält. Zukünftige neue Simulationen können widerspruchsfrei in die Analyse integriert werden und tragen zur laufenden Verbesserung der Szenarien bei.

Nicht nur die üblichen Szenarien der mittleren Temperatur und der Niederschlags-summe, sondern auch **anwendungsorientierte Kenngrößen des Klimawandels**, wie sie etwa in der Landwirtschaft, im Tourismus, in der Wasserwirtschaft, Versicherungswirtschaft, Raumplanung, oder in anderen vom Klimawandel betroffenen Sektoren benötigt werden, stehen im Mittelpunkt der Analyse. Die Definition dieser Kenngrößen wurde in Zusammenarbeit mit den Fachabteilungen des Landes Steiermark erarbeitet und die Ergebnisse für jeden Bezirk der Steiermark dargestellt. Insbesondere wurde dabei Wert auf die Einbeziehung der neuen Bezirksgrenzen, die ab Jänner 2013 gültig sind, gelegt. Eine Erweiterung der Analysen auf neue Kenngrößen ist aufgrund der geschaffenen Datenbasis jederzeit mit geringem Aufwand möglich.

Die Qualität der STMK12-Datenbasis, welche aus 24 Szenarien für Temperatur und Niederschlag auf Tagesbasis in hoher räumlicher Auflösung besteht und von Modellfehlern befreit wurde, ermöglicht nun auch die detaillierte Analyse der Auswirkungen des Klimawandels, da die STMK12-Datenbasis als Antrieb für Modelle der Klimafolgenforschung, wie etwa hydrologische oder landwirtschaftliche Modelle, verwendet werden kann.

Klimaszenarien für die Steiermark bis 2050



Die STMK12-Szenarien und ihr zugrundeliegender Datensatz stellen somit eine **umfassende Grundlage für die Analyse der Auswirkungen des Klimawandels in der Steiermark** dar.

### Status und Einbettung in das Gesamtkonzept

In der ersten Phase des Projekts (bis Ende Dez. 2011) wurde die Datengrundlage erarbeitet und die Szenarien für die Grundgrößen Niederschlag und Temperatur erstellt. In der zweiten Phase (bis Ende März 2012) wurden Szenarien für einige anwendungsorientierte Kenngrößen erarbeitet. Dazu zählen unter anderem Starkniederschläge, die Länge von Trockenperioden und Schneetage. Abschließend (bis Mitte Juni 2012) wurden die neuen Bezirksgrenzen, wie sie ab Jänner 2013 gültig sind, in die Analysen eingebunden. Dieser Bericht beschreibt die Ergebnisse von Phase 1 und Phase 2 in den neuen Bezirksgrenzen der Steiermark.

### Aufbau dieses Dokuments

Im Folgenden werden Hintergrundinformationen über die Berechnung der steirischen Klimaszenarien STMK12 erläutert, um ein vertieftes Verständnis der Ergebnisse zu ermöglichen. Allerdings haben die AutorInnen darauf geachtet, dass die Ergebnisse auch ohne Lektüre der Methodenkapitel verständlich sind. LeserInnen welche ausschließlich an den Ergebnissen interessiert sind, können die Abschnitte 2 und 3 überspringen und sich direkt den Ergebnissen zuwenden.

In Abschnitt 0 wird beschrieben welche Einflüsse die Zuverlässigkeit von Klimaszenarien einschränken, in Abschnitt 0 wird erläutert welche Informationsquellen in die Berechnung der steirischen Klimaszenarien STMK12 eingeflossen sind und in Abschnitt 4 wird erklärt, mit welchen Methoden diese Informationen ausgewertet wurden. Außerdem wird in Abschnitt 4 ein Überblick über die erwartete Klimaänderung in der Steiermark gegeben. Im Anhang (separates Dokument) werden schließlich die Ergebnisse für die Bezirke (gültig ab Jänner 2013) der Steiermark im Detail dargestellt.

## 4.1 Zuverlässigkeit von Klimaszenarien

Um die Komplexität des vom Menschen beeinflussten Klimasystems angemessen beschreiben zu können, werden in der Klimaforschung aufwändige Computerprogramme entwickelt, welche die physikalischen Zusammenhänge des Klimasystems simulieren. Diese Klimamodelle sind gemeinsam mit Klimabeobachtungen die wichtigsten Werkzeuge der Klimaforschung, wenn es darum geht Aussagen über die Klimazukunft (sogenannte Klimaprojektionen) zu machen.

Da es sich bei Klimaprojektionen um Modellergebnisse handelt, ist es wichtig ihre Zuverlässigkeit zu überprüfen. Am besten nähert man sich dieser Fragestellung indem man die Ursachen von Unsicherheit in Klimaprojektionen analysiert. Diese können grob in vier Bereiche eingeteilt werden: **Natürliche Variabilität** des Klimasystems, Annahmen über die künftige Entwicklung der **Treibhausgasemissionen**, Vereinfachungen und Fehler in **Klimamodellen** und Fehler bei der **Regionalisierung** der Klimasimulationen.

### Natürliche Variabilität

Wegen der Komplexität des Klimasystems und der zahlreichen Wechselwirkungen zwischen seinen einzelnen Komponenten ist die Klimaentwicklung nur teilweise vorhersagbar. Der nicht vorhersagbare ("chaotische") Teil des Systems bewirkt Unsicherheit in Klimaprojektionen und wird natürliche Variabilität genannt.

Da chaotische Systeme sich dadurch auszeichnen, dass sie von nur geringfügig unterschiedlichen Anfangsbedingungen zu sehr unterschiedlichen Resultaten gelangen, kann der chaotische Anteil eines Systems abgeschätzt werden, indem mehrere Simulationen durchgeführt werden, welche sich nur in ihren Anfangsbedingungen leicht unterscheiden. Ergebnisse solcher Simulationen bleiben innerhalb einer gewissen Bandbreite, da der vorhersagbare Anteil des Klimasystems völlig zufällige Ergebnisse verhindert. Diese Bandbreite kann als Maß für die natürliche Variabilität interpretiert werden<sup>1</sup>.

### Treibhausgasemissionen

Menschliche Treibhausgasemissionen hängen von zahlreichen Faktoren wie der Bevölkerungszahl, kulturellen und sozialen Wechselwirkungen, wirtschaftlichen Strukturen und technischer Entwicklung ab. Da die künftige Entwicklung dieser Faktoren nicht im Detail vorhergesagt werden kann, bleibt die künftige Entwicklung der Treibhausgasemissionen mit Unsicherheiten behaftet. Der "Special Re-

---

<sup>1</sup> Dabei wird vorausgesetzt, dass Klimamodelle die Variabilität des Klimasystems hinreichend realistisch beschreiben. Diese Annahme ist sinnvoll, da Klimamodelle gut evaluiert sind und auch ihre Variabilität anhand von Simulationen der Vergangenheit überprüft wurde, kann aber letztendlich für Simulationen der Zukunft nicht bewiesen werden.

port on Emission Scenarios" (SRES) (Nakicenovic et al., 2000) des Weltklimarats IPCC ([www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)) stellt unterschiedliche Entwicklungslinien der Menschheit vor und konstruiert daraus Emissionsszenarien künftiger Treibhausgasemissionen.

Für den im Jahr 2013 erscheinenden fünften Sachstandsbericht des IPCC wird derzeit eine neue Generation von Emissionsszenarien entwickelt, die sogenannten „representative concentration pathways“ (RPCs; van Vuuren et al., 2011). Für diese Emissionsszenarien existieren noch keine regionalen Klimaszenarien, weswegen sie in STMK12 nicht berücksichtigt werden konnten.

Eines der bekanntesten der SRES Szenarien trägt den Namen A1B und beschreibt eine Welt mit starkem wirtschaftlichen Wachstum, schneller Entwicklung effizienter Technologien, ausgeglichenem Einsatz regenerierbarer und nicht-regenerierbarer Ressourcen, einer Weltbevölkerung die in der Mitte des 21. Jahrhunderts ihr Maximum erreicht und danach abnimmt, starker sozialer und kultureller Interaktion und Angleichung regionaler pro Kopf Einkommen.

Das A1B Szenario wird oft als „mittleres Szenario" verwendet. Weniger optimistisch ist das A2 Szenario, welches eine sehr heterogene Welt beschreibt, noch optimistischer das B1 Szenario, welches eine konvergente Welt und sehr effiziente Nutzung erneuerbarer Ressourcen beschreibt. Diese drei Emissionsszenarien bilden die Grundlage der meisten Abschätzungen der Auswirkungen des Klimawandels weltweit. Als Grundlage für STMK12 dient das A1B Szenario, da nur für dieses Szenario ausreichend regionale Klimasimulationen zur Verfügung stehen. Wie in den folgenden Absätzen gezeigt wird, hat diese Einschränkung nur geringe Auswirkungen auf die Verlässlichkeit der Ergebnisse, da bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts der Effekt unterschiedlicher Emissionsszenarien klein ist.

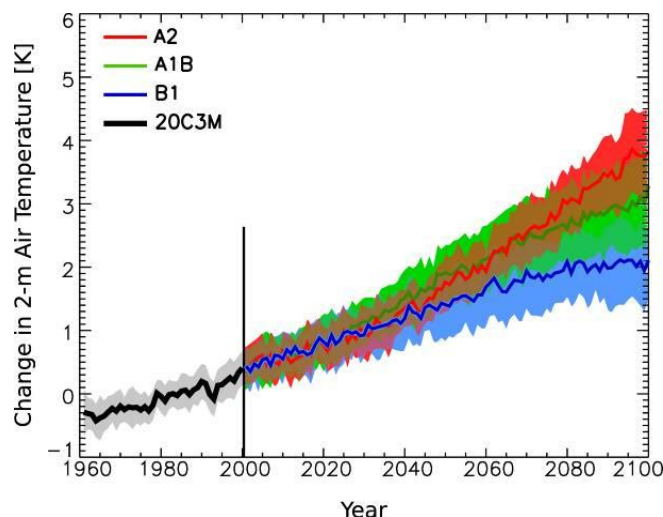


Abb. 1: Entwicklung der Temperatur über Europa für die SRES Szenarien A2, A1B und B1. Die dicke farbige Linie gibt den Mittelwert über alle CMIP3 Modelle (Meehl et al., 2007), die dem jeweiligen Emissionsszenario angetrieben wurden an, die schattierten Bereiche kennzeichnen die entsprechende Standardabweichung. Quelle: Prein et al. (2011).

Klimaszenarien für die Steiermark bis 2050

Um diesen Effekt der unterschiedlichen Emissionsszenarien auf das Klima zu untersuchen, werden Klimamodelle mit den unterschiedlichen Emissionsszenarien angetrieben und die Auswirkungen auf das simulierte Klima analysiert<sup>2</sup>. Abbildung 1 zeigt die Auswirkung der drei SRES Szenarien auf die mittlere Temperatur über Europa. Bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts sind die Unterschiede gering, zu Ende des Jahrhunderts beträgt der Unterschied zwischen B1 und A2 allerdings etwa 2 °C (Prein et al., 2011).

## Klimamodelle

Vereinfachungen, Ungenauigkeiten und Fehler in Klimamodellen tragen ganz wesentlich zu Unsicherheiten in Klimaprojektionen bei. So werden etwa die Naturgesetze in Klimamodellen durch vereinfachte Gleichungen beschrieben, diese werden auf relativ groben Gittern numerisch gelöst (Gitterweiten in der Größenordnung von 100 km) und Prozesse, die auf kleineren Skalen wirksam sind (etwa Gewittertätigkeit) werden durch Parametrisierungen beschrieben, welche nicht streng auf physikalischen Naturgesetzen basieren und daher fehleranfällig sind.

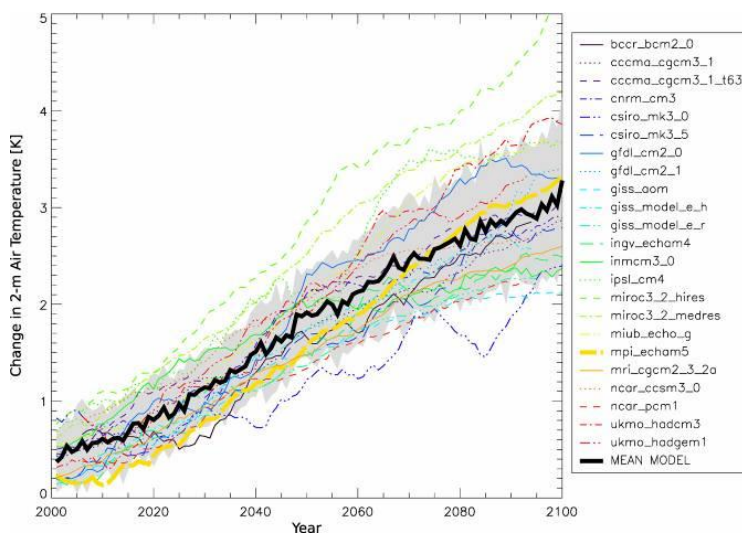


Abb. 2: Entwicklung der mittleren Temperatur über Europa in den einzelnen mit den A1B Emissionsszenario angetriebenen CMIP3 Klimamodellen. Die dicke schwarze Linie ist der Mittelwert, der schattierte Bereich die Standardabweichung. Referenzperiode: 1961-1990.

Um die Größe der daraus resultierenden Modellunsicherheit zu bestimmen, werden die Ergebnisse unterschiedlicher unabhängig voneinander entwickelter Klimamodelle verglichen und die Bandbreite der Ergebnisse bestimmt. Solche Untersuchungen von "Ensembles" von Klimamodellen sind nur durch weltweite Zusammenarbeit vieler Forschungszentren und Universitäten möglich, da einzelne

<sup>2</sup> Dabei ist zu beachten, dass jedes Emissionsszenario lediglich eine mögliche Entwicklung der Gesellschaft beschreibt und nicht leicht mit Wahrscheinlichkeiten versehen werden kann. So ist etwa das "mittlere" A1B Szenario im Vorhinein weder wahrscheinlicher noch unwahrscheinlicher als die "extremere" A2 und B1 Szenarien.

Klimaszenarien für die Steiermark bis 2050

Forschungsgruppen den enormen Rechenaufwand für die vielen benötigten Klimasimulationen nicht allein bewältigen können. Außerdem ist nur durch die Analyse von unterschiedlichen Klimamodellen, die weitgehend unabhängig voneinander entwickelt wurden, gewährleistet, dass auch die Fehler der Modelle voneinander möglichst unabhängig sind und in Ensembleanalysen durch einen Vergleich mit anderen Modellen entdeckt werden können. Die Wahrscheinlichkeit gemeinsamer unbekannter Modellfehler, welche einer Ensemble-Analyse unentdeckt bleiben würden, ist umso geringer, je mehr verschiedene Modelle analysiert werden.

In Abbildung 2 ist der Unterschied zwischen verschiedenen CMIP3 Klimamodellen (Meehl et al., 2007) unter dem A1B Szenario anhand der mittleren Temperatur über Europa veranschaulicht. Zu Ende des 21. Jahrhunderts reicht die Bandbreite der modellierten Temperaturzunahmen von gut +2 °C bis etwa +5 °C.

### Regionalisierung

Wie in dem vorherigen Abschnitt beschrieben, arbeiten globale Klimamodelle auf groben Gittern von etwa 100 km bis 300 km Gitterabstand. Dadurch entstehen nicht nur Unsicherheiten, sondern auch die Notwendigkeit die Ergebnisse für ihre Nutzung in meist kleinräumigen Studien der Auswirkungen des Klimawandels zu verfeinern. Dieser Verfeinerungsprozess wird Regionalisierung oder "Downscaling" genannt. Es gibt zwei grundsätzlich unterschiedliche Verfahren zur Regionalisierung von Klimaprojektionen: Empirisch-statistisches Downscaling (ESD, z.B., Benestad et al. 2009) und dynamisches Downscaling mit regionalen Klimamodellen (RCMs, e.g., Giorgi and Mearns, 1999). Empirisch-statistische Methoden beruhen auf einem in einer vergangenen Periode analysierten Zusammenhang zwischen lokalen Beobachtungen und großskaligen atmosphärischen Feldern, welche mit Klimamodellen gut simuliert werden können. Dynamisches Downscaling wird mit Klimamodellen durchgeführt, die sehr ähnlich funktionieren wie globale Klimamodelle, aber auf ein begrenztes Gebiet in höherer Auflösung angewendet werden. An den Rändern des Gebiets werden solche regionalen Klimasimulation mit den Ergebnissen globaler Modelle gekoppelt.

Regionalisierungsverfahren bergen ihre eigenen Unsicherheiten. Für regionale Klimamodelle gilt Ähnliches wie für globale Modelle, für empirisch-statistische Methoden ergeben sich Unsicherheiten aus der Tatsache, dass Aussagen über die Zukunft aus rein statistischen Zusammenhängen aus der Vergangenheit abgeleitet werden. Genauso wie bei globalen Klimamodellen, kann die Regionalisierungsunsicherheit durch Anwendung möglichst unterschiedlicher Regionalisierungsmethoden und der sich daraus ergebenden Bandbreite an Ergebnissen abgeschätzt werden. Im STMK12-Ensemble wurden zu diesem Zweck 16 unterschiedliche regionale Klimamodelle analysiert.

## Wie wichtig sind die einzelnen Quellen der Unsicherheit?

In den letzten Jahren wurden einige Arbeiten über die Bedeutung der einzelnen Unsicherheitskomponenten in Klimaszenarien veröffentlicht. Einige wichtige Arbeiten in diesem Zusammenhang sind Hawkins und Sutton (2009, 2010), in denen die Komponenten Emissionsszenario, natürliche Variabilität und Modellunsicherheit untersucht werden, Prein et al. (2011) in der ähnliche Untersuchungen gezielt für Europa durchgeführt wurden und Déqué et al. (2007) in denen speziell auf den Vergleich der Unsicherheiten globaler und regionaler Klimamodelle eingegangen wird. In Abb. 3 ist eine Analyse der Unsicherheitskomponenten für Temperatur- und Niederschlagsprojektionen über Europa dargestellt (Prein et al., 2011). Diese Analyse basiert auf allen CMIP3 Simulationen mit den Emissionsszenarien A2, A1B und B1. Es ist deutlich zu sehen, dass die Modellunsicherheit (gelb) dominiert und dass der Einfluss der Emissionsszenarien (rot) erst gegen Ende des Jahrhunderts (rechts in Abb. 3) bei Temperaturprojektionen (obere Reihe in Abb. 3) stark zu tragen kommt. Der Einfluss der natürlichen Variabilität (türkis) beträgt zwischen etwa 10 % und 25 %<sup>3</sup>. Déqué et al. (2007) untersuchten die Regionalisierungsunsicherheit (nur dynamisches Downscaling) über Europa im Vergleich zur Unsicherheit globaler Klimamodelle und zeigten, dass in den meisten Fällen die Modellunsicherheit überwiegt, außer im Sommer für Niederschlag. Der Anteil der Regionalisierungsunsicherheit beträgt etwa 40 % (mit Variationen je nach Region, Saison und Parameter).

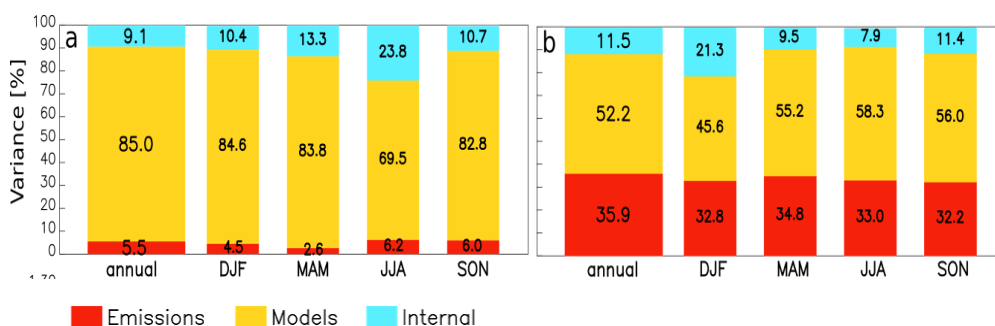


Abb. 3: Der relative Beitrag unterschiedlicher Komponenten zur Unsicherheit in Temperaturprojektionen über Europa im 30-jährigen Jahresmittel („annual“), Winter („DJF“), Frühling („MAM“), Sommer („JJA“) und Herbst („SON“). Links: 2021 - 2050; Rechts: 2071 - 2100. Nach: Prein et al. (2011).

<sup>3</sup> Diese Angaben beziehen sich auf 30-jährige Klimamittelwerte. In kürzeren Perioden (etwa Dekaden, wie sie in Hawkins und Sutton (2009; 2010) untersucht werden) ist der Einfluss der natürlichen Variabilität größer.

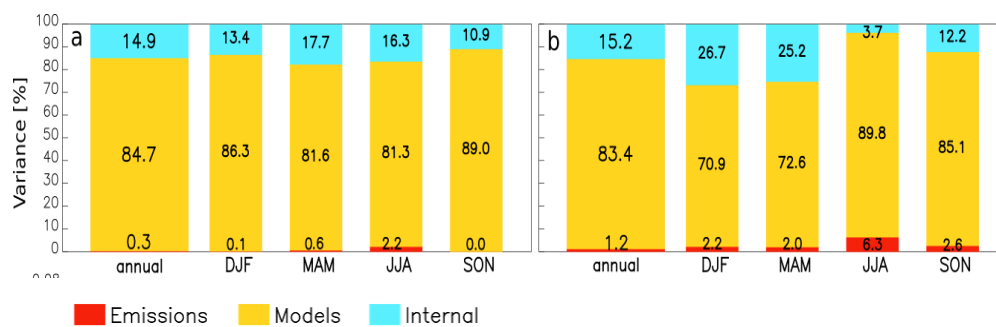


Abb. 4: Der relative Beitrag unterschiedlicher Komponenten zur Unsicherheit in Niederschlagsprojektionen über Europa im 30-jährigen Jahresmittel („annual“), Winter („DJF“), Frühling („MAM“), Sommer („JJA“) und Herbst („SON“). Links: 2021 - 2050; Rechts: 2071 - 2100. Nach: Prein et al. (2011)

Eine direkte Schlussfolgerung aus diesen Studien ist, dass es für die mittelfristige Klimafolgenforschung (Zeithorizont bis 2050) wichtig ist, mit den Ergebnissen möglichst vieler unterschiedlicher Klimamodelle zu arbeiten um die Bandbreite der erwarteten Klimaänderung nicht zu unterschätzen. Die Analyse unterschiedlicher Emissionsszenarien spielt innerhalb dieses Zeithorizonts eine eher untergeordnete Rolle. Erst bei Untersuchungen die sich auf die zweite Hälfte des 21. Jahrhunderts beziehen, ist es wichtig die Effekte unterschiedlicher Emissionsszenarien im Detail zu beleuchten. Natürliche Variabilität wird immer dann besonders wichtig, wenn sich die Untersuchung auf einen relativ kurzen Zeitraum bezieht (z.B. 10 Jahre). Auch Regionalisierung trägt nicht unwesentlich zur Unsicherheit in regionalen Klimaprojektionen bei und sollte bei Untersuchungen über die Auswirkungen des Klimawandels auf keinen Fall vernachlässigt werden.

## 4.2 Die Datengrundlage

### Regionale Klimasimulationen

STMK12 basiert auf den neuesten hochaufgelösten Klimasimulationen für Europa und den Alpenraum. Im EU-Projekt **ENSEMBLES** (<http://www.ensembles-eu.org/>) wurden 22 Simulationen bis zum Jahr 2050 (teilweise bis 2100) durchgeführt. Diese Simulationen überdecken ganz Europa mit einem Gitter von 25 km x 25 km. Für diese 22 Simulationen wurden Ergebnisse von 8 unterschiedlichen globalen Klimamodellen mit Hilfe von 15 unterschiedlichen regionalen Modellen verfeinert<sup>4</sup>.

Zusätzlich werden für STMK12 die neuen sehr hoch aufgelösten Simulationen (10 km x 10 km Gitter) aus dem österreichischen Projekt **reclip:century** ([reclip.ait.ac.at/reclip\\_century/](http://reclip.ait.ac.at/reclip_century/)) herangezogen. Zum Zeitpunkt der Fertigstellung dieses Berichts waren 2 Simulationen verfügbar, welche ein zusätzliches regionales Klimamodell (bzw. eine neue Version eines Modells) in das STMK12-Ensemble einbringen: COSMO-CLM ([www.clm-community.eu](http://www.clm-community.eu)). Beide Simulationen beruhen auf unterschiedlichen globalen Klimamodellen, aber auf demselben Emissionsszenario A1B.

Wegen der großen Anzahl von globalen und regionalen Klimamodellen (8 globale Modelle, 16 regionale Modelle), deckt das STMK12-Ensemble die Modell- und Regionalisierungsunsicherheit sehr gut ab. Auch natürliche Variabilität wird implizit durch die Verwendung unterschiedlicher Globalmodelle berücksichtigt. Alle Simulationen wurden auf Basis eines einzigen Emissionsszenarios, dem SRES Szenario A1B (siehe Abschnitt 0) durchgeführt. Wie in Abschnitt 0 beschrieben, wird dadurch aber die Unsicherheit in Klimaszenarien bis 2050 kaum unterschätzt.

Insgesamt standen für STMK12 **24 hoch aufgelöste Klimasimulationen** zur Verfügung. Die Methodik der Analyse (siehe Abschnitt 0) ist so aufgebaut, dass unterschiedliche Simulationen (auch bei unterschiedlicher Auflösung) gemeinsam analysiert werden können und dass neue Simulationen jederzeit in die Analyse integriert werden können.

### Beobachtungsdaten

Zur Korrektur von Modellfehlern und zur weiteren Verfeinerung der regionalen Klimasimulationen wurde ein neuer auf Beobachtungen basierender Datensatz (Schöner und Cardoso, 2004) der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) eingesetzt. Dieser Datensatz enthält die Variablen Temperatur und Niederschlag in Tagesauflösung auf einem Gitter von 1 km x 1 km. Der Datensatz wurde dankenswerter Weise von W. Schöner (ZAMG) zur Verfügung gestellt.

---

<sup>4</sup> Wobei nicht jedes Globalmodell von jedem Regionalmodell verfeinert wurde.

Klimaszenarien für die Steiermark bis 2050



## Modellfehlerkorrektur und räumliche Verfeinerung

Obwohl regionale Klimamodelle die Ergebnisse globaler Modelle verbessern und regionale Klimadetails wesentlich detaillierter darstellen, weisen sie trotzdem Fehler von einigen °C oder 50 % der Niederschlagssumme auf (z.B., Suklitsch et al., 2008; 2011). Wenn die Auswirkungen des Klimawandels untersucht werden, sind derartige Fehler nicht akzeptabel, da sie zu völlig falschen Schlussfolgerungen führen können. Diese Fehler können aber durch empirisch-statistische Methoden größtenteils entfernt werden. Um die Ergebnisse der STMK12-Szenarien direkt in der Klimafolgenforschung anwendbar zu machen, wurde der gesamte Datensatz fehlerkorrigiert.

Dazu wurde in den letzten Jahren eine empirisch-statistische Methode entwickelt, welche auf Angleichung der empirischen kumulativen Dichtefunktion der Modelle an Beobachtungsdaten beruht („Quantile Mapping“). Diese Methode wurde in einer Vergleichsstudie als äußerst geeignet identifiziert und ist in der Lage Modellfehler auf etwa 10 % ihres ursprünglichen Wertes zu reduzieren (Themeßl et al., 2011). Insbesondere korrigiert die Methode nicht nur Mittelwerte, sondern auch die Variabilität von Zeitreihen und Extremwerte. Eine ausführlichere Diskussion der Methode und ihrer Anwendung auf Klimaszenarien ist in Themeßl et al. (2012) zu finden.

Als empirische Basis für die Fehlerkorrektur dient der im vorherigen Abschnitt beschriebene Datensatz der ZAMG. Durch die hohe räumliche Auflösung der Beobachtungsdaten werden im Zuge der Fehlerkorrektur nicht nur Modellfehler korrigiert, sondern auch die räumliche Auflösung der regionalen Klimasimulationen verfeinert. Unabhängig von der ursprünglichen Auflösung des Modells liegen die Ergebnisse nach Fehlerkorrektur auf einem gemeinsamen 1 km × 1 km Gitter vor. Dadurch können sie in der nachfolgenden statistischen Analyse gemeinsam untersucht werden und es ist relativ einfach später weitere Simulationen (auch wenn sie nicht genau die gleiche Auflösung haben) zu integrieren. Zusätzlich hat diese hohe Auflösung große Vorteile bei der Verwendung der STMK12-Basisdaten in der Klimafolgenforschung, etwa als Antrieb für hydrologische Modelle.

## Untersuchungsgebiet und Zeiträume

Die STMK12-Szenarien decken die gesamte Steiermark ab. Für die Berechnung der Klimaänderung wurden zwei 30-jährige Perioden miteinander verglichen: 1971 – 2000 (repräsentativ für das mittlere Jahr 1985) als Referenzperiode und 2021 – 2050 (repräsentativ für das mittlere Jahr 2035) als zukünftige Periode. Indem man etwa die mittlere Temperatur der Referenzperiode von jener der Zukunftsperiode abzieht, erhält man das sogenannte Klimaänderungssignal der Temperatur. Alle in diesem Bericht angegebenen Klimaänderungssignale beziehen sich auf die Änderung zwischen 1985 und 2035. Derzeit (2012) ist also schon etwa die Hälfte der beschriebenen Klimaänderung eingetreten und die andere Hälfte liegt bis 2035 noch vor uns.

Klimaszenarien für die Steiermark bis 2050

## Verfügbarkeit der STMK12-Basisdaten für die Klimafolgenforschung

Die STMK12-Basisdaten bestehen aus Tageswerten der Temperatur und des Niederschlags von 24 Klimamodellen im Zeitraum von 1971 bis 2050. Für das Gebiet der Steiermark wurden diese Daten fehlerkorrigiert, räumlich verfeinert und liegen auf einem Gitter von 1 km x 1 km großen Zellen vor.

Diese sowohl zeitlich als auch räumlich hoch aufgelösten Daten stehen als Eingangsdaten für weiterführende Untersuchungen im Bereich der Modellierung der Auswirkungen des Klimawandels (etwa mit hydrologischen Modellen) zur Verfügung (Kontakt: [andreas.gobiet@uni-graz.at](mailto:andreas.gobiet@uni-graz.at)).

## 4.3 Methoden und Überblick über die Ergebnisse

### Wie kann die Zuverlässigkeit von Klimaszenarien bestimmt werden?

Die vorhergehenden Abschnitte beschreiben die wichtigsten Quellen der Unsicherheit in regionalen Klimaszenarien und zeigen wie die jeweiligen Unsicherheiten abgeschätzt werden können. Zusammengefasst besteht der Vorgang darin, gezielt ein Ensemble von Klimasimulationen zu untersuchen, welches die wichtigsten Komponenten der Unsicherheit möglichst vollständig abdeckt. Aus der Bandbreite der Ergebnisse können dann Rückschlüsse auf die Zuverlässigkeit der Szenarien gezogen werden.

Da Klimamodelle die größten Quellen von Unsicherheit sind, wurde zur Erstellung der STMK12-Szenarien das größte derzeit verfügbare Multi-Modell-Ensemble von regionalisierten Klimasimulationen herangezogen (siehe Abschnitt 0).

Bei der Abschätzung der Zuverlässigkeit ist zu beachten, dass die Ergebnisse nicht strikt als Eintrittswahrscheinlichkeit interpretiert werden dürfen, sondern nur unter der Annahme gewisser sozio-ökonomischer Entwicklungen gelten (A1B Emissionsszenario). Wie in Abschnitt 0 erläutert, hat diese Einschränkung bei Klimaszenarien bis 2050 aber nur kleine Auswirkungen. Weiters könnten unbekannte gemeinsame Fehler der Klimamodelle die Abschätzung der Verlässlichkeit beeinflussen. Da die Entwickler von Klimamodellen nicht völlig isoliert von anderen Modellentwicklern arbeiten, können gemeinsame Fehler nicht ausgeschlossen werden. Allerdings sind Klimamodelle heute durch jahrzehntelange Entwicklung und Evaluierung sehr gut getestet. Innerhalb ihrer jeweiligen Einsatzbereiche, für die nähere Zukunft (wie hier untersucht) und im Rahmen von Ensemble-Analysen (wie hier durchgeführt) werden sie als zuverlässig betrachtet.

### Klimaänderungssignale

Als Klimaänderungssignal wird der klimatologische Unterschied zwischen zwei (in diesem Fall 30-jährigen) Zeitspannen bezeichnet. Die STMK12-Szenarien beziehen sich immer auf Änderungen zwischen den Perioden 1971 – 2000 und 2021 – 2050, also auf eine innerhalb von 50 Jahren eintretende Klimaänderung (siehe auch Abschnitt 0).

In Abb. 5 sind die Temperatur- und Niederschlagsänderungssignale (gemittelt über die ganze Steiermark) der 24 STMK12-Modelle im Winter und Sommer dargestellt. Wie man sieht, zeigen alle Modelle ansteigende Temperaturen an. Beim Niederschlagssignal ist die Sache weit weniger eindeutig. Viele Modelle (vor allem im Winter), weisen auf mehr Niederschlag hin, einige (vor allem im Sommer) aber auch auf weniger.

Klimaszenarien für die Steiermark bis 2050

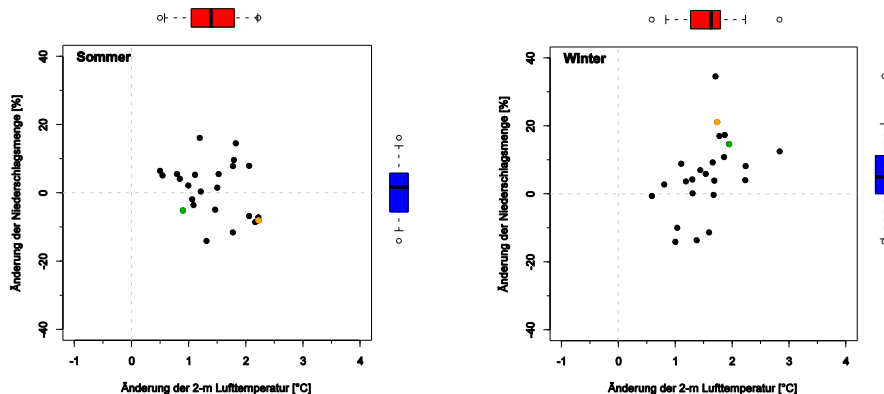


Abb. 5: Klimaänderungssignale (2021 – 2050 verglichen mit 1971 – 2000) der Temperatur und des Niederschlags der 24 STMK12-Modelle in der Steiermark. Schwarz: fehlerkorrigierte ENSEMBLES Modelle; gelb und grün: Fehlerkorrigierte reclip:century Modelle. Links: Sommer; rechts: Winter.

## Verlässlichkeit der Temperatur- und Niederschlags-Klimaänderungssignale in der Steiermark

Schon aus Abb. 5 lässt sich intuitiv einiges über die Verlässlichkeit der Klimaänderungssignale für Temperatur und Niederschlag in der Steiermark ableiten: während eine Temperaturerhöhung mit äußerst hoher Wahrscheinlichkeit zu erwarten ist, gibt es einige Unklarheiten in Bezug auf Niederschläge.

Um diese Verlässlichkeit oder Unsicherheit der Klimaszenarien für unterschiedliche meteorologische Variablen oder anwendungsorientierte Kenngrößen konkreter zu bestimmen, wurde ein statistischer Test durchgeführt, der auf den Ergebnissen der einzelnen Modelle beruht. Es wird getestet, ob sich die mittlere Änderung (Mittelwert der Änderungssignale aller Modelle) verglichen mit der Variabilität des Ensembles signifikant von Null unterscheidet. Es wird also die Frage gestellt, ob das gesamte Ensemble eine signifikante Änderung anzeigt, anstatt die Ergebnisse einzelner Modelle unreflektiert als „gute Schätzung“ für das künftige Klima zu verwenden. Erst durch eine derartige Ensembleanalyse können einzelne Simulationen eingeordnet werden und Bandbreiten wahrscheinlicher Klimaentwicklungen aufgezeigt werden.

Zur Bestimmung der Signifikanz der Klimaänderungssignale wurde der parameterfreie Wilcoxon-Mann-Whitney-Test („U-Test“) mit einer zweiseitig formulierten Hypothese eingesetzt. Die Nullhypothese lautet: Die zur Diskussion stehende Änderung tritt nicht ein (z.B.: „Die Sommertemperatur in der Steiermark ändert sich nicht“). Wenn diese Nullhypothese mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von weniger als 5 % zurückgewiesen werden kann, wird die Alternativhypothese angenommen (in unserem Beispiel: „Die Sommertemperatur in der Steiermark ändert sich“).

Klimaszenarien für die Steiermark bis 2050

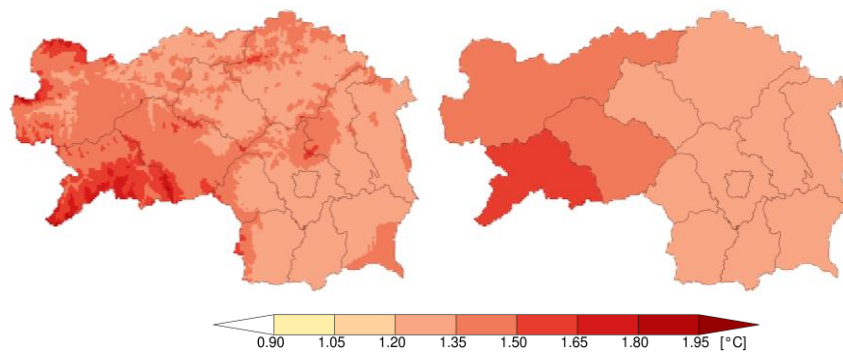


Abb. 6: Erwartete Änderung der Jahresmitteltemperatur [°C] (2021 – 2050 verglichen mit 1971 – 2000) in der Steiermark. Links: 1 km Gitter; rechts: Bezirke. Gebiete in denen die erwartete Änderung nicht signifikant ist (5% Signifikanzniveau), sind grau dargestellt.

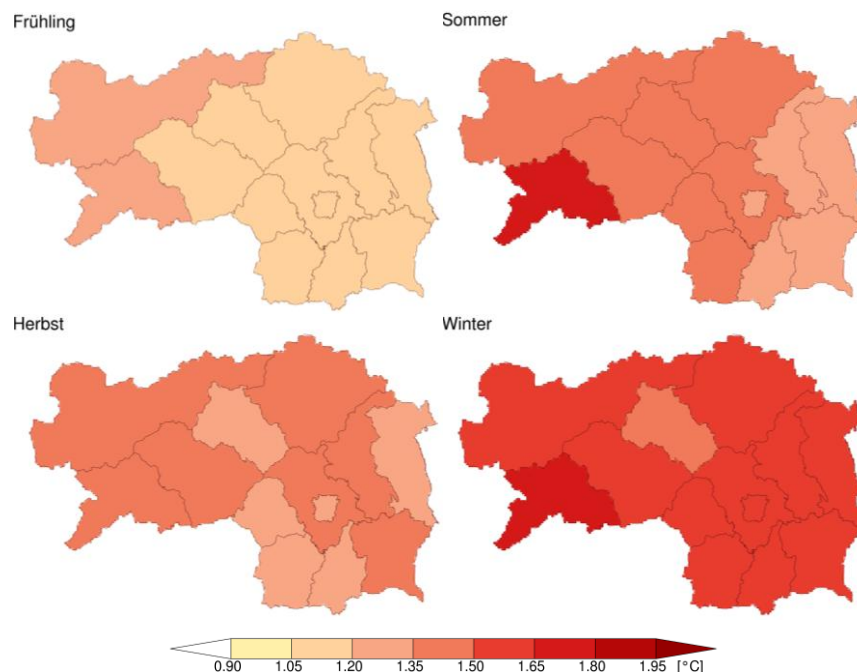


Abb. 7: Erwartete saisonale Temperaturänderung [°C] (2021 – 2050 verglichen mit 1971 – 2000) in der Steiermark. Gebiete in denen die erwartete Änderung nicht signifikant ist (5% Signifikanzniveau), sind grau dargestellt.

Um solche Fragestellungen für die Bezirke der Steiermark übersichtlich beantworten zu können, werden die STMK12-Szenarien auf Karten mit Bezirksgrenzen dargestellt, wobei Regionen mit nicht signifikanten Änderungssignalen grau dargestellt sind. In Bezirken mit signifikanten Änderungssignalen ist deren Intensität farbig dargestellt.

Abb. 6 zeigt die erwartete Änderung der Jahresmitteltemperatur in der Steiermark (links am 1 km Gitter, rechts in den Bezirken). Abb. 7 zeigt zusätzlich die saisonale Temperaturänderung. **In der gesamten Steiermark ist in allen Jahreszeiten mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit mit Temperaturzunahmen zu rechnen.** Die Werte bewegen sich um 1,4 °C in 50 Jahren (**knapp 0,3 °C pro Jahrzehnt**), wobei regional und saisonal mäßige Unterschiede von 1,1 °C (0,22 °C pro Jahrzehnt) bis 1,7°C (0,34 °C pro Jahrzehnt) auftreten.

Abb. 8 zeigt die erwartete Änderung der Jahresniederschlagssumme in der Steiermark (links am 1 km Gitter, rechts in den Bezirken). Abb. 9 zeigt zusätzlich die saisonale Niederschlagsänderung in den Bezirken.

In Bezug auf Niederschlag sind die Szenarien weit weniger eindeutig als für die Temperatur. **Von Herbst bis Frühling nimmt der Niederschlag tendenziell zu (bis +10%). Für den Sommer kann keine zuverlässige Aussage gemacht werden,** aber insbesondere im Süden der Steiermark sind im Sommer auch trockenere Verhältnisse möglich.

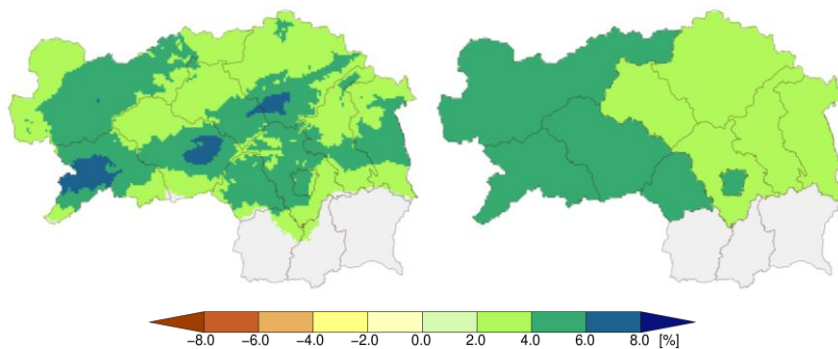


Abb. 8: Erwartete Änderung der jährlichen Niederschlagssumme [%] (2021 – 2050 verglichen mit 1971 – 2000) in der Steiermark. Links: 1km Gitter; Rechts: Bezirke. Gebiete in denen die erwartete Änderung nicht signifikant ist (5% Signifikanzniveau), sind grau dargestellt.

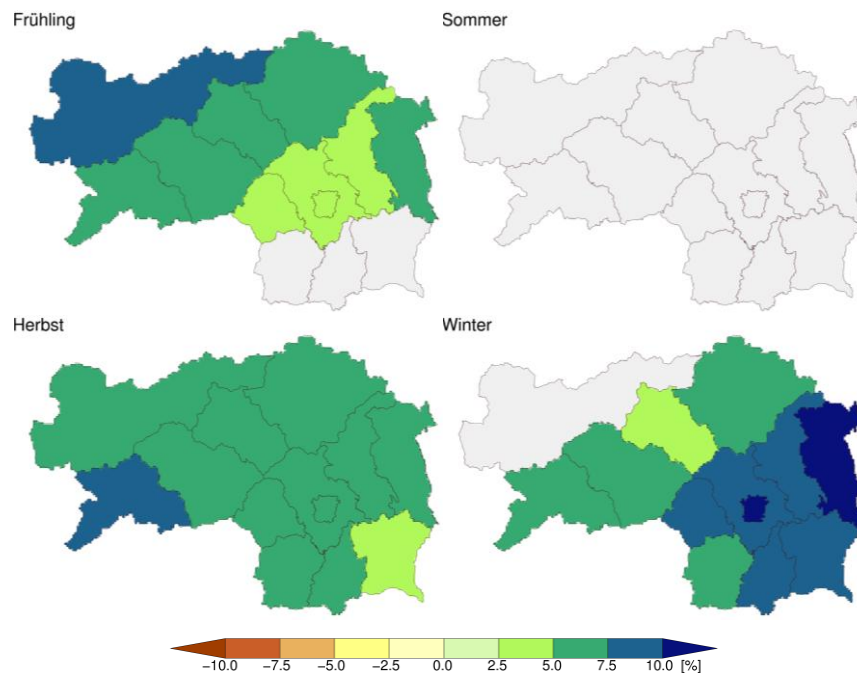


Abb. 9: Erwartete saisonale Niederschlagsänderung [%] (2021 – 2050 verglichen mit 1971 – 2000) in der Steiermark. Gebiete in denen die erwartete Änderung nicht signifikant ist (5% Signifikanzniveau), sind grau dargestellt.

Weitere Untersuchungen zeigen, dass die Niederschlagszunahme von Herbst bis Frühling **nicht etwa durch häufigere, sondern durch heftigere Niederschläge** Zustand kommt. Im Sommer ist sogar von einer signifikanten Abnahme der Niederschlagshäufigkeit auszugehen, während die Niederschlagsintensität in allen Saisonen zunimmt.

### Die Bandbreite der möglichen Klimazukunft der Steiermark im Jahresverlauf

Für jeden Bezirk und jedes Monat wurden Bandbreiten der Klimaänderungssignale berechnet. Diese geben den Bereich an, innerhalb dessen sich das künftige Klima (nach heutiger Wissenslage und unter Annahme des A1B Emissionsszenarios) mit 90% Wahrscheinlichkeit abspielen wird (5% bis 95% Quantilen).

Nach den Definitionen des Weltklimarats wird 90% als „sehr wahrscheinlich“ („very likely“) bezeichnet (Mastrandrea et al., 2011). Die angegebene Bandbreite gibt also jenen Bereich an, innerhalb dessen sich das künftige Klima sehr wahrscheinlich abspielen wird. Für Planungszwecke ist es wichtig derartige Bandbreiten zu betrachten um die Notwendigkeit (oder Nicht-Notwendigkeit) von Anpassungsmaßnahmen einzuschätzen und die mit den unterschiedlichen Handlungsoptionen verbundenen Risiken bewerten zu können.

Abb. 10 und Abb. 11 zeigen die Bandbreiten der künftigen Temperatur- und Niederschlagsänderungen für die Steiermark. **Die gesamte Bandbreite der Tempe-**

Klimaszenarien für die Steiermark bis 2050

**Temperaturänderung liegt in jedem einzelnen Monat im positiven Bereich.** Die stärksten Änderungen sind im Winter zu erwarten, die geringsten im Frühling.

**Die Bandbreite der Niederschlagsänderung reicht von etwa -20% bis +30%. Von Herbst bis Frühling ist eine Niederschlagszunahme wahrscheinlich, im Sommer ist eine leichte Tendenz zur Niederschlagsabnahme zu erkennen,** allerdings ist diese Tendenz unsicherer als die Zunahme in den anderen Jahreszeiten.

Die Detailergebnisse für die einzelnen Bezirke der Steiermark sind in dem separaten Anhang „Detailergebnisse in den Bezirken“ (Gobiet et al., 2012) zu finden.

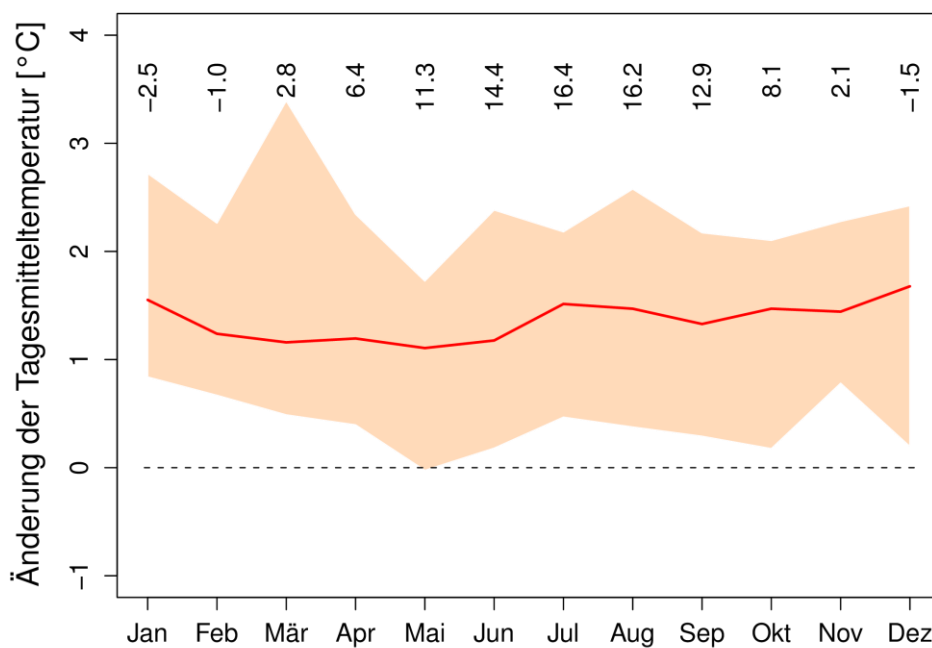


Abb. 10: Jahresgang der Bandbreite der Temperaturänderung (2021 – 2050 verglichen mit 1971 – 2000, gesamte Steiermark). Dicke Linie: erwartete Änderung; schattierter Bereich: 5% bis 95% Quantilen. Oben: Temperatur [°C] in der Referenzperiode 1971 – 2000).



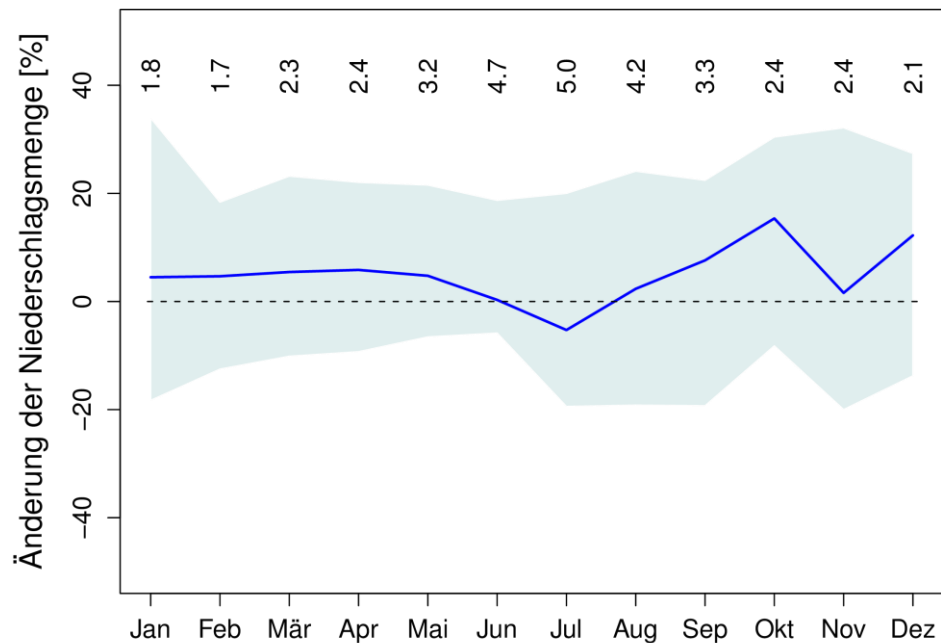


Abb. 11: Jahresgang der Bandbreite der Niederschlagsänderung (2021 – 2050 verglichen mit 1971 – 2000, gesamte Steiermark). Dicke Linie: erwartete Änderung; schattierter Bereich: 5% bis 95% Quantilen. Oben: Niederschlagssummen [mm/Tag] in der Referenzperiode 1971 – 2000).

### Kenngroßen der Auswirkungen des Klimawandels

Kenngroßen der Auswirkungen des Klimawandels sind Größen, die von einfachen Klimavariablen (Temperatur und Niederschlag) abgeleitet werden können und für die Auswirkungen des Klimawandels auf bestimmte Sektoren wichtig sind. In Absprache mit den Fachabteilungen des Landes Steiermark wurden auf Basis von STMK12 bislang vier Kenngroßen analysiert, welche jeweils für unterschiedliche Sektoren (Energie, Tourismus, Katastrophenschutz und Landwirtschaft) repräsentativ sind:

- Kühlgradtage (Summe von Temperaturdifferenzen (Tagesmittel minus 18,3°C) an Tagen mit einem Tagesmittel > 18,3°C)
- Schneetage (Anzahl der Tage mit Naturschneehöhe > 30 cm)
- Extremniederschläge (Anzahl der Tage mit Niederschlag > 30 mm)
- Maximale Länge von Trockenperioden (längste Periode ohne Niederschlag pro Jahr oder Saison)

## Kühlgradtage

In den Abbildungen 12 und 13 ist die erwartete Änderung der Kühlgradtage dargestellt. Kühlgradtage sind eine wichtige Kenngröße für den Energieverbrauch durch Gebäudekühlung. **In den Sommermonaten und im Südosten der Steiermark ist mit einer deutlichen Steigerung zu rechnen.** Relativ zur Referenzperiode verdoppelt sich die Anzahl der Kühlgradtage nahezu.

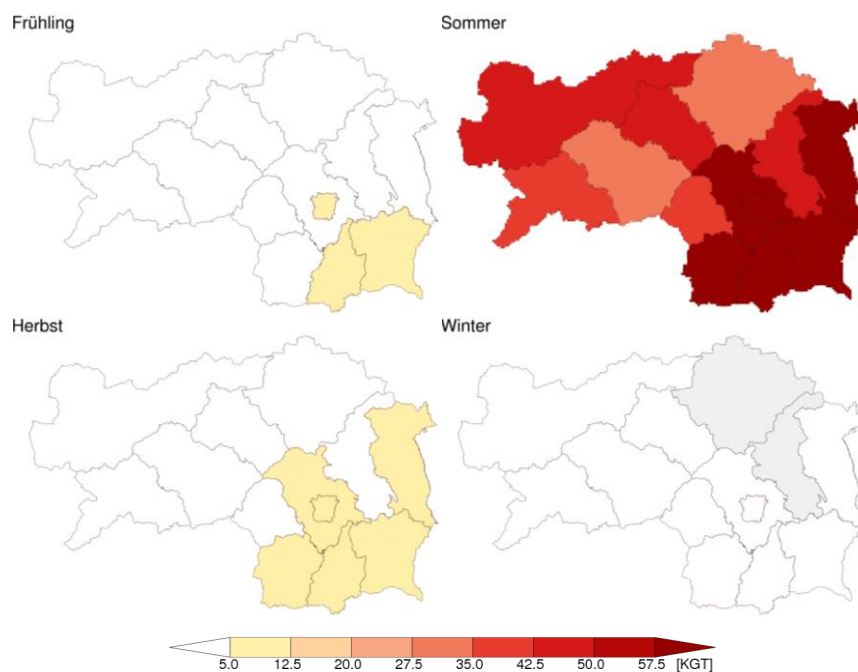


Abb. 12: Erwartete saisonale Änderung der Kühlgradtage (2021 – 2050 verglichen mit 1971 – 2000) in der Steiermark. Gebiete in denen die erwartete Änderung nicht signifikant ist (5% Signifikanzniveau), sind grau dargestellt.

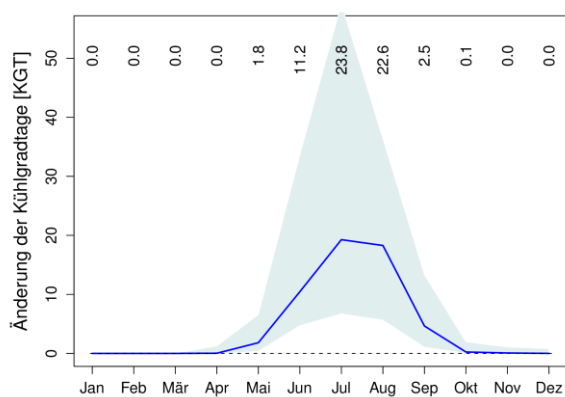


Abb. 13: Jahresgang der Bandbreite der Änderung der Kühlgradtage (2021 – 2050 verglichen mit 1971 – 2000, gesamte Steiermark). Dicke Linie: erwartete Änderung; schattierter Bereich: 5% bis 95% Quantilen. Oben: Kühlgradtage in der Referenzperiode 1971 – 2000).

Klimaszenarien für die Steiermark bis 2050

## Schneedeckentage

In den Abbildungen 14 und 15 ist die erwartete Änderung der Schneedeckentage mit Schneehöhe über 30 cm (ohne künstliche Schneeerzeugung) dargestellt. Schneedeckentage sind eine wichtige Kenngröße für den Wintertourismus. In der Wintersaison (Dezember bis Februar) muss mit einer **Abnahme bis zu 50 %** gerechnet werden.

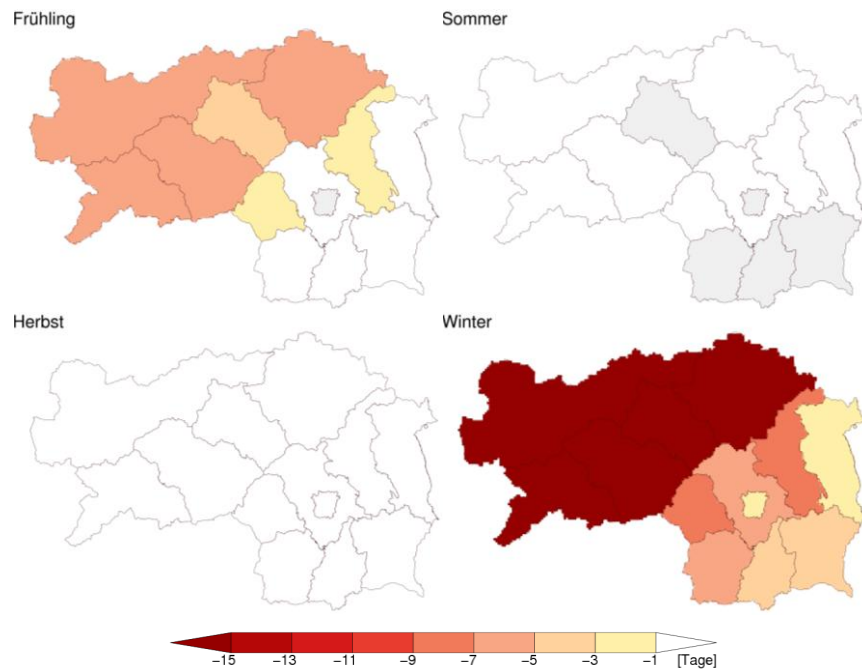


Abb. 14: Erwartete saisonale Änderung der Schneedeckentage (> 30 cm Schneehöhe) [Tage/Saison] (2021 – 2050 verglichen mit 1971 – 2000) in der Steiermark. Gebiete in denen die erwartete Änderung nicht signifikant ist (5% Signifikanzniveau), sind grau dargestellt.

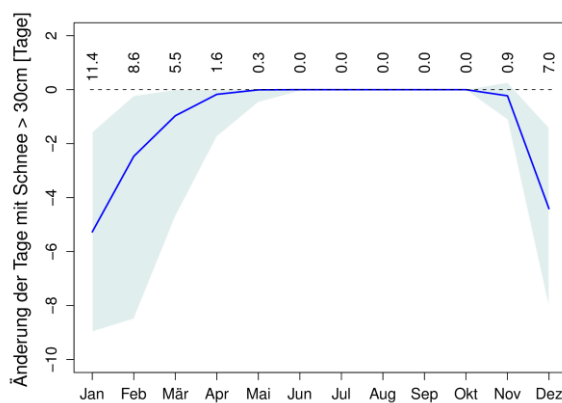


Abb. 15: Jahresgang der Bandbreite der Änderung der Schneedeckentage (> 30 cm Schneehöhe) [Tage/Monat] (2021 – 2050 verglichen mit 1971 – 2000, gesamte Steiermark). Dicke Linie: erwartete Änderung; schattierter Bereich: 5% bis 95% Quantilen. Oben: Schneedeckentage in der Referenzperiode 1971 – 2000).

## Starkniederschläge

In den Abbildungen 16 und 17 ist die erwartete Änderung der Starkniederschlagsereignisse (Tage mit über 30 mm Niederschlag) dargestellt. Starkniederschläge sind als Kenngröße sowohl für Überschwemmungen, Naturgefahren, als auch für die Landwirtschaft relevant. **Tendenziell ist in allen Jahreszeiten mit mehr Starkniederschlagsereignissen zu rechnen. Die Unsicherheiten sind aber sehr groß und eine endgültige Aussage ist derzeit nicht möglich.**

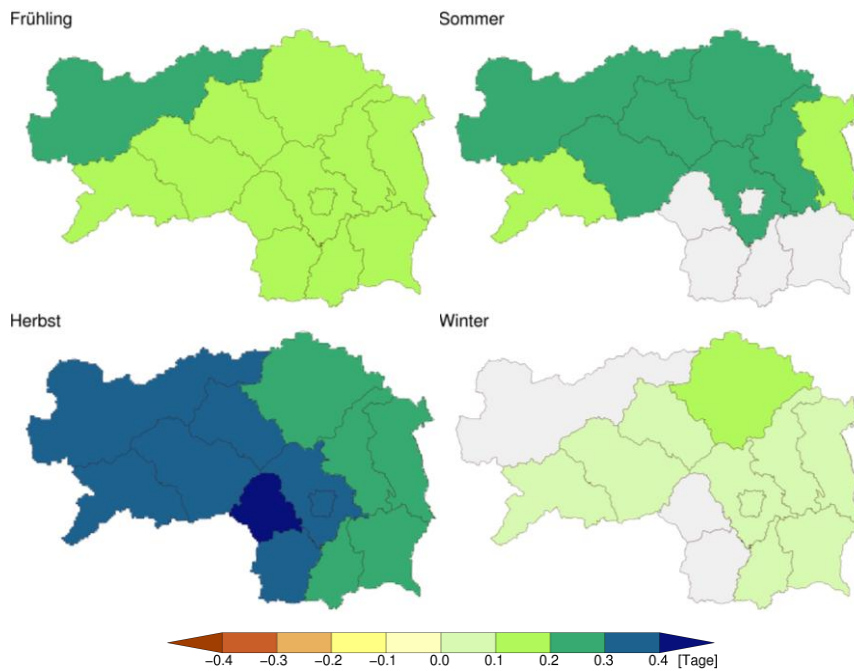


Abb. 16: Erwartete saisonale Änderung der Tage mit starkem Niederschlag (> 30 mm Niederschlagssumme pro Tag) [Tage/Saison] (2021 – 2050 verglichen mit 1971 – 2000) in der Steiermark. Gebiete in denen die erwartete Änderung nicht signifikant ist (5% Signifikanzniveau), sind grau dargestellt.

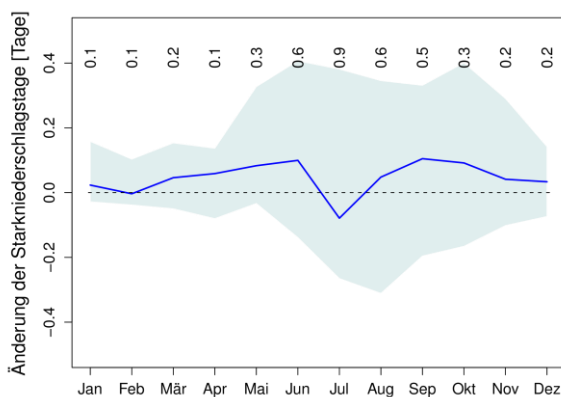


Abb. 17: Jahresgang der Bandbreite der Änderung der Tage mit starkem Niederschlag (> 30 mm) [Tage/Monat] (2021 – 2050 verglichen mit 1971 – 2000, gesamte Steiermark). Dicke Linie: erwartete Änderung; schattierter Bereich: 5% bis 95% Quantilen. Oben: Anzahl der Starkniederschlagstage in der Referenzperiode 1971 – 2000).

Klimaszenarien für die Steiermark bis 2050

## Maximale Länge von Trockenperioden

In den Abbildungen 18 und 19 ist die erwartete Änderung der längsten Trockenperiode pro Saison, bzw. pro Monat dargestellt. Die längste Trockenperiode ist eine wichtige Kenngröße für Landwirtschaft und Wasserversorgung. **In der Steiermark sind nach heutigem Stand des Wissens in Zukunft längere Trockenperioden zwar möglich, aber nicht besonders wahrscheinlich.**

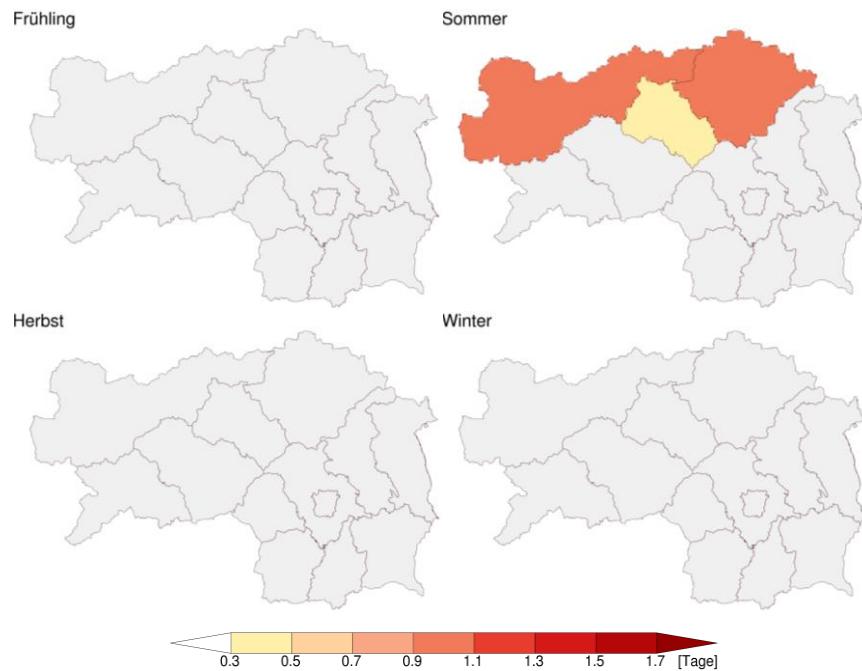


Abb. 18: Erwartete Änderung der längsten Trockenperiode pro Saison [Tage] (2021 – 2050 verglichen mit 1971 – 2000) in der Steiermark. Gebiete in denen die erwartete Änderung nicht signifikant ist (5% Signifikanzniveau), sind grau dargestellt.

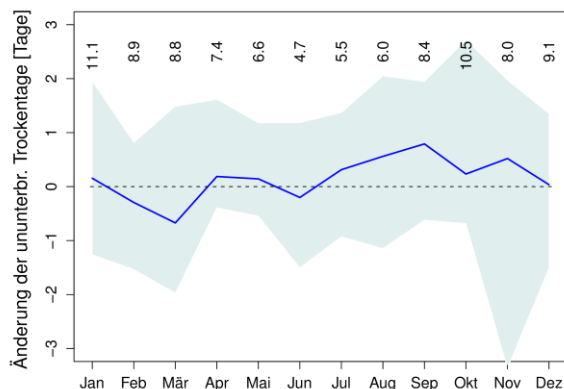


Abb. 19: Jahresgang der Bandbreite der Änderung der längsten Trockenperiode pro Monat [Tage] (2021 – 2050 verglichen mit 1971 – 2000, gesamte Steiermark). Dicke Linie: erwartete Änderung; schattierter Bereich: 5% bis 95% Quantilen. Oben: Typische längste Trockenperiode pro Monat in der Referenzperiode 1971 – 2000).

Klimaszenarien für die Steiermark bis 2050

## 5. Literaturverzeichnis

- Benestad**, R. E., I. Hanssen-Bauer, and D. Chen (2009), *Empirical-Statistical Downscaling*, World Scientific Publishing Co., Singapore, 215 pp, ISBN 978-981-281-912-3.
- Déqué**, M., D. P. Rowell, D. Luethi, F. Giorgi, J. H. Christensen, B. Rockel, D. Jacob, E. Kjellstrom, M. de Castro, and B. van den Hurk (2007), An inter-comparison of regional climate simulations for Europe: assessing uncertainties in model projections, *Clim. Change*, *81*, 53-70, doi: 10.1007/s10584-006-9228-x.
- Giorgi**, F., L. Mearns (1999), Introduction to special section: Regional climate modeling revisited, *J. Geophys. Res. -Atmos.*, *104*(D6), 6335-6352, doi: 10.1029/98JD02072.
- Hawkins**, E., R. Sutton (2011), The potential to narrow uncertainty in projections of regional precipitation change, *Clim. Dyn.*, *37*(1-2), 407-418, doi: 10.1007/s00382-010-0810-6.
- Hawkins**, E., R. Sutton (2009), The Potential to Narrow Uncertainty in Regional Climate Predictions, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, *90*(8), 1095-+, doi: 10.1175/2009BAMS2607.1.
- Mastrandrea**, M. D., K. J. Mach, G. Plattner, O. Edenhofer, T. F. Stocker, C. B. Field, K. L. Ebi, and P. R. Matschoss (2011), The IPCC AR5 guidance note on consistent treatment of uncertainties: a common approach across the working groups, *Clim. Change*, *108*(4), 675-691, doi: 10.1007/s10584-011-0178-6.
- Meehl**, G. A., C. Covey, T. Delworth, M. Latif, B. McAvaney, J. F. B. Mitchell, R. J. Stouffer, and K. E. Taylor (2007), The WCRP CMIP3 multimodel dataset - A new era in climate change research, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, *88*(9), 1383-+, doi: 10.1175/BAMS-88-9-1383.
- Nakicenovic**, N., Alcamo, J., Davis, G., de Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Grübler, A., Jung, T.Y., Kram, T., La Rovere, E.L., Michaelis, L., Mori, S., Morita, T., Pepper, W., Pitcher, H., Price, L., Raihi, K., Roehrl, A., Rogner, H.-H., Sankovski, A., Schlesinger, M., Shukla, P., Smith, S., Swart, R., van Rooijen, S., Victor, N., Dadi, Z. (2000), *IPCC Special Report on Emissions Scenarios - Summary for Policymakers*, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 21 pp., ISBN: 92-9169-113-5
- Prein**, A. F., A. Gobiet, and H. Truhetz (2011), Analysis of uncertainty in large scale climate change projections over Europe, *Meteorologische Zeitschrift*, *20*(4), 383-395, doi:10.1127/0941-2948/2011/0286.

- Suklitsch**, M., A. Gobiet, A. Leuprecht, and C. Frei (2008), High Resolution Sensitivity Studies with the Regional Climate Model CCLM in the Alpine Region, *Meteorologische Zeitschrift*, 17(4), 467-476, doi: 10.1127/0941-2948/2008/0308.
- Suklitsch**, M., A. Gobiet, H. Truhetz, N. K. Awan, H. Goettel, and D. Jacob (2011), Error characteristics of high resolution regional climate models over the Alpine area, *Clim. Dyn.*, 37(1-2), 377-390, doi: 10.1007/s00382-010-0848-5.
- Themeßl**, M. J., A. Gobiet, and A. Leuprecht (2011), Empirical-statistical downscaling and error correction of daily precipitation from regional climate models, *Int. J. Climatol.*, 31(10), 1530-1544, doi: 10.1002/joc.2168.
- Themeßl**, M., A. Gobiet, and G. Heinrich (2012), Empirical-statistical downscaling and error correction of daily precipitation of regional climate models and its impact on the climate change signal, *Clim. Change*, 112(2), 449-468, doi: 10.1007/s10584-011-0224-4, 2012
- van Vuuren**, D. P., J. Edmonds, M. Kainuma, K. Riahi, A. Thomson, K. Hibbard, G. C. Hurtt, T. Kram, V. Krey, J. Lamarque, T. Masui, M. Meinshausen, N. Nakicenovic, S. J. Smith, and S. K. Rose (2011), The representative concentration pathways: an overview, *Clim. Change*, 109(1-2), 5-31, doi: 10.1007/s10584-011-0148-z.