Publizierbarer Endbericht

Gilt für Studien aus der Programmlinie Forschung

A) Projektdaten

Allgemeines zum Projekt	
Kurztitel:	STARC-Impact
Langtitel:	Supporting The Austrian Research Community in using recent Climate Change Projections for Climate Impact Studies
Zitiervorschlag:	Supporting The Austrian Research Community in using recent Climate Change Projections for Climate Impact Studies
Programm inkl. Jahr:	ACRP 8th Call for Proposals (2015)
Dauer:	01.07.2016 bis 31.10.2018
KoordinatorIn/ ProjekteinreicherIn:	Zunächst Heimo Truhetz. Im ersten Projektjahr hat Douglas Maraun die Leitung übernommen.
Kontaktperson Name:	Douglas Maraun
Kontaktperson Adresse:	Universität Graz Wegener Center für Klima und Globalen Wandel Brandhofgasse 5, 8010 Graz
Kontaktperson Telefon:	+43 316 380 8448
Kontaktperson E-Mail:	douglas.maraun@uni-graz.at
Projekt- und KooperationspartnerIn (inkl. Bundesland):	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), Wien Universität für Bodenkultur (BOKU), Wien
Schlagwörter:	Klimawandel, Klimafolgen, Evaluation, Nutzer-Orientierung
Projektgesamtkosten:	313.983,16 €
Fördersumme:	292.982,- €
Klimafonds-Nr:	KR15AC8K12604
Erstellt am:	28.2.2019

B) Projektübersicht

1 Kurzfassung

Kurze Beschreibung des Projekts

Das Projekt “Klimaszenarien für Österreich (ÖKS15)” wurde vom Ministerium für ein Lebenswertes Österreich (BMLFUW) gemeinsam mit den Bundesländern in Auftrag gegeben. Ein hochauflösender gegitterter Beobachtungsdatensatz wurde erstellt und analysiert, und regionale Klimaprojektionen zu zwei Treibhausgas-szenarien wurden erstellt. Die Klimaprojektionen basieren auf den EURO-CORDEX Simulationen mit regionalen Klimamodellen, die gegen den 1km x 1km Beobachtungsdatensatz Bias-korrigiert wurden. Ein Ziel von ÖKS15 die Vergleichbarkeit von Klima- und Klimafolgenstudien sicherzustellen.

Das Ziel des STARC-Impact Projekts war eine systematische Evaluierung der Stärken und Grenzen sowohl der ÖKS15 Beobachtungsdaten als auch der Modellprojektionen, eine Analyse der Anwendbarkeit der ÖKS15 Daten für Klimafolgenstudien und Risikoabschätzungen, und der Wissenstransfer der Ergebnisse zu Nutzern. Zusätzlich sollten die ÖKS15 Szenarien um die ENSEMBLES Simulationen, die MED-CORDEX, und das Klimaschutzszenario RCP2.6, sowie eine Berechnung potenzieller Evapotranspiration erweitert werden. Für diese Ziele wurden folgende wissenschaftliche Workpackages definiert:

WP2: Evaluation und Unsicherheiten der gegitterten Beobachtungsdaten; durch Kreuzvalidierung, Evaluierung an externen Daten, skalenabhängige Evaluation, Evaluierung von effektiver Auflösung und zeitlicher Stabilität.
WP3: Klimamodellevaluation, Projektionen und Unsicherheitsanalyse; durch Evaluierung einer Auswahl an Klimaindizes, prozess-basierte Evaluierung, Analyse der effektiven Auflösung, Analyse von Projektionsunsicherheiten.
WP4: landwirtschaftliche Klimafolgenstudie; durch prozessbasierte Pflanzen-modellierung, Sensitivitätsstudien, Analyse von Klimafolgenprojektionen, Analyse von Benefits und Risiken von Anpassungsoptionen.
WP5: Nutzereinbindung; durch Nutzerworkshops, Fragebögen, Nutzerfeedback, Synthese und Guidelines.

Resultate und Schlussfolgerungen

Evaluation und Unsicherheiten der gegitterten Beobachtungsdaten (WP2)

In der Unsicherheitsanalyse wurden Gitterpunktfehler berechnet und z.B. nach Höhenlage, Landschaftstyp und Kalendermonat stratifiziert. Mittlere Interpola-tionsfehler sind klein für Temperatur (MAE: 1°C) und beträchtlich für Niederschlag (RMSF: 1,48). Der Glättungseffekt der Interpolation führt zur Überschätzung von niedrigen und einer Überschätzung von hohen Werten, mit ernsten Konsequenzen für Extrema. Die größten Fehler sind in hochalpinen Lagen zu

erwarten. Die Datenqualität ist stabil in der Zeit. Die ÖKS15 Daten liefern plausible räumliche Temperaturverteilungen sogar in schwierigen Situationen mit Kaltluftseen in Tälern und Föhnlagen. Der Niederschlag bildet die feine Struktur der INCA Analysen in konvektiven Situationen nicht ab, ist aber frei von Radar Artefakten. Evaluation und Anwendung sind insbesondere für extreme Tagesniederschläge ab der effektiven Auflösung von etwa 40x40km empfohlen.

Klimamodellevaluation, Projektionen und Unsicherheitsanalyse (WP3)

Die ÖKS15 Projektionen wurden um die EURO-CORDEX RCP2.6 Simulationen, die ENSEMBLES A1B Simulationen, die entsprechenden Reanalyse-getriebenen Simulationen und potenzielle Evapotranspiration erweitert. Das MED-CORDEX Ensemble konnte nicht berücksichtigt werden, da nur eine Simulation zugänglich war. Jede Simulation wurde durch trenderhaltendes Quantilemapping bias-korrigiert, diverse Klimaindizes wurde berechnet und evaluiert. Zeitliche Indizes wie die Anzahl an Trockenperioden waren auch nach der Korrektur fehlerbehaftet (20-40%, bis zu 100%). Großskalige Wetterlagen wurden in Globalen Klimamodellen (GCMs) evaluiert. Die Performanz variierte je nach GCM (West-strömungen bis zu 50% zu häufig). Biaskorrektur konnte Biase bei bestimmten Wetterlagen nicht komplett beseitigen. Quantilemapping gegen den 1km Datensatz konnte langjährige Klimaverteilungen anpassen, aber nicht die effektive Auflösung des Wetters und Klimawandelsignals verbessern. Die trend-erhaltende Biaskorrektur hat den Einfluss von Beobachtungsunsicherheiten auf die Projektionen minimiert. EURO-CORDEX und ENSEMBLES zeigen substanzielle Unterschiede in saisonalen Niederschlagsänderungen.

Landwirtschaftliche Klimafolgenstudie (WP4)

Drei klimatisch unterschiedliche landwirtschaftliche Regionen wurden als Untersuchungsgebiete ausgewählt. Erträge an ausgewählten Stationen wurden mit dem Pflanzenwachstumsmodell DSSAT berechnet, flächenaggregierte Indikatoren wie Hitzestresstage mit AGRICLIM. ÖKS15 getriebene Simulationen wurden im jetzigen Klima evaluiert. Relative Fehler im Ertrag waren dank der Biaskorrektur klein, nicht-bewässerter Mais zeigte die größten Biase (bis 15%).

Die RCP8.5 Projektionen resultieren in steigenden Erträgen von Winterweizen und Sommergerste, im wesentlichen aufgrund von höheren Temperaturen und Niederschlag im Frühling, sowie höheren CO_2 Konzentrationen. Mais zeigt einen Ertragsrückgang aufgrund einer verkürzten Wachstumsperiode, niedrigerem Sommerniederschlag und höheren Sommertemperaturen. Der Hitzestress ist am höchsten im Osten Österreichs.

Nutzereinbindung , Nutzerworkshops und Guidelines (WP5)

Zwei Nutzerworkshops wurden organisiert, um Nutzerwünsche zu sammeln und die Projektergebnisse zu diskutieren. Als wesentliches Projektergebnis wurden Guidelines in enger Zusammenarbeit mit den Nutzern erstellt: eine generelle Einführung in das Klimawandelmonitoring und die Klimamodellierung; eine Diskussion der Unsicherheiten der ÖKS15 Beobachtungsdaten, der ÖKS15 Klimamodellevaluation und der Projektionsunsicherheiten; die landwirtschaftliche Anwendung; und die Relevanz der Ergebnisse für praktische Anwendungen.

2 Executive Summary

Brief description of the project

The Austrian Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management together with the federal state governments of Austria funded the project "Klimaszenarien für Österreich (ÖKS15)". A key aim of ÖKS15 was to provide a quantification of past climate changes and regional climate projections for Austria based upon the Representative Concentrations Pathways (RCPs) and the latest available EURO-CORDEX regional climate model (RCM) ensemble. The RCMs were bias corrected to a 1km x 1km grid. ÖKS15 was initiated to provide a common basis for climate impact studies and risk analyses.

The aim of STARC-Impact was to understand the strengths and limitations of the ÖKS15 data set, its applicability in climate change impact and risk assessments, and communicate these findings to users of the data. Additional climate model simulations had to be included, in particular representing the A1B and the RCP2.6 scenarios, and historical trends and future projections of potential evapotranspiration (PET) had to be calculated. The specific objectives were addressed in four scientific work packages:

WP2: evaluation and uncertainty of the gridded observational data; by leave-one-out cross validation, evaluation against external data, scale dependent evaluation, and an evaluation of effective resolution and temporal robustness.

WP3: climate model evaluation, projections and uncertainty analysis; by evaluating a range of climate indices; process-based evaluation; analysis of effective-resolution; assessment of projections uncertainties.

WP4: agricultural impact case study; by process-based crop modelling, sensitivity studies, analysis of impact projections, assessment of benefits and risks for adaptation options.

WP5: user involvement; by workshops, group work, questionnaires, user feedback, synthesis and guidelines.

Results and conclusions

Evaluation and uncertainty of the gridded observational data (WP2)

In the uncertainty analyses, grid-point errors have been calculated and stratified according to, e.g., altitudinal belts, landscape type and calendar month. Mean interpolation errors are small for air temperature and substantial for precipitation. The smoothing effect of interpolation leads to an overestimation of low and an underestimation of high values with serious consequences for extremes. The largest errors have to be expected at poorly sampled high-Alpine regions. The data quality is stable in time. The ÖKS15 data provide plausible spatial temperature distributions even in challenging situations with valley-scale cold air pools or föhn layers. Precipitation fields lack the rich, fine-scale structure of INCA

analyses in convective situations, but are free from radar artefacts. Evaluation and interpretation are in particular for extreme daily precipitation recommended starting from the effective resolution of 40x40 km.

Climate model evaluation, projections and uncertainty analysis (WP3)

The ÖKS15 projections have been extended by EURO-CORDEX RCP2.6 simulations, ENSEMBLES A1B simulations and the reanalysis-driven simulations of each RCM, and by potential evapotranspiration. MED-CORDEX simulations could not be considered as only one simulation was available. Each simulation was bias corrected using a trend-preserving quantile mapping, and a range of climate indices has been calculated and evaluated.

Biases remained in particular in temporal aspects such as spell length indices. Large-scale weather types were calculated and evaluated in GCMs. The performance varied strongly across GCMs. Bias correction was not able to fully remove biases conditional on these weather types. Quantile mapping against the 1km observations corrected the long-term climate distributions of the considered variables, but the effective resolution, when considering the day-to-day weather evolution, was about 40km, as quantile mapping cannot create subgrid-variability and climate change signals. The choice of a trend preserving quantile mapping minimises the effect of observational uncertainty on the climate projection. Differences between ENSEMBLES and EURO-CORDEX arise for seasonal precipitation.

Agricultural impact case study (WP4)

Three climatically different agricultural regions were selected as case study regions. Yield at selected stations was simulated with the crop growth model DSSAT, and area-aggregated agroclimatic indicators such as heat stress days were simulated with AGRICLIM.

ÖKS15 driven simulations were evaluated in present climate. Relative errors in yield were relatively small, showing the value of bias correction. Not irrigated maize shows the largest errors. RCP8.5 projections result in increasing yield of winter wheat and spring barley, caused mainly by higher temperatures and more precipitation in spring as well as increasing CO_2 concentrations. Maize shows a yield reduction due to a shortened growing period, lower summer precipitation and higher summer temperatures. The spatial distribution of the heat stress days for Austria shows the clear dominance in Eastern Austria.

User workshops and guidelines (WP5)

Two user workshops were organised to collect user needs and discuss the project results. As a major project outcome, a guidelines document was created in close collaboration with users that contains a general introduction into climate change monitoring and modelling; a discussion of the ÖKS15 observational uncertainty, of the ÖKS15 climate model evaluation and the projection uncertainties, and of the agricultural model evaluation and projections; and the relevance of the project findings for practical applications.

3 Hintergrund und Zielsetzung

Hintergrund

Um eine robuste Grundlage für die Erarbeitung von Handlungsstrategien zur Klimawandelanpassung zu schaffen, hat das Ministerium für ein Lebenswertes Österreich (BMLFUW) gemeinsam mit den Bundesländern die Schaffung von flächendeckenden Daten und Fakten zum Klimawandel in Österreich beauftragt.

Zum einen wurde ein hochauflösender gegitterter Beobachtungsdatensatz für die Klimaentwicklung der letzten Jahrzehnte erstellt und analysiert. Zum anderen wurden regionale Klimaprojektionen für den Zeitaum bis 2100 und zwei Treibhausgasszenarien – einem „business-as-usual“ Szenario und einem Klimaschutz-Szenario – erstellt und darauf basierend diverse Klimaindizes berechnet. Die Klimaprojektionen basieren auf den EURO-CORDEX Simulationen mit regionalen Klimamodellen (Regional Climate Models, RCMs), die gegen den 1km x 1km Beobachtungsdatensatz Bias-korrigiert wurden.

Ein Ziel von ÖKS15 war es eine Grundlage für darauf aufbauende Detail- und Klimafolgenstudien zu legen und vor allem die Vergleichbarkeit dieser Studien sicherzustellen.

Eine detaillierte Beschreibung der Methoden, die bei der Erstellung des Datensatzes zum Einsatz kamen, können im Projektbericht (Chimani et al. 2016) nachgelesen werden. Die Ergebnisse wurden über das Datenzentrum des Climate Change Center Austria (CCCA) publiziert (https://data.ccca.ac.at/group/oks15). Zusätzlich wurden zahlreiche Nutzer-orientierte Factsheets für alle Bundesländer und ausgewählte Gemeinden erstellt.

Das ÖKS15 Projekt hat Beobachtungs- und Modelldaten erstellt und analysiert, es wurde jedoch keine umfassende und nutzerorientierte Evaluierung der Daten und Modelle durchgeführt. Gleichwohl sind sowohl die Erstellung von gegitterten Beobachtungsdaten, die Simulation des regionalen Klimawandels und die Anwendung dieser Simulationen in der Klimafolgenforschung herausfordernd und bedürfen einer gründlichen Evaluierung. Insbesondere benötigen Nutzer klare und verständliche Informationen über die Grenzen und Anwendbarkeit der ÖKS1t5 Daten, um die richtige Anwendung und Interpretation der Daten sicherzustellen.

Die ÖKS15 Projektionen basieren auf dem aktuellen Ensemble der EURO-CORDEX Initiative. Allerdings existieren auch ältere Projektionen aus dem ENSEMBLES Projekt, die ebenfalls mit RCMs erstellt wurden. In manchen Regionen sind beide Modellensembles nicht konsistent, so unterscheiden sich zum Beispiel Änderungen im Herbstniederschlag in Österreich substanziell. Es gibt aber bisher keine Indizien, dass die EURO-CORDEX Projektionen vertrauenswürdiger sind. Um alle möglichen Klimaänderungen abzubilden, sollten deshalb beide Ensembles betrachtet werden. Durch das Abkommen von Paris aus dem Jahr 2015 ist zudem der Wunsch gestiegen, Klimaschutzszenarien zu betrachten, um den Wert von Klimaschutzmaßnahmen besser zu quantifizieren.

Zielsetzung

Das Ziel des STARC-Impact Projekts war es deshalb zum einen, die ÖKS15 Szenarien um die ENSEMBLES Simulationen (gemäß dem alten A1B Szenario) und die EURO-CORDEX Projektionen zum Klimaschutzszenaro RCP2.6 zu erweitern[1].

Weiterhin war das Ziel eine systematische Evaluierung der Stärken und Grenzen sowohl der ÖKS15 Beobachtungsdaten als auch der Modellprojektionen. Im Vordergrund stand dabei die Anwendbarkeit der ÖKS15 Daten für Klimafolgenstudien und Risikoabschätzungen. Deshalb ist ein wichtiger Bestandteil von STARC-Impact auch die Anwendung der ÖKS15 Daten in der Impaktmodellierung.

Schließlich war ein wesentliches Ziel von STARC-Impact die Zusammenarbeit mit Nutzern, um gezielt auf Bedürfnisse aus der Praxis eingehen zu können und gemeinsam ein Guidelines-Dokument zur Nutzung der ÖKS15 Daten zu erstellen.

Um diese Ziele zu erreichen, wurden die folgenden Planziele definiert:

1. Die Untersuchung der Qualität und Unsicherheiten der gegitterten Beobachtungsdatensätze, und die Erstellung eines Datensatzes für potenzielle Evapotranspiration (PET).

2. Die Evaluierung der ÖKS15 Klimamodellsimulationen und eine Abschätzung der Unsicherheiten der Projektionen; und die Berechnung von PET aus den Simulationen;

3. Eine Analyse der Klimaprojektionen für unterschiedliche Emissionsszenarien sowie eine Erweiterung der ÖKS15 Projektionen um das RCP2.6 Szenario und um die Projektionen des Ensembles Projekts[1];

4. Eine beispielhafte Analyse von Klimawandelfolgen auf regionale landwirtschaftliche Produktion und die Sensitivität der Ergebnisse auf Unsicherheiten in der Klimamodellierung und in zukünftigen Emissionen;

5. Eine Untersuchung der Anwendbarkeit der ÖKS15 Daten vor dem Hintergrund ihrer Limitierungen;

6. Die Erstellung von Guidelines für die österreichische Klima- und Klimafolgenforschungsgemeinschaft für die Auswahl, Nutzung und Interpretation der ÖKS15t Daten;

7. Nutzer und Experten, die mit Klimamodellen oder abgeleiteten Daten arbeiten, in Kontakt zu bringen um relevante Informationen, Erfahrungen und gute Praxis auszutauschen.

1 Im Antrag wurde auch eine Erweiterung um die MED-CORDEX Simulationen angekündigt. Da zu Beginn des Projekts jedoch nur eine einzige Simulation dieser Initiative öffentlich zur Verfügung stand, wurde auf diese Erweiterung verzichtet.

4 Projektinhalt und Ergebnisse

Überblick

STARC Impact ist in 4 wissenschaftliche Workpackages (WPs) organisert (WP ist das Projekt-Management).

WP2 beschäftigt sich mit der Evaluation & Unsicherheitsanalyse der gegitterten Beobachtungsdaten (Planziele 1 und 5);
WP3 beschäftigt sich mit der Klimamodellevaluation, Projektionen und der Unsicherheitsanalyse (Planziele 2, 3 und 5);
WP4 beschäftigt sich mit der Landwirtschaftlichen Klimafolgenstudie (Planziele 4 und 5);
WP5 beschäftigt sich mit der Nutzereinbindung, insbesondere der Organisation der Nutzerworkshops und der Erstellung der Guidelines (Planziele 5, 6 und 7).

Im folgenden werden die in den Workpackages durchgeführten Aktivitäten und die jeweiligen Ergebnisse knapp zusammengefasst. Die zugrundeliegenden Methoden werden zusätzlich in Teil C, Abschnitt 6, erläutert.

WP2: Evaluation & Unsicherheitsanalyse der gegitterten Beobachtungs-daten

Ziele des WP
Das übergeordnete Ziel von WP2 bestand darin, die Qualität, Zuverlässigkeit und Unsicherheit der in ÖKS15 verwendeten Beobachtungsgitterdaten gründlich zu analysieren. Dies wurde durch eine sorgfältige und anwendungsorientierte Validierung des im ÖKS15 verwendeten gerasterten Beobachtungsdatensatzes (für tägliche Temperatur, Niederschlag, globale Strahlung und potentielle Evapotranspiration) und abgeleiteter, von Nutzern geforderter Klimaindizes (erhoben in Workshop 1 von WP5) erreicht. Dies beinhaltet quantitative und qualitative Aspekte, die in den nachgelagerten WPs verwendet werden. Zu diesem Zweck wurden drei Meilensteine definiert:

M2.1: Bewertung der Unsicherheit und Zuverlässigkeit von Beobachtungsgittern (Monat 15)

M2.2: Interpretation, Berichterstattung und Beitrag für WP5, User Guidelines (Monat 18)

Validierungsergebnisse und spezifizierte Daten werden für die Verwendung in der Klimaprojektionsvalidierung (WP3), in Impaktmodellierungsstudien (WP4) und in User Guidelines sowie in Workshops für Stakeholder/Impaktmodellierer (WP5) bereitgestellt.

M2.1: Bewertung der Unsicherheit und Zuverlässigkeit von Beobachtungsgitterdaten

In Anbetracht des Umfangs dieses Berichts beschränken wir uns auf die Darstellung beispielhafter Ergebnisse. Darüber hinaus kann ein Eindruck von den unternommenen Anstrengungen aus dem Guidelines-Dokument gewonnen werden.

Klärung der unterschiedlichen Fehlerquellen: Gitterbeobachtungsdaten sind nur ein Modell der Wirklichkeit. Die Unsicherheit ergibt sich aus Messfehlern, Inhomogenitäten, der räumlichen Stationsverteilung und dem Interpolations-fehler.

Fehler am Gitterpunkt: Die mittleren Interpolationsfehler sind für Lufttemperatur gering (MAE: 1 °C), für Globalstrahlung erhöht (RMSF: 1,31) und für Niederschlag beträchtlich (RMSF: 1,48).

Unabhängige Stationsdaten: Der Interpolationsfehler der Globalstrahlung zeigt einen ausgeprägten Jahresgang. Im Winter/Sommer wird die Strahlung systematisch über-/unterschätzt. Der Zufallsfehler ist im November, Dezember und Januar am größten, wenn kleinräumige Muster der Bewölkungs- und Nebelverteilung vorherrschen.

Langzeitstabilität: Es wurden nur geringe Qualitätsunterschiede zwischen frühen und späten Jahren festgestellt. Das Risiko einer diesbezüglichen Fehlinterpretation ist gering.

Räumliche Fehlerkarten: Die Karte für die tägliche Minimaltemperatur zeigt beispielsweise, dass die größten Fehler in schlecht von Stationen abgedeckten, hochalpinen Regionen im Südosten Österreichs zu erwarten sind.

Evaluierung gegen WegenerNet: Der zufällige Interpolationsfehler in den Niederschlagsfeldern ist innerhalb eines kleinen Einzugsgebiets von 16 x 16 km um 20% geringer als in der ursprünglichen Auflösung von 1x1 km-Gitterpunkten.

Vergleich mit INCA: Die Temperatur- und Niederschlagsfelder von ÖKS15 sind im Vergleich zu dynamischen INCA-Nowcasting-Analysen im Allgemeinen vergleichbar. Felder der Globalstrahlung sind jedoch häufig viel glatter und lassen wichtige Merkmale vermissen.

Vergleich mit E-OBS: Die räumliche Auflösung von E-OBS-Feldern erlaubt keine Untersuchung von geländebezogenen Verteilungsmustern oder kleinräumigen Merkmalen.

Ensemble-Datensatz: Der Ensemble-Spread ist größer und hängt viel stärker von der täglichen Niederschlagsintensität ab, wenn das Einzugsgebiet klein ist. Für Benutzer des Datensatzes bedeutet dies, dass die Verwendung einzelner Gitterpunkte oder die Extraktion sehr kleiner Bereiche aus dem gesamten Datensatz über die effektive Auflösung hinaus zu erheblichen Fehlern bei der Interpretation der Daten führen kann. Die Auswertung und Interpretation wird ab der effektiven Auflösung (abhängig von der Klimavariable, Zeitskala und Region, für extreme Tagesniederschläge z.B. 40x40 km) empfohlen.

Exemplarisch Interpolationsfehler zeigen: ÖKS15-Gitterdaten liefern plausible räumliche Temperaturverteilungen auch in schwierigen Situationen mit talgebundenen Kaltluftseen oder Föhnschichten. Den Niederschlagsfeldern fehlt die reichhaltige feine Struktur der INCA-Analysen in konvektiven Situationen, sie sind jedoch frei von Artefakten aus dem Radar und liefern weitgehend konsistente Ergebnisse in Raum und Zeit.

„Experts judgment“: Beobachtungen der potenziellen Evapotranspiration sind spärlich und unzuverlässig. Auch wenn ÖKS15 und INCA auf unterschiedlichen Ansätzen basieren, bieten sie in Beispielsfällen ähnliche Verdunstungsmuster. Quantitative Aussagen können kaum getroffen werden.

Konditionaler Bias: Der Glättungseffekt der Interpolation führt zu einer Überschätzung niedriger Werte und einer Unterschätzung hoher Werte – mit schwerwiegenden Folgen für die Analyse von Extremwerten und Indizes. Bei täglichem Niederschlag liegt beispielsweise die Grenze zwischen Über- und Unterschätzung bei etwa 12 mm im Sommer und 4 mm im Winter.

Abb. 1: Relativer Fehler des täglichen Niederschags an Niederschlagstagen (>=1mm) in den ÖKS15 Beobachtungsdaten (GPARD-1).
Die Ergebnisse werden für Stationen in Lagen unter 500m gezeigt.

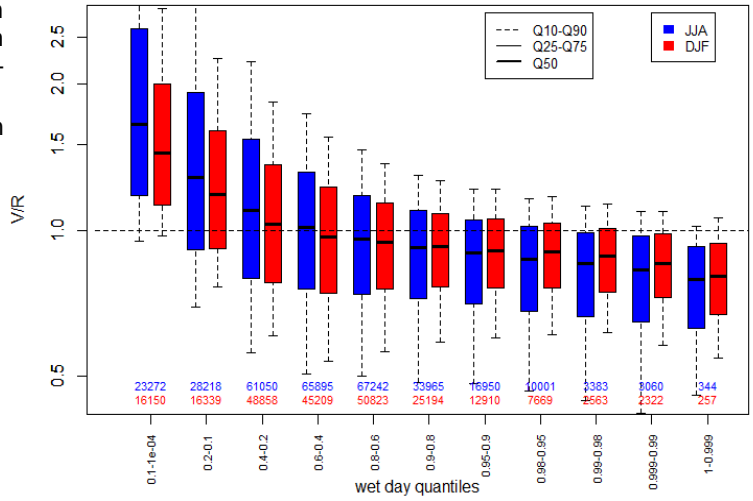


Abbildung 1 illustriert den Glättungseffekt für tägliche Niederschlagsintensitäten während der Sommermonate (blau) und Wintermonate (rot) in Lagen unter 500m Seehöhe. Die Balken stehen für verschiedene Niederschlagsintensitätsklassen. Im Sommer werden Niederschlagswerte um etwa 12mm/d und höher unterschätzt, um Winter um etwa 4mm und höher. Insgesamt bewirkt der Glättungseffekt eine Überschätzung der Anzahl der Niederschlagstage im gegitterten Datensatz.

Indizes, die extreme Bedingungen widerspiegeln, wie z.B. die Anzahl der Hitze- oder Eistage, können durch den Glättungseffekt ebenfalls unterschätzt werden, wohingegen die Dauer von Niederschlagsepisoden überschätzt werden kann. Abhängig von der Definition der jeweiligen Klimaindizes ist die Unsicherheit niedriger oder höher im Vergleich zum Basisdatensatz (Abb. 2).

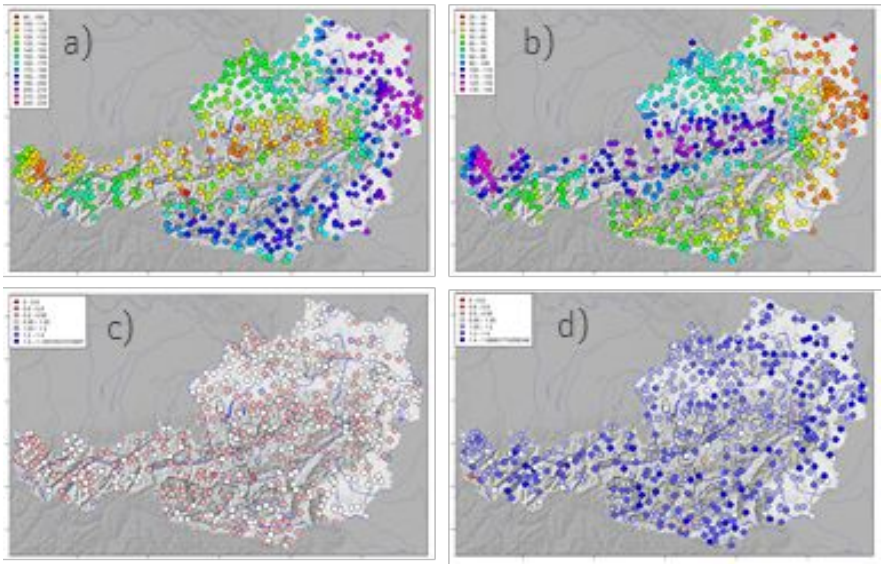


Abb. 2: a) ÖKS15 – Jährliche Anzahl an Tagen in Trockenepisoden für den Zeitraum 1961-2010.
b) ÖKS15 – jährliche Anzahl an Tagen in Niederschlagsepisoden im Zeitraum 1961-2010.
c) Relative Abweichung von (a) im Vergleich zu Stationszeitreihen.
d) Relative Abweichung von (b) im Vergleich zu Stationszeitreihen. Unterschätzung in rot, Überschtzung in blau.

M2.2: Interpretation, Berichterstellung und Beitrag für WP5-User Guidelines

In Zusammenarbeit mit WP5 wurden die Erkenntnisse aus WP2 zusammengefasst, nach acht anwendungsrelevanten Fragen strukturiert und in eine nutzerfreundliche Sprache übersetzt. Sie werden in eigenen Kapiteln des Guideline-Dokuments beantwortet:

- Wie groß sind die mittleren Fehler?
- Ändert sich die Qualität über die Zeit hinweg?
- Wird die Qualität des Datensatzes von Jahreszeiten und Wetterlagen beeinflusst?
- Welche Bedeutung hat die effektive Auflösung?
- Welche Auswirkung hat der Glättungseffekt?
- Ist die Qualität in ganz Österreich gleich gut?
- Wie gut ist die Qualität abgeleiteter Indizes?
- Wie gut sind die ÖKS15-Datensätze im Vergleich zu anderen Gitterdatensätzen?

WP3: Klimamodellevaluation, Projektionen und Unsicherheitsanalyse

Ziele des WP

Die Ziele von WP3 war die Erweiterung der ÖKS15 Projektionen um weitere Modelle und Emissionsszenarien, die Evaluation der Klimamodellsimulationen und eine Analyse der Unsicherheiten der Klimaprojektionen. Speziell wurden folgende Fragen untersucht:

- Wie gut simulieren die Bias-korrigierten ÖKS15 Simulationen ein breites Spektrum an Klimaindizes?
- Wie gut simulieren die Klimamodelle relevante Wetterlagen, und was bedeuten hierbei Fehler für die Biaskorrektur und wetterlagenabhängige Biase?
- Was ist die effektive Auflösung der ÖKS15 Simulationen?
- Wie groß sind die Unsicherheiten der ÖKS15 Projektionen, wie unterscheiden sich Projektionen für verschiedene Modelle und Szenarien?
- Wie beeinflussen Unsicherheiten in den Beobachtungsdaten die Projektionen?

Diesen Fragen wurden anhand von fünf Meilensteile gegliedert:

M3.1: Erweiterung der ÖKS15 Projektionen (Monat 11)

M3.2: Validierung der ÖKS15 Klimamodellsimulationen (Monat 18)

M3.3: Unsicherheitsanalysen der Projektionen (Monat 18)

M3.4: Analyse der Unterschiede der EURO- und MED-CORDEX Simulationen (Monat 18)

M3.5: Bereitstellung ausgewählter Daten für WP4 (Monat 6, Monat 14)

M3.1/M3.5: Erweiterung der ÖKS15 Projektionen

Die ursprünglichen ÖKS15 Projektionen basieren auf dem (damals verfügbaren) kompletten Set der EURO-CORDEX Simulationen zu den RCP4.5 und RCP8.5 Szenarien. Ein Ziel des STARC-Impact Projekts war die Erweiterung dieses Ensembles auf das häufig genutzte A1B Szenario (um Vergleiche mit älteren Studien zu erleichtern) und um das Klimaschutzszenario RCP2.6. Zusätzlich sollte das Ensemble um MED-CORDEX Simulationen erweitert werden.

Ein Grund für die Erweiterung um zusätzliche Modelle war ein besseres Abdecken von Unsicherheiten. Die Relevanz eines solchen Super-Ensembles wurde zu Beginn des Projekts aufgezeigt: die EURO-CORDEX Simulationen (basieren auf CMIP5 Globalen Klimamodellen (GCMs)) und die ENSEMBLES Simulationen (basierend auf CMIP3) zeigen unterschiedliche Änderungen der atmosphärischen Zirkulation, so dass sich unterschiedliche – nicht verträgliche – Änderungen in Niederschlagsmustern in verschiedenen Jahreszeiten ergeben. In Österreich zeigen die EURO-CORDEX Simulation z.B. im Herbst einen deutlichen Anstieg der Regenmengen, während ENSEMBLES keine Änderungen zeigt.

Die Modelle, die im Rahmen von STARC-Impact ergänzt wurden, sind in Tab. 2 und 3 aufgelistet. Zusätzlich wurden die Reanalyse-getriebenen Simulationen zum Zwecke der RCM-Evaluation ergänzt.

Tabelle 2: Anzahl der genutzten EURO-CORDEX Simulationen (Szenario RCP 2.6)

	ALADIN	CLM	HIRHAM5	RACMO	RCA	REMO
CNRM-CM5	1					
EC-EARTH		1	1	1	1	
HadGEM2-ES					1	
MPI-ESM-LR					1	2

Tabelle 3: Anzahl der genutzten ENSEMBLES Simulationen (A1B Szenario)

	CLM	HIRHAM5	HadRM3	RACMO	REMO	RCA
ARPEGE		1				
BCM		1				1
ECHAM5		1		1	1	1
HADCM3Q0	1		1			
HADCM3Q3			1			1
HADCM3Q16			1			1

Zu Beginn des Projekts war nur eine MED-CORDEX Simulation über den ESGF Server verfügbar. Ein statistischer Vergleich mit den EURO-CORDEX Simulationen ist auf Basis von einem Modell jedoch nicht sinnvoll. Es wurde deshalb entschieden, das Ensemble nicht um die MED-CORDEX Simulation zu ergänzen.

Alle ergänzten Simulationen wurden mit der gleichen SDM Methode (Switanek et al., 2017) wie auch die ÖKS15 Simulationen Bias-korrigiert. Sämtliche im Rahmen von ÖKS15 bereitgestellten Klimaindizes wurden ebenfalls berechnet.

Die generierten Daten wurden auf dem Datenzentrum des CCCA veröffentlicht.

Ein Ziel von STARC-Impact war die Berechnung von potenzieller Evapotranspiration. Traditionell wird diese Größe mit der Penman-Monteith Formel berechnet. Allerdings hat die Forschung der letzten Jahre gezeigt, dass diese (und viele Dürreindizes) nur bedingt für Klimawandelstudien geeignet ist. So wurde zum Beispiel gezeigt, dass diese Formel das Austrocknen des Bodens im Rahmen des Klimawandels überschätzt (Sheffield et al., 2012; Milly und Dunne, 2016). Als wesentlicher Grund hierfür gilt, dass die stomatäre Leitfähigkeit sich an den höheren CO2 Gehalt der Atmosphäre anpasst und reduziert, diese Änderung in der Penman-Monteith Formel aber nicht berücksichtigt wird (Milly und Dunne, 2016). In STARC-Impact wurde deshalb die von Milly und Dunne (2016) vorgeschlagene Energy-only PET Formel benutzt:

$$PET = 0.8\,(R_n - G)$$

wobei Rn (mm/d) and G (mm/d) die Netto-Strahlung am Boden und der Wärmefluss in den Boden darstellen (ausgedrückt in Einheiten der Evapotranspiration). Die Daten wurden ebenfalls über das CCCA Datenzentrum veröffentlicht.

Zusätzlich wurden Modelldaten für ausgewählte Regionen und Gitterboxen für WP4 bereitgestellt.

M3.2: Evaluierung der Modellsimulationen im jetzigen Klima

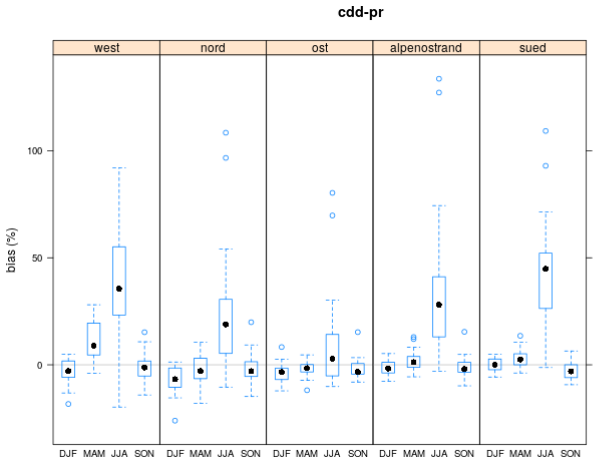


Abb. 3: Evaluation von GCM-getriebene historische Simulationen bezüglich der Anzahl von Trockenepisoden (3 Tage und länger). Die Box-Whisker Diagramme zeigen die Ergebnisse für alle Modelle. Die schwarzen Punkte zeigen den Multi-Modell-Median.

Wie erwartet, korrigiert die Biaskorrektur den Großteil der innerhalb von ÖKS15 hergeleiteten Indizes erfolgreich, mit der Ausnahme von mehrtägigen Ereignissen (siehe Abb. 3 für ein Beispiel). Grund für diese bleibenden Biase ist die Tatsache, dass die Biaskorrektur nicht die zeitliche Abhängigkeit der Wetterabfolge korrigiert. Am stärksten betroffen ist hier die Anzahl der mehrtägigen Trockenperioden (cdd) und die Anzahl der Hitzewellen (hw). Cdd wird im Sommer von so gut wie allen ÖKS15-Simulationen und innerhalb jeder Region Österreichs (außer im Osten) überschätzt (um etwa +20 % bis +40 %). Einen besonders starken Bias hat hier die Modellkette HadGEM2 - CLM (+100 %), welche im Sommer grundsätzlich zu trocken ist. Ein umfassender Überblick findet sich im Anhang der Guidelines.

Tabelle 4: Wetterlagen, die die atmosphärische Zirkulation über Österreich repräsentieren

WT1	Tiefdruck über Skandinavien, Hochdruck über dem Golf von Biskaya, Westströmung über Österreich.
WT7	Hochdruck über dem Gold von Biskaya mit Ausläufern nach Mitteleuropa, schwache Westströmung über Österreich.
WT3	Tiefdruck über der Nordsee, Hochdruck über der Ukraine, Südwestströmung über Österreich.
WT2	Tiefdruck über dem Nordatlantik, Hochdruck über dem Schwarzen Meer, Südwestliche Strömung über Österreich.
WT6	Tiefdruck über Nordeuropa, Hochdruck über SW Europa (NAO+), starke Westströmung über Österreich.
WT9	Hochdruck über dem Golf von Biskaya, Frankreich und der Iberischen Halbinsel, Tiefdruck über Skandinavien. Nordströmung über Österreich (Staulage).
WT8	Hochdruck über Mittel- und Osteuropa. Schwache Strömung über Österreich.
WT4	Hochdruck über Nord- und Mitteleuropa. Schwache Ostströmung über Österreich.
WT5	Hochdruck über Europa. Schwache Strömung über Österreich.

Eine wesentliche Unsicherheitsquelle für regionale Klimaprojektionen sind Fehler in der Darstellung der Atmosphärischen Zirkulation (Shepherd, 2014). Häufig werden diese Fehler in regionalen Klimastudien jedoch nicht betrachtet.

In STARC-Impact wurde deshalb explizit evaluiert, wie gut die genutzten GCM-RCM Modellketten für das Alpenklima wichtige Wetterlagen (siehe Tabelle 4 und Abbildung 4) simulieren können.

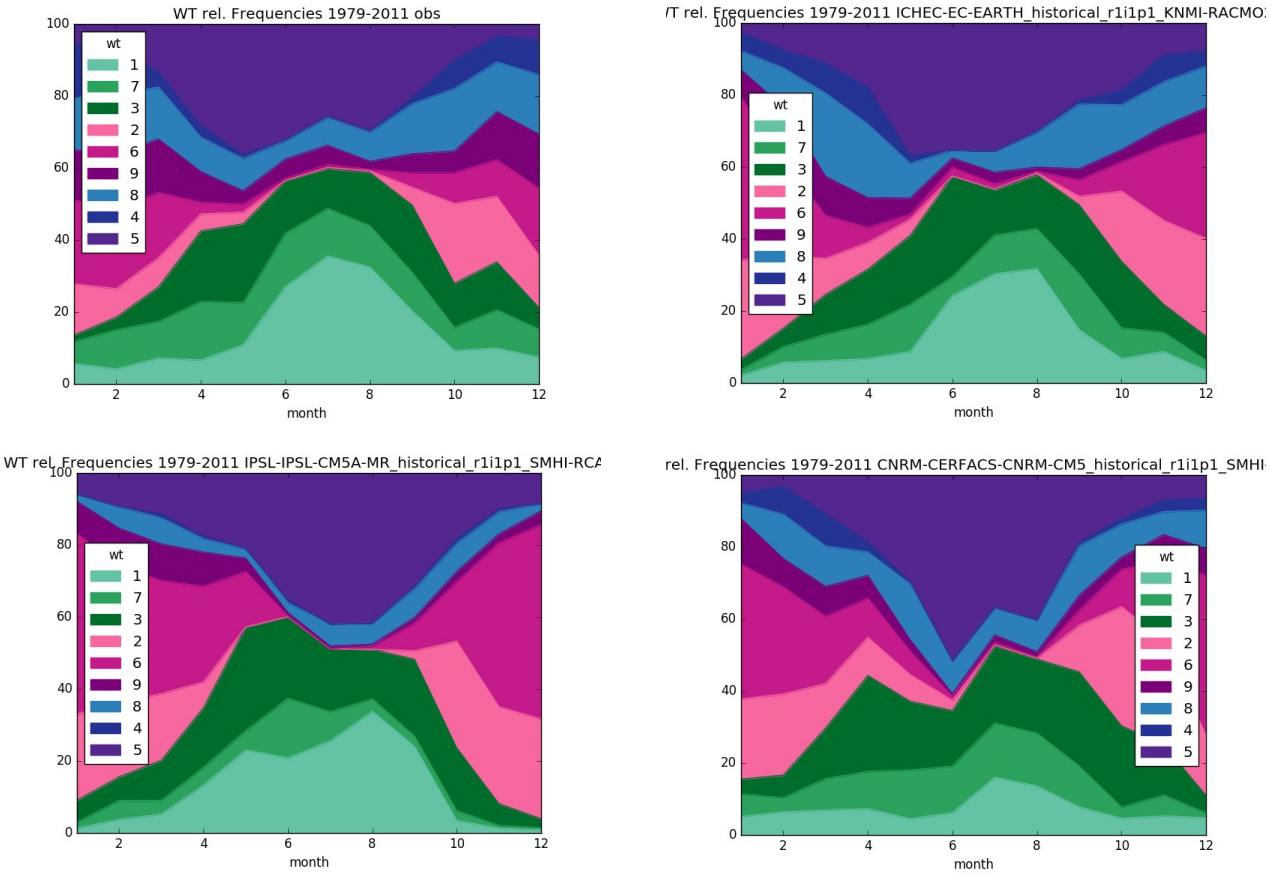


Abb. 4: Jahresgang der Häufigkeiten der Wetterlagen aus der Beobachtung (ERA-Interim, oben), EC-EARTH - CLM (oben rechts), CNRM-CM5A / RCA (unten links) and IPSL-CM5/RCA (unten rechts). Tiefdruck (1,4,6), Hochdruck (8,9), Westströmungen (3,5,7) und gradientenschwache Druckverteilung (2) von 1979-2005.

Im Sommer werden die wichtigsten Wetterlagen großteils sehr gut dargestellt. Eine Ausnahme stellt die Had-GEM - CLM Modellkette dar, welches die Häufigkeiten der Tiefdruckgebiete stark überschätzt (um fast 50 %), allerdings gleichzeitig in der Zeit auch zu trocken ist.

Wetterabläufe im Herbst werden auch realitätsnah abgebildet. Die meisten Modelle tendieren jedoch zu einer leichten Unterschätzung der Häufigkeit von Hochdruckwetterlagen. Die zwei mit IPSL - CM5 Simulationen sind hier besonders hervorzuheben, da diese Schwierigkeiten haben großskalige Hochdrucklagen darzustellen (Unterschätzung der Häufigkeit um fast -50 %). Diese zwei Modelle tendieren zu einer gradienten-schwachen Luftdruckverteilung.

Etwas problematischer wird es für die ÖKS15-Modelle allerdings im winterlichen Wetterablauf. Hier überschätzen alle ÖKS15-Simulationen die für den Winter typischen Westströmungen um 50 % bis 100 %. Außerdem wird die Dauer dieser Lagen überschätzt. Gleichzeitig werden Hochdruckgebiete zu kurz und zu selten

dargestellt (im Schnitt -50 %). Besonders auffällig sind hier wieder die zwei IPSL - CM5 Projektionen, welche im Grunde keine Hochdruckgebiete zu dieser Zeit modellieren.

Die beiden IPSL-CM5 Simulationen haben das gleiche Problem mit der Darstellung der westlichen Strömungen und den Hochdruckgebieten im Frühling. Im Gegenzug dazu tendieren einige andere Modellketten im Frühling dazu, die Anzahl der Hochwetterlagen etwas zu überschätzen, dies gilt vor allem für die Modellkette EC-EARTH - RACMO (+100 %).

Die ENSEMBLES Modelle wurden ebenfalls evaluiert. Obwohl diese Modelle älter sind und eine gröbere Auflösung haben, fällt deren Evaluation im Schnitt gleich gut aus wie die der ÖKS15-Projektionen.

Modellbiase sind Ausdruck von fehlerhaft dargestellten Prozessen in Klimamodellen. Je nach Wetterlage dominieren verschiedene Prozesse, Biase sind deshalb typischerweise wetterlagenabhängig. Beispiele für eine typische Wetterlage sind in Abb. 5 gezeigt.

Die Bias-Korrektur in ÖKS15 ist wetterlagenunabhängig – es wird also implizit angenommen, dass die Biase selbst auch wetter-lagenunabhängig sind. Folglich bleiben auch nach der Biaskorrektur Biase erhalten. Je häufiger eine Wetterlage auftritt, desto mehr bestimmt sie den Gesamtbias, d. h., desto effektiver wird durch eine wetterlagenunabhängige Korrektur ihr Bias korrigiert. Tritt eine Wetterlage seltener auf (z. B. Hoch über Westeuropa), kann eine wetterlagenunabhängige Biaskorrektur entsprechende Biase nicht effektiv korrigieren (Siehe Abb. 5).

Prinzipiell könnte natürlich eine wetterlagenabhängige Biaskorrektur diese verbleibenden Biase eliminieren. Allerdings würde in der Regel dann der Gesamtbias über dem Kalibrierungszeitraum nicht verschwinden. Dies liegt daran, dass die Häufigkeit der Wetterlagen in den Modellen selbst gebiased ist.

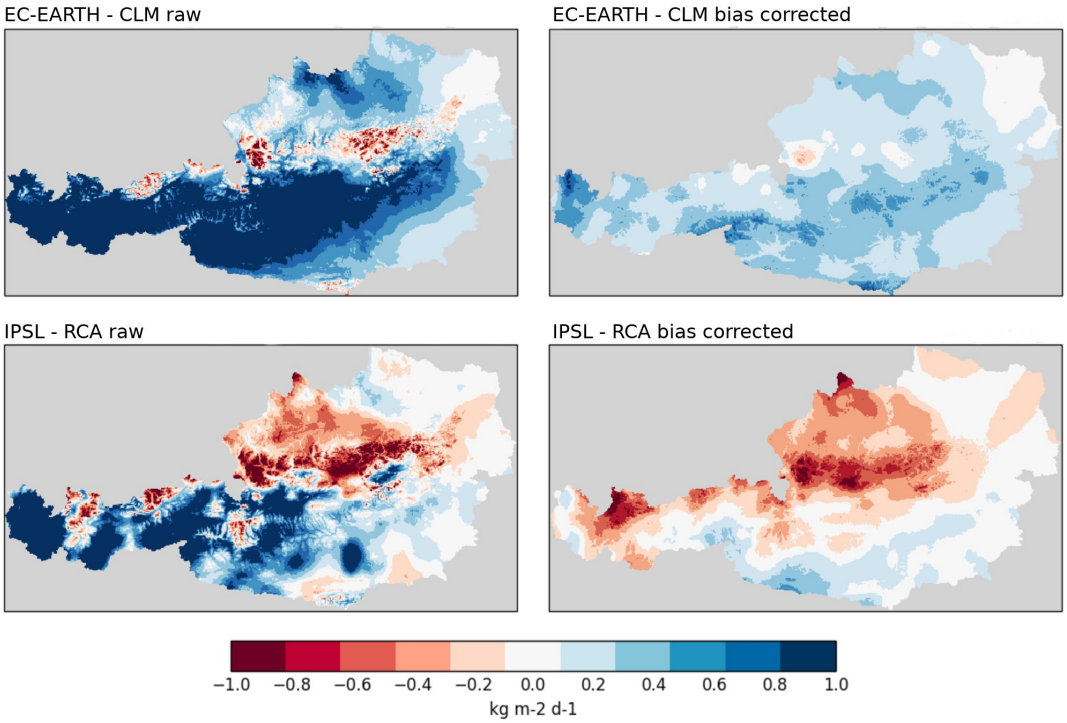


Abb. 5: Niederschlagsbias, bedingt auf Wetterlage 6 (Starke Westströmung). Links: unkorrigiertes Modell, rechts: morrigiertes Modell.

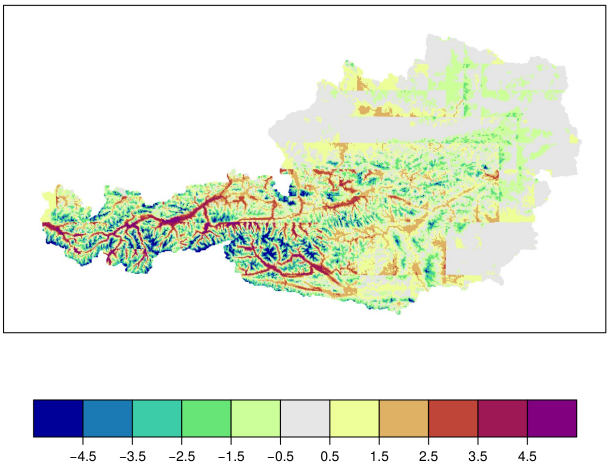


Abb. 6: Verbesserung der Repräsentation der Jahresmitteltemperatur durch die Benutzung von GPARD anstelle von E-OBS für die Biaskorrektur.

Die Biaskorrektur wurde anhand des GPARD Datensatzes mit einer Auflösung von 1km durchgeführt. Diese Korrektur hat zwar nicht die effektive Auflösung der ÖKS15 Projektionen verbessert (siehe unten), jedoch immerhin die Repräsentation von klimatolgoischen Mittelwerten im Vergleich zu einer Biaskorrektur gegen E-OBS Daten verbessert (Abb. 6). Insbesondere langjährige Mittel in Tälern und Höhenlagen werden besser dargestellt.

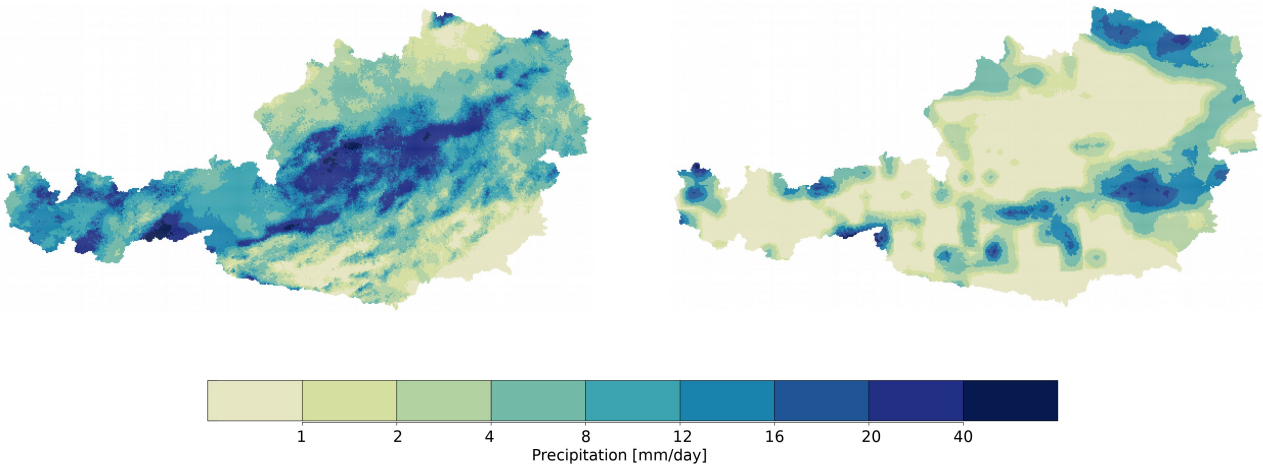


Abb. 7: Niederschlag am 21 Juni 2007. Links: INCA Beobachtungen. Rechts: Biaskorrigierte RCM Simulation (ERA-Interim getrieben).

Die Verbesserung von kleinskaligen Effekten auf die langjährigen klimatologischen Mittelwerte darf nicht mit einem Downscaling auf eine höhere Modellauflösung verwechselt werden. Maraun (2013b) hat Artefakte aufgezeigt, die entstehen, wenn Quantile Mapping als einfaches Niederschlagsdownscaling eingesetzt wird, wie es bei ÖKS15 der Fall war. Es ist deshalb wichtig, die effektive Auflösung der ÖKS15 Simulationen abzuschätzen, insbesondere für Niederschlag. Variogramm-Analysen ergaben eine effektive Auflösung von etwa 40km für Tagesniederschlag, also viel niedriger als die nominelle Auflösung des 1km Gitters. Dieses Ergebnis entspricht der Annahme, dass die effektive Auflösung eines dynamischen Klimamodells etwa 3-5 Mal der Gitterweite entspricht. Abbildung 7 veranschaulicht diesen Effekt: sogar nach einer Biaskorrektur ist die Gitterstruktur des RCMs noch deutlich sichtbar.

Im Projekt wurde weiterhin gezeigt, dass ähnliche Probleme auch für Temperatur-Downscaling in komplexer Topographie auftreten könnenn (Maraun et al., 2017). Zum Beispiel können Bodeninversionen, wenn sie nicht vom RCM aufgelöst werden wie im Rosental in Kärnten, nicht durch Quantile-Mapping generiert werden und werden deshalb nicht in ÖKS15 dargestellt.

M3.3: Unsicherheiten der Projektionen

Die Modell-Streuung von Projektionen für einzelne Klimaindizes wurde schon in ÖKS15 betrachtet. Hier wurde zusätzlich die Streuung im multi-dimensionalen ZUstandsraum des Klimas berücksichtigt. Insbesondere wurden Unsicherheiten in Paaren von Klimavariablen untersucht (Siehe Abb. 8 für zwei Beispiele). Treibende GCMs wurden farblich, unterschiedliche Emissionsszenarien durch verschiedene Symbole dargestellt. Diese Analysen wurden für sämtliche Bundesländer und eine breite Auswahl an Klimaindizes durchgeführt. Sie bilden die Basis für eine informierte Auswahl von Modellsimulationen für Impaktsimulationen, sollten nicht alle Modelle berücksichtigt werden können. Für wichtige Variablenpaare können Modelle so gezielt gewählt werden, um die Unsicherheiten möglichst abdecken zu können.

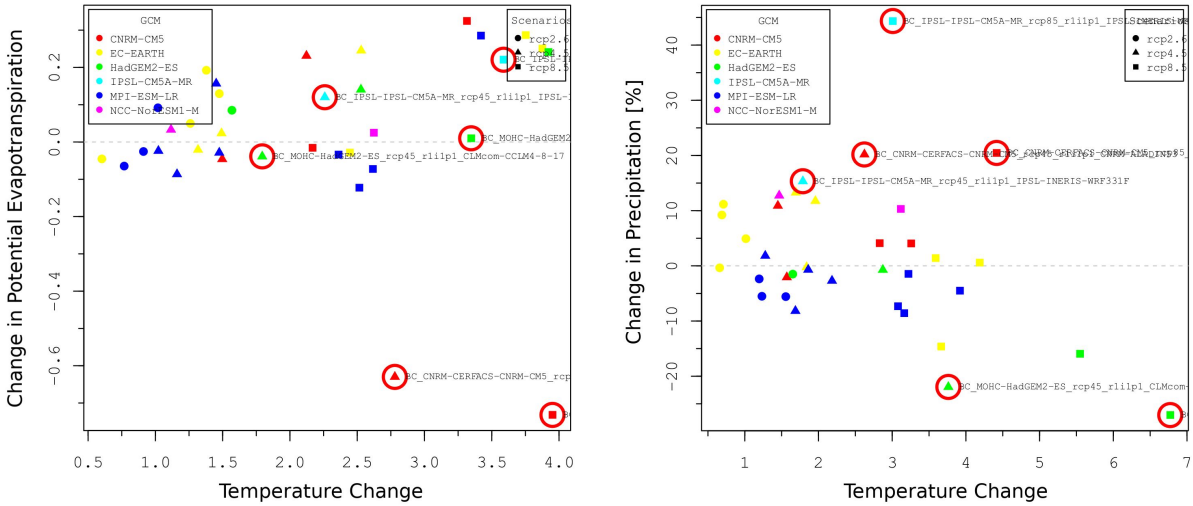


Abb. 8: Unsicherheiten in regionalen Klimaprojektionen für Niederösterreich. Links: Potenzielle Evapotranspiration und Temperatur; rechts: Niederschlag und Temperatur. Rote Kreise markieren unplausible Projektionen (z.B. fehlerhafte Darstellung von Wetterlagen, die wiederum einen starken Trockenbias erzeugen).

Ein Ziel von STARC-Impact war die Analyse der Unsicherheiten in den Projektionen, die durch Unsicherheiten in den Beobachtungsdaten über die Biaskorrektur entstehen. Da in ÖKS15 eine trenderhaltende Biaskorrektur (Switanek et al., 2017) benutzt wird, wirken sich Unsicherheiten in den Beobachtungsdaten nicht auf die simulierten Trends selber auf, sondern nur auf das absolute Niveau. So können die Unsicherheiten in den Beobachtungsdaten direkt zu den projizierten Werten hinzugefügt werden (z.B. additiv im Fall von Temperatur). Sind nur Änderungen relevant, spielen Unsicherheiten in den Beobachtungen keine Rolle. Als Beispiel zeigt Abb. 9 systematische Fehler, die durch die Interpolation der Stationsdaten auf das benutzte Gitter entstehen.

Zusätzlich zu diesen Unsicherheiten spielt interne Klimavariabilität eine große Rolle für die Abschätzung der Biase (Maraun 2016). Es ist nämlich nicht klar, welcher Anteil der Unterschiede zwischen Modell und Beobachtung in der

Referenzperiode tatsächlich Modellfehler sind, und welche nur zufällige Unterschiede durch zufällig unterschiedliche Ausprägungen von internen Klimaschwankungen in Modell und Beobachtung.

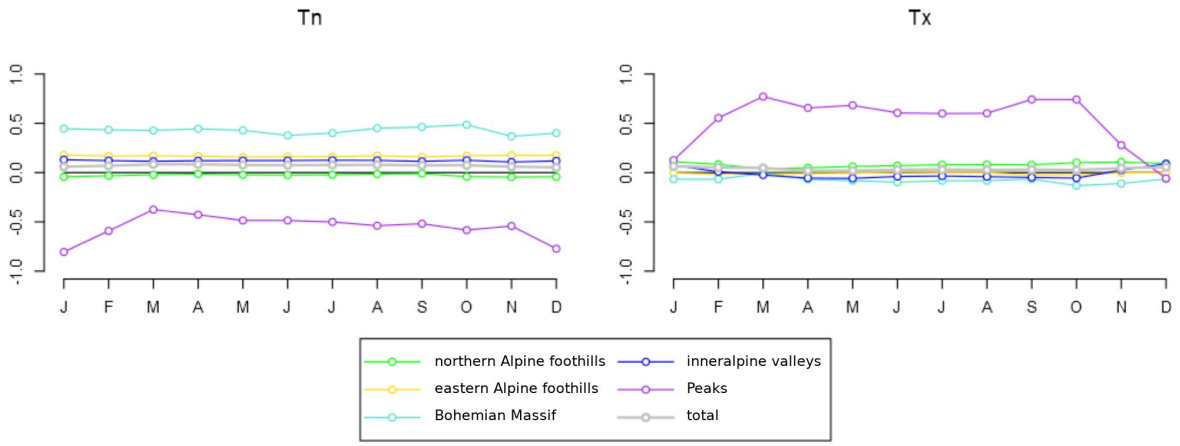


Abb. 9: systematische Fehler, die in ÖKS15 aufgrund von Fehlern in den Beobachtungsdaten erwartet werden.

Schließlich wurden Unsicherheiten in den Klimaänderungen untersucht, die durch die Biaskorrektur entstehen. Insbesondere wurde gezeigt, dass Bias-Korrektur keine kleinskalige Information im Klimaänderungssignal erzeugen kann (Maraun et al., 2017). Insbesondere im Gebirge wie in den Alpen können Rückkopplungen das großskalige Klimawandelsignal lokal modifizeren. Zum Beispiel bedingt die Schnee-Albedo Rückkopplung eine Verstärkung der Klimaerwärmung in hohen Lagen (Pepin et al., 2015). Wenn ein Klimamodell diese Rückkopplung nicht simuliert, weil die entsprechende Topographie nicht aufgelöst wird, kann Quantile Mapping den entsprechenden lokalen Trend nicht verbessern. Das heißt, das ÖKS15 das Klimawandelsignal nicht auf der 1km-Skala repräsentiert, sondern nur auf der 11km Skala (oder niedriger, siehe die Diskussion zur effektiven Auflösung weiter oben).

Es ist aus GCM Evaluierungsstudien bekannt, dass sich Änderungen in der Atmosphärischen Zirkulation der mittleren Breiten in den CMIP3 und CMIP5 GCMs unterscheiden. Deshalb ist in regionalen Klimaprojektionen, die auf diesen GCMs basieren, auch mit unterschiedlichen regionalen Klimaänderungen, insbesondere des Niederschlags zu rechnen. Deshalb wurden die Klimaänderungen der EURO-CORDEX (basierend auf CMIP5) und ENSEMBLES (basierend auf CMIP3) Simulationen verglichen. Für Österreich zeigten sich erhebliche Unterschiede vor allem im jahreszeitlichen Niederschlag. Im Winter sind beide Ensembles qualitativ ähnlich. Im Sommer zeigen beide Ensembles einen Rückgang des Niederschlags, dieser fällt in EURO-CORDEX aber deutlich geringer aus. Im Frühling und Herbst zeigt ENSEMBLES in weiten Teilen Österreichs keine Änderungen, während EURO-CORDEX ein deutliches Signal zu mehr Niederschlag zeigt.

WP4: Landwirtschaftliche Klimafolgenstudie

Ziele des WP

Zur Feststellung des Einflusses der ÖKS15-Daten auf die Ergebnisse der Klimaimpactforschung bzw. um relevante Unsicherheiten darzustellen, wurde der Datensatz als Input für die Untersuchung von klimabedingten Wachstumseinflüssen an Getreide verwendet. Hierbei wurde das Pflanzenwachstumsmodell DSSAT (Jones et al., 2003) und das agrar-klimatologische Risikoindikatormodell AGRICLIM (Trnka et al., 2011) verwendet.

Betrachtet wurden Winterweizen, Sommergerste und Körnermais. Drei klimatisch unterschiedliche Agrargebiete, welche die wichtigsten Klimazonen der Ackerbaugebiete Österreichs repräsentieren, wurden als Fallstudienregionen ausgewählt: eine Region in der Südsteiermark (illyrische Klimazone), im Weinviertel (pannonisches Klimagebiet) und in Oberösterreich (mitteleuropäisches Übergangsklima), siehe Abbildung 10.

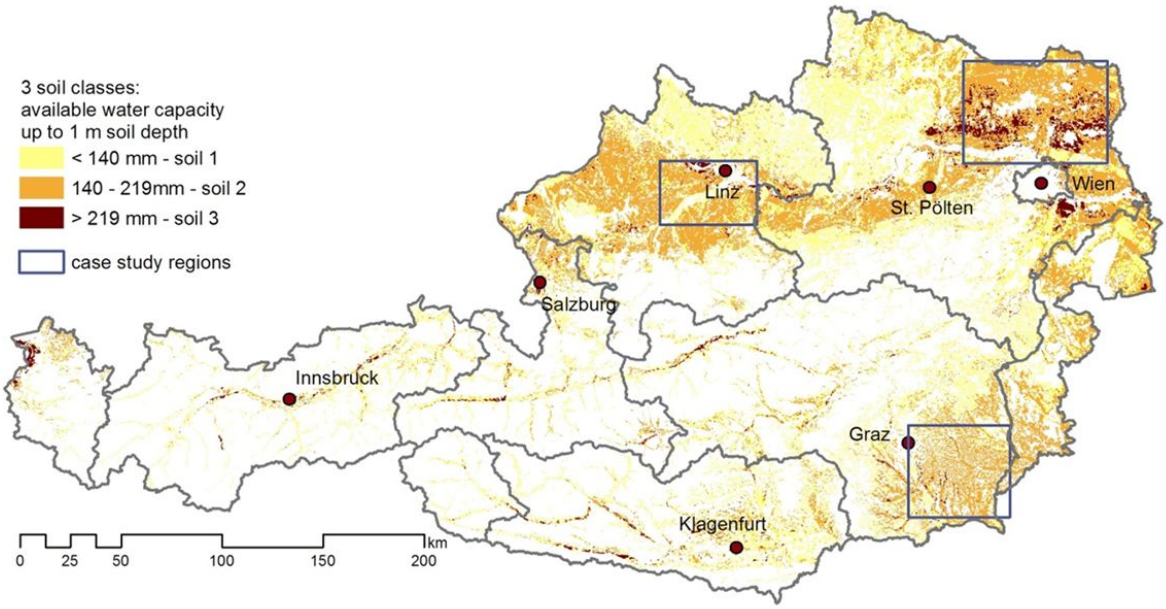


Abb. 10: Drei verschiedene Bodenklassen (soil 1 = Boden 1, soil 2 = Boden 2, soil 3 = Boden 3), die mit Hilfe der nutzbaren Feldkapazität definiert wurden, sowie die drei Untersuchungsgebiete.

Drei Forschungsfragen wurden untersucht:

- Welche Unsicherheiten treten bei Verwendung der ÖKS15-Simulationen als Modelleingabedaten auf (Untersuchungszeitraum 1981-2010)?
- Welchen Einfluss hat eine unterschiedliche räumliche Auflösung der Simulationen auf ausgewählte simulierte Indikatoren und Ergebnisse?
- Mit welchen Auswirkungen auf den Ernteertrag kann man aufgrund eines Klimawandels rechnen (2071-2100)?

Hierzu wurden folgende Meilensteine definiert:

M4.1: Gemeinsame gitterbasierte Datenbasis für Getreidesimulationen in drei Untersuchungsregionen (Monat 3)

M4.2: Resultate der Getreidemodellstudie für drei Untersuchungsgebiete unter gegenwärtigen klimatischen Bedingungen in Bezug auf die räumliche Skala des Inputs (Monat 12)

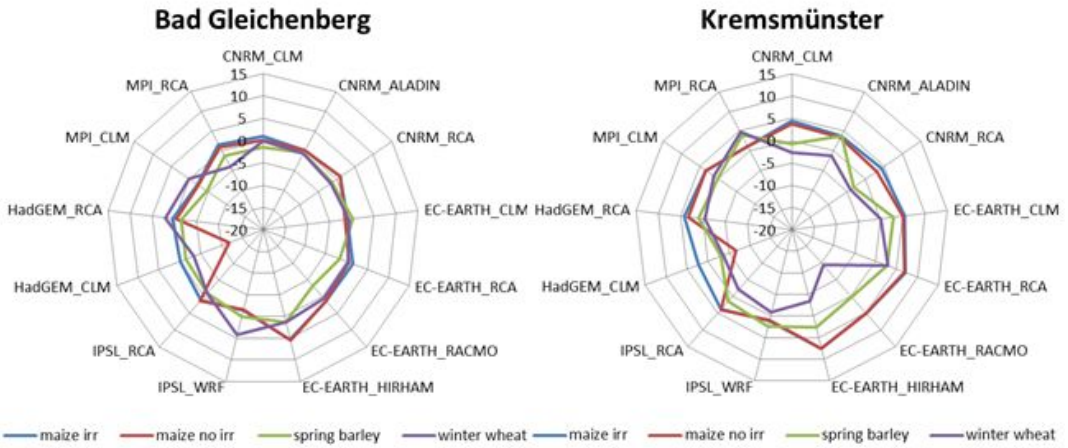
M4.3: Resultate der Getreidemodellstudie für drei Untersuchungsgebiete unter Klimawandelbedingungen in Bezug auf die räumliche Skala des Inputs (Monat 24)

M4.4: Bericht zu verbesserten Klimafolgen und Anpassungsabschätzungen basierend auf den neuen hochaufgelösten Klimaprojektionen (Monat 24)

M4.2: Resultate der Getreidemodellstudie für drei Untersuchungsgebiete unter gegenwärtigen klimatischen Bedingungen in Bezug auf die räumliche Skala des Inputs

Um nutzpflanzenspezifische Unsicherheiten in den Eingangsdaten aufzuzeigen, wurden in den drei Untersuchungsstandorten (Bad Gleichenberg, Kremsmünster und Poysdorf) Winterweizen, Sommergerste (nicht bewässert) und Körnermais (optimal bewässert bzw. nicht bewässert) mit dem Wachstumsmodell DSSAT für den Zeitraum 1981-2010 simuliert. Hierbei wurden 13 verschiedene ÖKS15-Simulationen mit den gemessenen Stationswetterdaten der ZAMG verglichen.

In Abbildung 11 sind die Ertragsabweichungen auf einem mittel- bis hochwertigen Ackerboden (nutzbare Feldkapazität 140-220 mm im effektiven Wurzelraum; ca. 1 m Tiefe – soil 2) zwischen den ÖKS15-Simulationen und den gemessenen Wetterdaten dargestellt. DSSAT steuert den Entwicklungsverlauf aller Getreidearten über die Akkumulation von Temperatursummen. Die Pflanze reagiert somit auf eine erhöhte Temperatur mit einer Verkürzung ihrer Entwicklung bzw. einzelner Phasen, bei einer niedrigen Temperatur genau entgegengesetzt. So sind viele Pflanzen um den Zeitpunkt der Blüte besonders empfindlich gegenüber zu hohen oder zu niedrigen Temperaturen. Auch kann die Periode mit dem höchsten Wasserverbrauch zwischen Ährenschieben und Reife festgelegt werden.



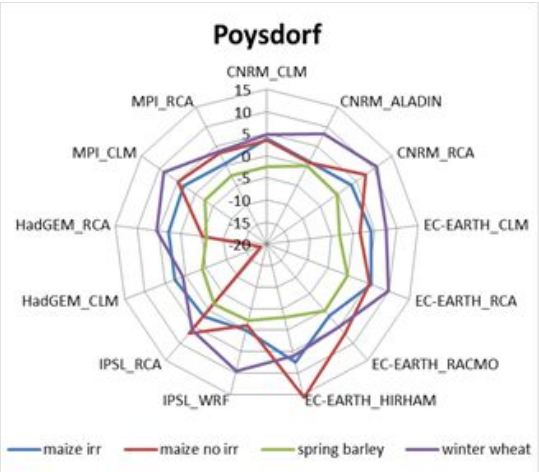


Abb. 11: Ertragsunterschiede (%) von Körnermais (maize) (Optimal bewässert (irr) und nicht bewässert (no irr), Winterweizen (winter wheat) sowie Sommergerste (spring barley) auf einem mittel- bis hochwertigen Ackerboden: von 13 ÖKS15-Simulationen im Vergleich zu gemessenen Wetterdaten für 1981-2010 in Bad Gleichenberg (oben links), Kremsmünster (oben rechts) und Poysdorf (unten).

Die geringsten Abweichungen findet man in Bad Gleichenberg, insbesondere bei der Sommergerste. In Poysdorf, dem trockensten Gebiet, sind die stärksten Schwankungen vorhanden. Nicht bewässerter Mais zeigt in allen drei Untersuchungsgebieten große Schwankungen auf, was sehr stark bei der ÖKS15-Simulation mit Had-GEM_CCLM ausgeprägt ist. Schon geringe Tagesabweichungen haben somit einen Einfluss auf die simulierten Erträge, auch wenn die Monatswerte in Summe gleich sind. Da für die ausgewählten Wetterstationen nicht für die ganze Untersuchungsperiode Strahlungsdaten vorhanden waren, wurden diese mit Hilfe einer einfachen Regressionsanalyse der monatlichen Sonnenscheindauer ergänzt. Die größten Abweichungen der Strahlungswerte zwischen ZAMG und ÖKS15-Simulationen konnten hierbei für Poysdorf festgestellt werden. Abweichungen können aber auch auf die Qualität der Kalibrierung der Kultur zurückgeführt werden. So waren für Winterweizen 17 Jahre Versuchsdaten zur Verfügung, 9 Jahre für Sommergerste und 4 Jahre für Körnermais. Für eine gute Kalibrierung benötigt man mindestens 10 Jahre an standortbezogenen gemessenen Ertragsdaten, die jedoch für eine gleichbleibende Sorte nur selten verfügbar sind.

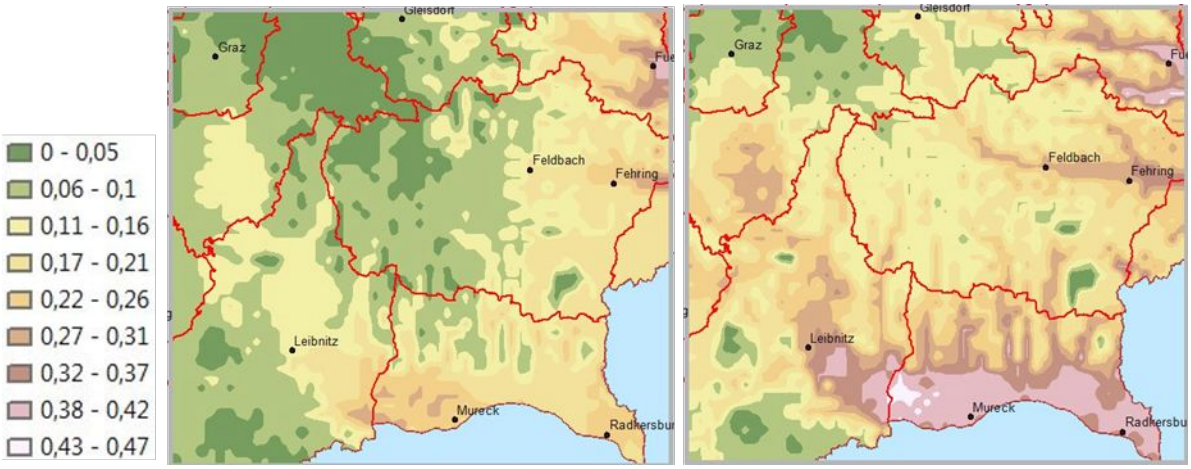


Abb. 12: Mittelwert der Anzahl der „Hitze-Stress-Tage“ für Winterweizen während der gesamten Wachstumsperiode in der Fallstudien-Region Bad Gleichenberg für den Zeitraum 1981-2010: EC-Earth_RACMO (links), IPSL_WRF (rechts).

Da die Kalibrierung der Ertragsmodelle auf die Qualität der Inputdaten basiert, sind die Unsicherheiten der Modelle an sich durch die Inputdaten definiert; d. h. die Kalibrierung und Validierung bestimmen die Unsicherheit der Modelle. In Abb. 12 wird der agroklimatische Index „Hitze-Stress-Tage“ für Winterweizen des AGRICLIM Modells und seine räumliche Verteilung in der Fallstudien-Region Bad Gleichenberg beispielhaft für die zwei ÖKS15-Simulaionen mit EC-Earth_RACMO und IPSL_WRF (1981-2010) im RCP8.5 Kontext dargestellt. Diese beiden Modelle wurden ausgewählt, da für sie im Gegensatz zu den anderen Modellen auch Werte zu relativer Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit verfügbar waren. Der Index „Hitze-Stress-Tage“ ist pflanzenbezogen und folgendermaßen definiert: Anzahl der Tage pro Jahr mit Tmax>=35 °C und ETa/ETr<0,5, wobei die letztere Bedingung Trockenstress bedeutet.

ETa ... aktuelle Evapotranspiration: jene Evapotranspiration, die dem Pflanzen Wachstumsstadium und dem aktuellen Status der Wasserverfügbarkeit des Bodens entspricht.

ETr ... Referenz-Evapotranspiration: Evapotranspiration einer ausreichend bewässerten Fläche, die mit Gras einer Höhe von 0,12 m bewachsen ist.

Die höhere Anzahl von Hitze-Stress-Tagen in IPSL_WRF ist deutlich erkennbar. In den räumlichen Strukturen der Index-Werte spiegelt sich die Topographie wieder.

M4.3: Resultate der Getreidemodellstudie für drei Untersuchungsgebiete unter Klimawandelbedingungen in Bezug auf die räumliche Skala des Inputs

Verändert man die Modellinputdaten der Klimadaten von 1 km auf 5, 11 und 21 km aggregierte Daten hat das ebenfalls Einfluss auf die verschiedenen Ernteerträge. Hier wurden die Mittelwerte im Zeitraum 1981-2010 sowie 2071-2100 (RCP8.5) für die drei Untersuchungsgebiete mit dem Pflanzenwachstumsmodell DSSAT und dem Risikoindikatormodell AGRICLIM verglichen.

Generell scheint Bad Gleichenberg die größten Unterschiede zwischen den verschiedenen aggregierten Inputdaten aufzuweisen, was auf die komplexere Topographie mit deutlicheren Unterschieden im Lokalklima, im Vergleich zu den anderen Standorten zurückgeführt werden kann. Poysdorf im Weinviertel liegt in einem eher flachen Gebiet und es werden kaum Unterschiede zwischen den verschiedenen Daten simuliert. Große Abweichungen im Winterweizen sind darauf zurückzuführen, dass das Wachstumsmodell im Herbst keinen idealen Saattermin vorfindet und somit das Jahr nicht simuliert wird, obwohl in der Praxis dann normalerweise zur Kultursicherung nachgesät wird. Die Ursachen sind dabei vorwiegend ein zu trockener oder zu warmer Herbst. Fallen einige Jahre in der 30-jährigen Untersuchungsperiode weg, können sich die Differenzen sehr schnell erhöhen. Hier sollte man die Modelleingabedaten auf die verschiedenen Klimabedingungen anpassen, was in dieser Studie nicht gemacht wurde.

Im Allgemeinen reagiert das Pflanzenwachstumsmodell DSSAT, das um einiges komplexer als AGRICLIM ist, viel stärker auf die verschiedenen Auflösungen. So werden im ersten Modell die Einflüsse der verschiedenen Boden- und Umweltfaktoren auf das Pflanzenwachstum mitberücksichtigt, während AGRICLIM nur Klimadaten zur Berechnung heranzieht.

M4.4: Bericht zu verbesserten Klimafolgen und Anpassungsabschätzungen basierend auf den neuen hochaufgelösten Klimaprojektionen

Die Tendenz aller ÖKS15-Projektionen zeigt für den Zeitraum 2071-2100 gegenüber 1981-2010 eine Ertragszunahme für Winterweizen und Sommergerste. Höhere Temperaturen und vor allem mehr Niederschlag im Frühjahr begünstigten hier die simulierten Erträge, insbesondere bei Boden 2 und 3 (Abb. 10). Mais, bewässert und nicht bewässert, hingegen, weist wegen einer verkürzten Wachstumsperiode bei unveränderter Reifegruppe sowie höheren Sommertemperaturen und deutlichen Sommer-Niederschlagsabnahmen eine Ertragsreduktion in allen drei Untersuchungsgebieten auf. Die größten Abnahmen wurden mit HadGEM_CCLM simuliert.

Vergleicht man die relative Ertragsänderung von RCP 4.5 Simulationen mit jenen der RCP 8.5 im Zeitraum 2071-2100 (mittel- bis hochwertigen Ackerboden – Boden 2), erkennt man kaum bzw. negative Änderungen beim Körnermais (C4 Pflanze), jedoch sehr große positive Abweichungen bei Sommergerste und Winterweizen (C3 Pflanzen).

Betrachtet man den agroklimatischen Index „Hitze-Stress-Tage“ für Winterweizen und seine räumliche Verteilung in der Fallstudien-Region Bad Gleichenberg für den Zeitraum 2071-2100, so erkennt man hier, dass sich das Verhältnis

verändert hat und EC-EARTH-RACMO (links) höhere Indexwerte aufweist als IPSL_WRF (rechts), Abb. 13.
Die räumliche Verteilung der Hitze-Stress-Tage für Österreich zeigt die deutliche Dominanz in Ostösterreich auf mit seinen Maximalwerten im Seewinkel, in dem sich auch die "wärmste" ZAMG-Station Österreichs in Andau befindet.

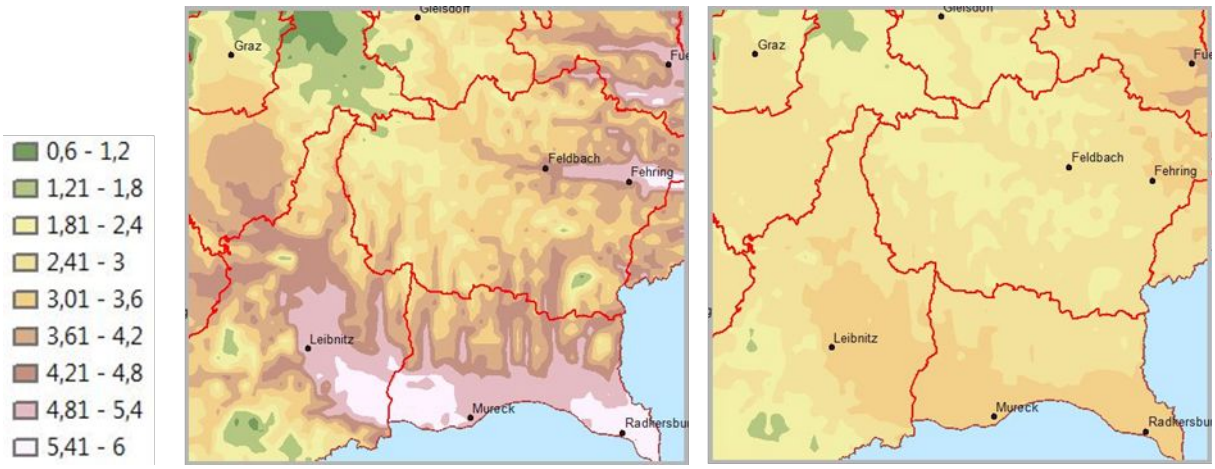


Abb. 13: Anzahl der „Hitze-Stress-Tage“ in der Fallstudien-Region Bad Gleichenberg 2071-2100: EC-Earth_Racmo (links), IPSL_WRF (rechts).

WP5: Nutzerworkshops und Guidelines

Ziele des WP

Ziel des WPs ist die Zusammenarbeit mit Nutzern sicherzustellen, um zum einen gezielt auf Bedürfnisse aus der Praxis eingehen zu können, und zum anderen die Bedingungen zu schaffen, dass die ÖKS15 Daten möglichst verantwortungsvoll und effektiv in der Praxis eingesetzt werden können. Dazu wurden folgende Meilensteine vereinbart:

M5.1: Nutzerworkshop 1 (Monat 4)
M5.2: Definition des Validierungskonzepts (Monat 5)
M5.3: Synthese (Monat 19)
M5.4: Nutzerworkshop 2 und Guidelines (Monat 22)

M5.1: Nutzerworkshop 1

Während des ersten Userworkshops wurden die Bedürfnisse der Datennutzer bezüglich einer Evaluierung des ÖKS15-Datensatzes erhoben. Außerdem zeigte sich in der Diskussion, daß nicht nur an der Evaluation der Daten Interesse bestand sondern darüber hinaus auch an weiterem Hintergrundwissen.

M5.2: Definition des Validierungskonzepts

Basierend auf den Diskussionen auf dem Nutzerworkshop und den Empfehlungen des Science Advisory Board wurde ein Validierungskonzept definiert, in dem für WP2 und WP3 spezifische Ansätze für die Evaluation ausgewählt wurden. Ein besonderes Augenmerk wurde dabei auf die Stratifizierung und Analyse der Daten auf verschiedenen Raum- und Zeitskalen gelegt. Details können in den Beschreibungen von WP 2 und 3 gefunden werden.

M5.3: Synthese

Die Ergebnisse von WP2-4 wurden zusammengefasst und in die drei Teile der Guidelines gegliedert:

- Der erste Teil enthält allgemeine Informationen z.B. über das Klima, zu Klimaszenarien, Klimamodellen und Downscaling. Dieser Teil ist speziell für das Publikum gedacht, das einen Background zu den Daten wünscht.
- Der zweite Teil beinhaltet die Ergebnisse der unterschiedlichen Evaluationen, aufgeteilt nach den 3 Bereichen: Beobachtungsdatensatz, Klimamodelldaten und Anwendung der Daten in einer Klimaimpaktstudie.

Diese beiden ersten Teile enthalten für Leser, die sich nur einen kurzen Überblick verschaffen wollen, deutlich hervorgehobene Zusammenfassungen und Highlights.

- Der dritte Teil gibt Antwort auf Fragen die aus der Praxis kommen und im Rahmen des Workshops und während des Projektes auftraten oder mit denen das Projektteam häufiger konfrontiert ist. Dieser Teil ist hauptsächlich für diejenigen Leser geschrieben, die vor eben diesen Fragen stehen.

Durch die Dreiteilung der Guideline und die unterschiedlichen Abschnitte, ist es für einen Leser, der sich nur für ein bestimmtes Thema interessiert, nicht notwendig sie komplett zu lesen. Verlinkte Verweise in der digitalen Version vereinfachen die Navigation im Dokument.

M5.4: Nutzerworkshop 2 und Guidelines

Gegen Ende der Projektlaufzeit wurde ein 2. Userworkshop durchgeführt, bei dem die Guideline vorgestellt wurde und Feedback von zukünftigen potentiellen Usern eingeholt wurde. Außerdem wurde die Guideline für Feedback per mail ausgesandt um auch jenen Usern die Möglichkeit für ein Feedback zu bieten, die nicht persönlich zum Workshop erscheinen konnten. Das erhaltene Feedback war durchwegs positiv und enthielt nur geringfügige Änderungsvorschläge, die Großteils in der finalen Version umgesetzt wurden.

Die Guidelines wurden vom CCCA gesetzt und auf den Seiten des CCCA Datenzentrums veröffentlicht.

5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

WP2

Die Ergebnisse werden allgemein in Abschnitt 2.2 vorgestellt (siehe Beschreibung der Ergebnisse des Projekts). Neue Erkenntnisse, die wir hervorheben möchten, betreffen u.a. räumliche Fehlerkarten der Klimadatensätze für Lufttemperatur und Niederschlag. Ein weiteres äußerst wertvolles Beispiel ist die erstmalige Verwendung eines Ensemble-Niederschlagsgitterdatensatzes. Für diese Analyse wurde aus den gemessenen Tagesniederschlägen für Einzugsgebiete in Österreich ein Ensemble von 100 Niederschlagswerten berechnet. Der resultierende Spread wurde in Abhängigkeit von der Größe des Einzugsgebiets ausgewertet. Somit ist es möglich, eine quantitative Abschätzung der Anwendbarkeit der Niederschlagsfelder im Zusammenhang mit der effektiven Auflösung zu erhalten: Ab einer Einzugsgebietsgröße von 40 km x 40 km (für extreme Tagesniederschläge, kleiner für andere Variablen und Zeitskalen) sind auflösungsbezogene Unsicherheiten vernachlässigbar.
Im Verlauf des Projekts wurde offensichtlich, dass das grundlegende Verständnis der wesentlichen Merkmale und der Anwendbarkeit von Daten zur Klimaüberwachung und der Datenanalyse der Netzbeobachtung bei einigen Nutzern und Stakeholdern noch verbessert werden muss. Daher plädieren wir für die weite Verbreitung, Lektüre und Verwendung des Guideline-Dokuments. Trotzdem ist auch in Zukunft ein häufiger Austausch zwischen datenerzeugenden Forschern und Nutzern erforderlich. Es ist wichtig zu vermitteln, dass der Begriff „Klima“ nicht nur die Analyse atmosphärischer Parameter wie Lufttemperatur oder Niederschlag beinhaltet, sondern auch, dass mindestens eine mehrdekadische Periode in möglichst gleichbleibender Qualität zu betrachten ist. Anwender und Stakeholder werden letztendlich von der Erkenntnis profitieren, dass nicht jede technisch realisierbare Anwendung eine sinnvolle Anwendung ist, und sich stattdessen auf die Vielzahl nützlicher Anwendungen von Gitter-Beobachtungsdatensätzen konzentrieren. In diesem Zusammenhang ist es für die Benutzer unerlässlich, sich über den Unterschied zwischen technischer und effektiver Lösung bewusst zu werden. Dieses Problem wurde in mehreren Auswertungen behandelt.

Mit dem Bestreben, ein quantitatives Verständnis der Unsicherheit der ÖKS15-Datensätze zu vermitteln und die wissenschaftlich korrekte und sozial nutzbringende Anwendung von Klimabeobachtungsdatensätzen sicherzustellen, hat die österreichische Klimaforschungsgemeinschaft wahrscheinlich international nachahmungswürdige Standards gesetzt.

WP3

Die Erweiterung der ÖKS15 Projektionen durch die ENSEMBLES Modelle erhöht zunächst die Vergleichbarkeit mit alten Impaktstudien. Weiterhin bildet das durch diese Erweiterung entstandene Superensemble die Unsicherheiten insbesondere in den treibenden Globalen Klimamodellen besser ab. Gerade für Niederschlag ist diese Erweiterung wichtig: im Frühling, Sommer und Herbst unterscheiden sich

beide Ensembles qualitativ, bisher gibt es aber keine Studien, die belegen, dass die Änderungen in EURO-CORDEX glaubwürdiger sind als die in ENSEMBLES. Um die Unsicherheiten so gut wie möglich abzubilden, ist es deshalb sinnvoll für die genannten Fälle beide Ensembles zu berücksichtigen.
Die Erweiterung um das RCP2.6 Szenario erlaubt es den direkten Effekt von ernsthaften Klimaschutzmaßnahmen auf Österreich besser zu untersuchen.
Die Modell-Evaluation in STARC-Impact lieferte wichtige Erkenntnisse über die Qualität und Grenzen der ÖKS15 Klimasimulationen. Es ist weithin anerkannt, dass Studien, die regionale Klimaszenarien benutzen, auch Fehler in Globalen Klimamodellen berücksichtigen sollten. Insbesondere sind Fehler in der Darstellung der Atmosphärischen Zirkulation eine wichtige Unsicherheitsquelle für Klimaprojektionen. STARC-Impact hat einen entscheidenden Beitrag geleistet, dieses Problem für Östereich zu untersuchen. Die Analyse, wie gut GCMs das Wetterlagen, die das regionale Klima in Österreich bestimmen, abbilden, hat gezeigt, dass mehrere dieser Modelle es nicht schaffen, realistische Autrittsraten zu simulieren, andere Modelle diese jedoch recht gut repräsentieren.
Eine weiterführende Analyse konnte außerdem zeigen, dass aufgrund dieser Fehler in der zeitlichen Struktur des simulierten Wetters die Bias-Korrektur der ÖKS15 Simulationen zwar die Biase über einen langen Zeitraum korrigieren kann, aber nicht zu bestimmten Wetterlagen. Sollten bestimmte Wetterlagen für eine Anwendung sehr relevant sein, könnten zu diesen trotz Biaskorrektur noch erhebliche Biase z.B. in den Niederschlagsintensitäten vorhanden sein.
Diese Informationen sind wichtig um für eine bestimmte Region und eine bestimmte Anwendung ein sinnvolles Modellensemble zu auszuwählen.

Eine wichtige Schlussfolgerung aus dem Projekt ist, dass die ÖKS15 Simulationen eine effektive Auflösung von etwa 40km haben. Auf der nominellen 1km-Skala, bewirkt die Bias-Korrektur gegen die 1km GPARD Daten zwar, dass langfristige klimatologische Mittelwerte und Quantile richtig abgebildet werden, und so z.B. der mittlere Einfluss der Topographie auf Temperatur und Niederschlag abgebildet werden. Jedoch wurde gezeigt, dass weder dass tägliche Wetter noch Klimawandeländerungen auf einer 1km-Skala dargestellt werden. Wenn z.B. bei einer seltenen Wetterlage starker Niederschlag auf der normalerweise windabgewandten Seite fällt, wird er entsprechend stark gedämpft. Ebenso werden Inversionswetterlagen, wenn sie vom Modell nicht aufgelöst werden, nicht abgebildet. Schließlich werden auch lokale Einflüsse auf das Klimaänderungssignal wie zum Beispiel eine höhenabhängige Erwärmung nicht auf der 1km-Skala abgebildet. Diese Ergebnisse tragen zu einem besseren Verständnis der Grenzen von Biaskorrektur bei, wenn diese als einfaches statistisches Downscaling eingesetzt wird.
Insgesamt trägt diese Analyse dazu bei, Nutzern die Grenzen gegenwärtiger Klimamodellierung verantwortungsbewusst und transparent aufzuzeigen, um so erst eine sinnvolle und wiederum verantwortungsbewusste Nutzung der Modelle zu ermöglichen. Diesbezüglich nimmt Österreich international eine Vorreiterrolle ein.

Um in Zukunft noch bessere Projektionen zu erstellen, sollten zwei Wege verfolgt werden, die der Leiter des Projekts auch in seiner Arbeitsgruppe geht. Zum einen sollten verstärkt höher aufgelöste GCMs eingesetzt werden. Mehrere Studien legen nahe, dass diese die oben diskutierten Fehler in der Darstellung der atmosphärischen Zirkulation zu verringern helfen. Aktuelle internationale Projekte wie PRIMAVERA oder HighResMIP stellen hier wichtige Modelldaten zur Verfügung. Diese Modelle sollten idealerweise als Input für weiteres Downscaling genutzt werden, oder zumindest als Vergleich herangezogen werden.
Um regionale Prozesse, insbesondere Gewitter, Extremniederschläge und den Einfluss von komplexer Topographie auf das Klima besser darstellen zu können, sollten noch deutlich feiner aufgelöste Modelle als die in ÖKS15 verwendeten benutzt werden, die tatsächlich auf der 1km-Skala operieren und z.B. die Tiefenkonvektion in Gewittern explizit modellieren. Die Arbeitsgruppe des Projektleiters ist in eine CORDEX Flagship Pilot Study genau zu diesem Thema involviert. Die Ergebnisse dieser Studien sollten auch mit den ÖKS15 Ergebnissen verglichen werden, um endlich bessere Aussagen darüber treffen zu können, wie vertrauenswürdig Extremniederschläge in ÖKS15 dargestellt werden.
Ein wichtiges Thema sind auch ein besseres Verständnis und die Weiterentwicklung der Biaskorrektur. Insbesodere muss die Frage angegangen werden, inwieweit statistische Methoden das Klimasignal eines Klimamodells verschlechtern oder durch sinnvolle Einbettung von Prozesswissen eventuell sogar verbessern können.
Diese Forschungsrichtungen sollten zusammengefasst und aus den Ergebnissen die relevanten und vertrauenswürdigen Informationen destilliert werden.

Für aktuelle Anwendungen der ÖKS15 Klimaprojektionen können folgende Empfehlungen gegeben werden:

- Wenn bestimmte Wetterlagen für eine konkrete Anwendung wichtig sind, sollte in den Guidelines überprüft werden, welche Modelle das Auftreten dieser Wetterlagen realistisch simulieren. Modelle, die offensichtliche Probleme haben, sollten nicht berücksichtigt werden.
- Wenn aufgrund eingeschränkter Ressourcen nicht das volle ÖKS15 Ensemble genutzt werden kann, sollten Modelle basierend auf den ÖKS15 Guidelines so ausgewählt werden, dass die Unsicherheiten in relevanten Klimavariablen möglichst vollständig abgedeckt werden.
- Im Frühling, Sommer und Herbst gibt es qualitative Unterschiede in den Klimaänderungen des Niederschlags zwischen EURO-CORDEX und ENSEMBLES. Hier sollte die volle Spannbreite betrachtet werden.
- Die ÖKS15 Daten sollten nur sehr vorsichtig auf der 1km-Skala interpretiert werden. Langfristige Klimatologische Werte können dort abgelesen werden, aber insbesondere bei der Nutzung von Wetterzeitreihen für die Impaktmodellierung sollten die diskutierten Limitierungen berücksichtigt werden und, wenn möglich, nur die originale 12k-Skala genutzt werden.

WP4

Wie Klimamodelle sind Pflanzenwachstumsmodelle mehr oder weniger vereinfachte Modelle allerdings für die pflanzenphysiologischen Prozesse. Sie

können in beschreibende und erklärende Modelle unterteilt werden. Während beschreibende Modelle auf rein empirischen Zusammenhängen zwischen unterschiedlichen Variablen (z.B. Temperatur, Niederschlag und Wachstum) basieren, beschreiben die erklärenden Modelle in Form mathematischer Gleichungen und Funktionen zum überwiegenden Teil die zugrundeliegenden Mechanismen und Prozesse des Pflanzenwachstums. In diesen Modellen werden unterschiedliche Arten von Variablen verwendet: Zustandsgrößen (z.B. Nitratgehalt des Bodens, Bodenwassergehalt, Blattfächenindex, Biomasse, phänologischer Entwicklungszustand, ...), beeinflussende Größen (z.B. meteorologische Variablen (Temperatur, Niederschlag,...), Boden- und Pflanzeneigenschaften) und Umwandlungsraten, die von den beiden anderen Variablenarten abhängen und durch Untersuchungen der physikalischen, chemischen und physiologischen Prozesse des Pflanzenwachstums bestimmt wurden. Die Modelle sind so in der Lage die Interaktionen zwischen Pflanze, Boden und Atmosphäre zu untersuchen und bilden daher ein wichtiges Hilfsmittel für Agrarstudien.

Unsicherheiten ergeben sich zum einen aus den Unsicherheiten der verwendeten Eingangsdaten, aber auch durch die unterschiedlich detaillierte oder repräsentative Darstellung der betrachteten Prozesse im Modell. Für die Qualität der Modellergebnisse ist eine Kalibrierung mit einem qualitativ hochwertigen, gemessenen Datensatz unerläßlich. Bei Eingabedaten für die Kalibrierung ist nicht nur die Meßgenauigkeit ein wesentlicher Punkt, sondern auch die Repräsentativität der Daten für die betrachtete Region oder einzelne lokale Punkte, Bodenarten, Pflanzensorten.

Wie auch Klimamodelle können Pflanzenwachstumsmodelle auf Grund ihrer unterschiedlichen Parametrisierung und Komplexität mit gleichen Eingangsdaten zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen. Daher wird auch hier die Verwendung eines Multi-Modell-Ensembles empfohlen.

Die folgenden Empfehlungen kommen aus Studien von Pflanzenwachstums-modellen, sind aber auch für andere Impaktstudien gültig:

- Gründliche Kalibrierung und Evaluierung des Impaktmodells. Dabei sollten möglichst Daten von >10 Jahren für unterschiedliche Regionen verwendet werden. Bei der Wahl der Regionen sollte darauf geachtet werden, dass die ökologische und klimatische Variabilität der Zielregion möglichst gut abgedeckt wird.
- Verwende ein Ensemble an Klimamodellen um den möglichen Bereich zukünftiger Entwicklungen möglichst vollständig abzudecken
- Analysiere die verwendeten Klimamodelle auch in Bezug auf ungünstige Wetterbedingungen während kritischer Zeiträume in der Wachstumsperiode der Pflanzen (z.B.: Häufigkeit und Stärke von ungünstigen Wetterbedingungen während empfindlicher Wachstumsphasen bei Pflanzen wie z.B. der Blühphase). Dadurch ist eine genauere Interpretation der Ergebnisse möglich.
- Verwende - wenn möglich - ein Ensemble von Impaktmodellen (z.B. unterschiedliche Pflanzenwachstumsmodelle) um die Unsicherheiten der unterschiedlichen Modelle (Modellaufbau, mathematische Beschreibung des Zusammenhanges mit dem Wetter) abzudecken. Speziell in Bezug auf

kritische Schwellwerte (z.B.: Hitze- oder Trockenstress bei Pflanzen) können sich dabei deutliche Unterschiede zeigen.

- Bei unsicheren künftigen Entwicklungen in der Produktionstechnik oder anderer Rahmenbedingungen sollten auch diesbezügliche Szenarien untersucht bzw. simulieren werden (z.B. geänderte Düngung, angepasste Pflanzensorten, geänderte Bodenbearbeitung,...).
- Frühere Klimaimpaktstudien sollten mit neuen Ergebnissen der Klimamodellierung überprüft werden, speziell wenn sich in den Klimamodellergebnissen Unterschiede in für die Impaktstudie wichtigen Prozessen ergeben (z.B. geänderter Niederschlag oder geänderte Häufigkeit von Hitzewellen in der Wachstumsperiode der Nutzpflanzen, ..)
- In topographisch komplexem Gelände (Gebirgsregion, Hügelland) ist die räumliche Variabilität des Klimas größer. Die klimabedingten Änderungen können sich also auf kleinerem Raum stärker voneinander unterscheiden als in einer Flachlandregion. Daher sind hier hochaufgelöste Klimadaten von großer Bedeutung für aussagekräftige Ergebnisse für spezifische Standorte, wie einzelne landwirtschaftliche Betriebe (siehe dazu auch Abschnitt „Skillful scale“).

WP5

Mit der Guideline steht ein Instrument zur Verfügung, das wesentliche Informationen für unterschiedliche Nutzergruppen des ÖKS15-Datensatzes und unterschiedliche Bedürfnisse der Anwendergruppen zur Verfügung stellt.

Zum einen klärt Teil 1 über häufig verwendete Begriffe im Bereich der Klimaforschung und der Klimamodellierung auf und ist dadurch für diejenigen Leser interessant, die häufig mit Klimaforschern oder deren Ergebnissen zu tun haben, den Hintergrund jedoch nur bedingt kennen und einen schnellen Überblick benötigen. Je nach Interesse und Bedarf sind durch die Info- und Zusammenfassungsboxen unterschiedliche Zugänge zum Inhalt möglich.

Mit dem Teil 2 werden hauptsächlich die Datenuser angesprochen, die für ihre Auswertungen den erweiterten ÖKS15-Datensatz verwenden wollen. Sie können sich hier über die Unsicherheit ihrer anvisierten Analyse in dem geplanten Untersuchungsgebiet einen ersten Eindruck verschaffen und ihre Analyse entsprechend anpassen oder über die vorhandenen Unsicherheiten in ihrer Analyse berücksichtigen. Auch für interessierte Leser, die die Daten nicht selbst auswerten, sich aber über die Situation informieren wollen oder neue Projektideen erarbeiten, ist dieses Kapitel von Interesse.

Teil 3 wendet sich an die Datennutzer und versucht immer wiederkehrende Fragen wie z.B. den Eigenschaften einzelner Modelle, den unterschiedlichen Ansätzen in der Ensemblezusammenstellung oder dem Nutzen unterschiedlicher Datenquellen (Beobachtung, Modell,...) Stellung zu nehmen.

Über eine geplante WIKI-Seite auf der CCCA-Webseite sollen Informationen zur Qualität der im ursprünglichen und erweiterten ÖKS15-Datensatz verwendeten Klima-Läufen weitergegeben werden, so Probleme bekannt werden sollten.

Die Guideline wird sowohl über das Datenzentrum als auch über die Webseite des CCCA zur Verfügung gestellt.

C) Projektdetails

6 Methodik

WP2

Im Dezember 2016 fand in Wien ein Stakeholder-Workshop (organisiert von WP 5) statt, bei dem wir die Ansichten der teilnehmenden Benutzer zu geplanten Anwendungen, Qualitätsanforderungen und Wünschen für Validierungsergebnisse anhand von Präsentationen und Gruppendiskussionen erhoben haben.

Methodischer Ausgangspunkt war eine gut vorbereitete Sitzung des Advisory Boards, die im Januar 2017 bei der ZAMG stattfand. Der Unterauftragnehmer Christoph Frei (von MeteoSchweiz) nahm als externer Experte an der Sitzung teil, aber auch Marc Olefs (Erzeuger von APOLIS an der ZAMG) und Georg Pistonik (Entwickler von INCA an der ZAMG) nahmen vorübergehend an der Diskussion teil. Ein Evaluierungskonzept, bestehend aus zwölf aufwändigen Arbeitsschritten, die alle fünf Ziele widerspiegeln, belegt den Erfolg des Meetings. Das Konzept spezifiziert und erweitert die Ziele T2.1 bis T2.5 und wurde im Laufe des Projekts schrittweise abgearbeitet:

#	**Qualitätsmerkmal**	**Klima-variable**	**Methode**
1.	Klärung der unterschiedlichen Fehlerquellen	T RR G E	Literatur, qualitativ
Fehler als Punktwert:			
2.	Fehler am Gitterpunkt	T RR G	Kreuzvalidierung, Fehlerstatistiken, Stratifizierung, Indizes
3.	konditionaler Bias	T RR	Kreuzvalidierung, in Abhängigkeit der Verteilung
4.	unabhängige Stationsdaten	G	nicht verwendete Globalstrahlungsreihen
5.	Langzeitstabilität	T RR G	Kreuzvalidierung, Trends aus Messung vs. Interpolation
6.	räumliche Fehlerkarten	T RR	Kreuzvalidierung, in Abhängigkeit von geographischen Variablen
räumliche Skalenabhängigkeit des Fehlers:			
7.	Evaluierung gegen WegenerNet	RR	in Abhängigkeit der Skala
8.	Vergleich mit INCA	T RR G E	illustrative Fälle
9.	Vergleich mit E-OBS	T RR	illustrative Fälle
10.	Ensemble-Datensatz	RR	in Abhängigkeit der Niederschlagsmenge als Funktion der räumlichen Skala

11.	exemplarisch Interpolationsfehler zeigen	T RR G E	mithilfe der Punkte 7–10
qualitative Beurteilung:			
12.	„experts judgment“	E	Einzelmessungen, qualitativ

Im abschließenden Workshop im Mai 2018 wurden beispielhafte Evaluierungsergebnisse hervorgehoben, Qualitätsaspekte diskutiert und Rückmeldungen von den Stakeholdern entgegengenommen. Dies wurde in die endgültige Version der Richtlinien eingearbeitet.

Leave-one-out-Kreuzvalidierungstabellen wurden für Lufttemperatur und Niederschlag berechnet. Für die Globalstrahlung beruhte die Validierung auf unabhängigen Stationsbeobachtungsreihen. Folglich wurden Fehlerstatistiken für jede Station bestimmt. Diese konnten nicht nur zur Berechnung von allgemeingültigen mittleren Fehlern verwendet werden, die zufällige und systematische Fehlerkomponenten unterscheiden. Sie wurden auch zur Stratifizierung der Fehlermaße nach Seehöhe, Landschaftstyp, Kalendermonat usw. sowie zur Erstellung von Fehlerkarten verwendet. Darüber hinaus liefert der Vergleich von Trends, die auf der Grundlage ursprünglich beobachteter bzw. kreuzvalidierter Daten berechnet wurden, eine Bewertung der Langzeitstabilität. Es wurden außerdem Fehlermaße für die Diskrepanz zwischen den beobachteten und den von der Kreuzvalidierung vorhergesagten Versionen temperaturabhängiger Klimaindizes berechnet.

In einem weiteren Validierungsansatz wurde die Frage nach der effektiven Auflösung der Niederschlagsgitterdaten behandelt. Zu diesem Zweck stellte MeteoSchweiz ein Ensemble von Einzugsgebietsdaten zur Verfügung: Dieser Datensatz umfasst 100 Realisierungen der täglichen Niederschlagsdaten von mehr als 500 Flusseinzugsgebieten im Alpenraum für die Jahre 2000 bis 2008. Die Ensembledaten wurden anhand der GPARD-Daten mithilfe der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion und der Anzahl an Trocken- und Niederschlagstagen kalibriert. Infolgedessen konnte der Ensemble-Spread als Maß für die Unsicherheit der GPARD-Daten interpretiert werden. Eines der Hauptergebnisse dieser Bewertung ist die Abhängigkeit der des Niederschlag-Ensemble-Spreads vom geographischen Gebiet des Einzugsgebiets.

WP3

Die Evaluation der ÖKS15-Simulationen umfasste drei Schritte. Im ersten wurde eine traditionelle Analyse für eine Auswahl an Klimaindizes durchgeführt; im zweiten wurde eine prozessbasierte Analyse der treibenden GCMs durchgeführt; und im dritten wurde insbesondere die effektive Auflösung der ÖKS15 Daten untersucht.

Die Evaluation der Klimaindizes folgte im wesentlichen dem im Rahmen der VALUE Initiative (Maraun et al., 2015) entwickelten Konzept. Dabei wurden auch Erkenntnisse berücksichtigt, die auch nach dem Ende von VALUE in Zusammenarbeit mit dem STARC-Impact Projekt gewonnen wurden.

Insbesondere wurde keine Kreuzvalidierung durchgeführt, da gezeigt wurde, dass diese bei der Anwendung von Biaskorrektur auf transiente Klimasimulationen zu falsch positiven und falsch negativen Ergebnissen führen kann (Maraun & Widmann, 2018). Relevante Erkenntnisse lassen sich vor allem durch die Analyse von nicht-korrigierten Indizes gewinnen, insbesondere solchen, die die zeitliche Struktur beschreiben. Eine große Zahl an Indizes wurde evaluiert, bespielhaft sei die Auswahl, die in den Guidelines betrachtet wurde, gegeben.

Index kurz	**Index lang**	**Beschreibung**
hw	Anzahl der Hitzeepisoden	Anzahl von mindestens 3 Tage andauernden durchgängigen Episoden, in der das Tagesminimum über 18°C und das Tagesmaximum über 30°C liegt.
cw	Anzahl von Kälteepisoden	Anzahl von zumindest 5 Tage andauernden durchgängigen Episoden, in der das Tagesmaximum unter 0°C bleibt.
cdd	Anzahl der Trockenepisoden	Anzahl von mindestens 3-tägigen Zeiträumen, in denen täglich weniger als 1mm Niederschlag fällt
tr20	Tropennächste	Tage mit einem Tagesminimum über 20°C
id7	Extreme Eistage	Tage, an denen das Tagesminimum unter -7°C und das Tagesmaximum unter 0°C liegt
cwd	Anzahl der Niederschlagsepisoden	Anzahl von mindestens 3-tägigen Zeiträumen, in denen täglich mehr als 1mm Niederschlag fällt.
rr	Niederschlagsmenge	Mittlere tägliche Niederschlagsmenge
rr1	Niederschlagstage	Anzahl der Tage/Jahr, an denen die Niederschlagssumme mindestens 1 mm erreicht.
rx5day	Maximale fünftägige Niederschlagsmenge	Größte Niederschlagssumme über einen zusammenhängenden Zeitraum von fünf Tagen

Wie oben diskutiert, ist weithin anerkannt, dass Studien, die regionale Klimaszenarien benutzen, auch Fehler in GCMs berücksichtigen sollten. Mehrere Untersuchungen konnten zeigen, dass operationell genutzte GCMs die Häufigkeit von bestimmten Wetterlagen in den mittleren Breiten oft unrealistisch darstellen und z.B. Westströmungen überschätzen, blockierende Hochs jedoch unterschätzen. In STARC Impact wurden die ÖKS15 Modelle deshalb explizit daraufhin untersucht, wie gut sie relevant Wetterlagen simulieren.
Die Klassifizierung der Wetterlagen erfolge mittels der Methode CAP9, die auf einer Hauptkomponentenanalyse und hierarchischer Clusteranalyse basiert und in der COST Action 733 evaluiert wurde (Philipp et al., 2019).

Der Einfluss der Darstellung von Wetterlagen auf Biase und Biaskorrektur wurde nach einem Ansatz von Addor et al. (2016) analysiert, indem Biase getrennt für jede Wetterlage berechnet wurden, jeweils vor- und nach der Biaskorrektur.

Die Effektive Auflösung wurde zunächst mittels räumlicher Spektralanalyse und Variogrammen ermittelt. Zusätzlich wurde die Relevanz der Ergebnisse anhand von Untersuchungen an Einzelereignissen (z.B. Niederschagsereignissen) und besonderen Phänomenen (z.B. Inversionswetterlagen) vertiefend untersucht. Darüberhinause flossen Ergebnisse aus anderen Studien, wie z.B. Untersuchungen des Projektleiters mit internationalen Kollegen zu höhenabhängiger Erwärmung (Maraun et al., 2017) ein.

Die Unsicherheitsanalyse wurde insbesondere über eine typische Nutzerfrage motiviert, nämlich welche Modelle für eine bestimmte Anwendung herangezogen werden sollen, um trotz der Auswahl die gesamten Unsicherheiten möglichst gut abzubilden. Hierzu wurden paarweise Scatterplots erzeugt, in denen einzelne Simulationen je nach treibendem GCM und Szenario unterschiedlich dargestellt werden. Unterschiede zwischen EURO-CORDEX und ENSEMBLES wurden anhand des Überlapps der Spannbreiten und alternativ durch die Anzahl qualitativ unterschiedlicher Projektionen abgeschätzt.

WP4

Mit dem Pflanzenwachstumsmodell DSSAT wurden das Pflanzenwachstum und der Ertrag für die Standorte repräsentativer Wetterstationen (Bad Gleichenberg, Poysdorf und Kremsmünster) der drei Fallstudienregionen simuliert, während mit AGRICLIM flächenhafte Indikatoren und Ergebnisse berechnet wurden.

AGRICLIM verwendet als Inputdaten tägliche Wetterdaten (Maximumtemperatur, Minimumtemperatur, Niederschlag, Globalstrahlung, relative Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit) und berechnet damit verschiedenste agroklimatische Indizes.

DSSAT braucht als Inputdaten tägliche Wetterdaten (Tmax, Tmin, Rain, SRad), Bodendaten, Genetik der Pflanze und Management (z. B. Saattermin, Düngung, Bodenbearbeitung). Hierbei wurden drei verschiedene Bodenklassen, die mit Hilfe der nutzbaren Feldkapazität definiert wurden, berücksichtigt:

- Bodenklasse 1: nutzbare Feldkapazität < 140 mm im effektiven Wurzelraum; ca. 1 m Tiefe - geringwertige Ackerfläche
- Bodenklasse 2: 140-220 mm nutzbare Feldkapazität - mittel- und hochwertige Ackerflächen
- Bodenklasse 3: > 219 mm nutzbare Feldkapazität - mittel- und hochwertige Ackerflächen

Die Sorten „Capo“ für Winterweizen, „Magda“ für Sommergerste und „Parsival“ für Körnermais wurden im Gebiet Marchfeld kalibriert und validiert und ermöglichten somit die Simulation der Kulturen in anderen Gebieten von Österreich. Die Düngung wurde fix angenommen (laut ÖPUL Angaben), gesät wurde unter optimalen Saatbedingungen (Angabe eines Zeitfensters mit Bodentemperatur- und Bodenfeuchtespannbreite), geerntet wurde sobald das

Getreide laut Modell reif war. Die Wetterinputdaten wurden bei beiden Modellen geändert (ÖKS15-Simulationen), während die anderen Eingabedaten gleich blieben. Die CO_2 Konzentration wurde für den Zeitraum 1981-2010 mit 380 ppm angenommen, für 2071-2100 mit 520 ppm (RCP 4.5) bzw. 750 ppm (RCP 8.5).

Es wurden folgende Simulationen durchgeführt:

a) Zur Beantwortung der Frage, welche Unsicherheiten bei Verwendung der ÖKS15-Simulationen als Modelleingabedaten auftreten, wurden die simulierten Ertragsdaten mit den ÖKS15-Inputs und den ZAMG-Eingabedaten (Referenzwert) verglichen. Der Untersuchungszeitraum war von 1981-2010.
b) In einem nächsten Schritt wurden die Klimadaten von 1 km auf 5 km, 11 km sowie 21 km aggregiert und wurden als Modelleingabedaten verwendet. Ertragsdaten mit unterschiedlichen räumlichen Klimainputdaten wurden hierbei verglichen. Der Untersuchungszeitraum war einerseits 1981-2010 sowie 2071-2100 (RCP 8.5).
c) In einem letzten Schritt wurden für den Zeitraum 2071-2100 die Auswirkungen auf den Ernteertrag mit den unterschiedlichen ÖKS15 Szenarien simuliert (RCP 4.5 und RCP 8.5).

7 Arbeits- und Zeitplan

STARC-Impact (Gantt diagram)	Time scale																									Extension			
	Project months																												
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	21	22	23	24
WP 1: Project management																												
T 1.1: Coordination and management																												
T 1.2: Formal communications	R1.1												R1.2															R1.3
T 1.3: Project meetings				M1.1												M1.2								M1.3				
WP 2: Validation obs data															M2.1			M2.2										R2.1
T 2.1: Calculation of statistical error measures																												
T 2.2: Mutual validation with independent data																												
T 2.3: Spatial error maps and effective resolution																												
T 2.4: Assessment of climate change detection																												
T 2.5: Preparation of data for WP3 and WP4																												
WP 3: Validation modelled data																												R3.2
T 3.1: Extend the ÖKS15 data pool											M3.1	R3.1																
T 3.2: Validation of the extended ÖKS15 dataset																		M3.2						M3.2				
T 3.3: Effect of observation uncertainty																		M3.3										
T 3.4: Differences EURO-CORDEX/ENSEMBLES																		M3.4										
T 3.5: Preparation of data for WP4									M3.5					M3.5														
WP 4: Case Study																												
T 4.1: Defining the setup of the ensemble modelling study, establishing crop modelling data set, model calibration			M4.1																									
T 4.2: Ensemble simulation of selected crops by use of the established data set															M4.2													
T 4.3: Analysis of crop modelling results (scale issues, uncertainty in climate scenario data)																					M4.3						M4.4	
WP 5: User Workshops and Guidelines																												
T 5.1: Participation and information of the Austrian Climate Impact Community.				M5.1																		M5.4						
T 5.2: Defining verification approach					M5.2																							
T 5.3: Synthesis of the outcomes of WP2,WP3 and WP4																										M5.3		
T 5.4: Developing user guidelines																												R5.1

WP ... Work Package; M ... Milestone; R ... Result

8 Publikationen und Disseminierungsaktivitäten

Tabellarische Angabe von wissenschaftlichen Publikationen, die aus dem Projekt entstanden sind, sowie sonstiger relevanter Disseminierungsaktivitäten.

Artikel in Begutachteten Fachzeitschriften

Während des Projekts hat der Projektleiter zwei Beiträge innerhalb von internationalen Kooperationen veröffentlicht. Diese gehören zu keinem speziellen Projekt, sind jedoch eng mit Diskussionen innerhalb der VALUE Initiative und dem STARC-Impact Projekt verknüpft:

D. Maraun, T.G. Shepherd, M. Widmann, G. Zappa, D. Walton, J.M. Gutierrez, S. Hagemann, I. Richter, P.M.M. Soares, A. Hall and L.O. Mearns (2017): Perspective: Towards process informed bias correction of climate change simulations, Nature Climate Change 7, 764-773.

D. Maraun and M. Widmann (2018): Cross-validation of bias-corrected climate simulations is misleading. Hydrology and Earth System Sciences. 22 (9), 4867-4873.

In Vorbereitung

Chimani B., Matulla C., Hiebl J., Schellander-Gorgas T., Maraun D., Mendlik T., Kubu G., Thaler S. (in prep.): Creation of a Guideline on the Use of Climate data. To be submitted to Climate Services

Maraun D., Mendlik T. and Truhetz H. (in prep.): A comprehensive user-focussed evaluation of the Austrian Climate Projections ÖKS15. To be submitted to Int. J. Climatol.

Guidelines

Chimani B., Matulla C., Eitzinger J., Gorgas-Schellander T., Hiebl J., Hofstätter M., Kubu G., Maraun D., Mendlik T., Thaler S. (2019). Guideline zur Nutzung der OeKS15-Klimawandelsimulationen sowie der entsprechenden gegitterten Beobachtungsdatensätze, Vienna, Austria. CCCA Data Centre. PID: https://hdl.handle.net/20.500.11756/e3232e36

Konferenzbeiträge

Chimani B., Matulla C., Eitzinger J., Schellander-Gorgas T., Hiebl J., Hofstätter M., Kubu G., Maraun D., Mendlik T., Thaler S. (excepted): Guideline on climate data for climate impact research and stakeholders. European Conference for Applied Meteorology and Climatology 2018, 3–07 September 2018, Budapest, Hungary

Chimani B., Matulla C., Eitzinger J., Schellander-Gorgas T., Hiebl J., Hofstätter M., Kubu G., Maraun D., Mendlik T., Thaler S.: Guideline zu dem ÖKS15-Datensatz für

die Klimaimpaktforschung und Stakeholder. DACH 2019, 18–22 March 2019, Garmisch-Partenkirchen, Germany

Eitzinger, J., Kubu, G., Thaler, S., Chimani, B., Matulla, C., Schellander-Gorgas, T., Hiebl, J., Hofstätter, M., Truhetz, H., Mendlik, T. and Maraun, D. (2018): Impact of climate scenario uncertainties on agrometeorological models. [Poster] European Meteorological Society (EMS) Annual Meeting , 3.-7.9.2018, Budapest.

Maraun, D., - STARC-Impact: Eine Nutzer-orientierte Evaluation der ÖKS15 Beobachtungsdaten und Klimamodellsimulationen, Österreichischer Klimatag 2019, 24.-26.04.2019, Wien.

Mendlik, T., Truhetz, H., Jury, M., and Maraun, D. (2017): Process-based evaluation of the ÖKS15 Austrian climate scenarios: First results, EGU General Assembly 2017, Wien.

Mendlik, T. (2017): STARC-Impact: Prozessbasierte Evaluierung der ÖKS15 Klimaszenarien, Österreichischer Klimatag 2017, Wien

Schellander-Gorgas T., Frei C., Hiebl J., Hofstätter M.: Validierung der ÖKS15-Beobachtungsdatensätze in STARC-Impact. 7. Österreichischer MeteorologInnentag, 9–10 November 2017, Graz, Austria

Schellander-Gorgas T., Hiebl J., Hofstätter M., Frei C.: Validierung der hochaufgelösten ÖKS15-Beobachtungsdatensätze. 19. Österreichischer Klimatag, 23–25 April 2018, Salzburg, Austria

Schellander-Gorgas T., Hiebl J., Hofstätter M., Frei C., Chimani B., Matulla C.: Validation of the high-resolution gridded observation data sets of ÖKS15. European Conference for Applied Meteorology and Climatology 2018, 3–7 September 2018, Budapest, Hungary

Schellander-Gorgas T., Frei C., Hiebl J., Hofstätter M.: Validierung der ÖKS15-Beobachtungsdatensätze in STARC-Impact. 7. Österreichischer MeteorologInnentag, 9–10 November 2017, Graz, Austria

Schellander-Gorgas T., Hiebl J., Hofstätter M., Frei C.: Validierung der hochaufgelösten ÖKS15-Beobachtungsdatensätze. 19. Österreichischer Klimatag, 23–25 April 2018, Salzburg, Austria

Thaler, S., Eitzinger, J., Kubu, G., Chimani, B, Matulla, C., Hiebl, J., Hofstätter, M., Maraun, D. and Mendlik, T. (2019): Einfluss von Klimaszenarien unterschiedlicher Auflösung auf die Ergebnisse agrarmeteorologischer Modelle in unterschiedlichen Regionen Österreichs. [Poster] Dach 2019, 18.-22.03.2019, Garmisch-Partenkirchen.

Thaler, S., Eitzinger, J., Kubu, G., Chimani, B, Matulla, C., Hiebl, J., Hofstätter, M., Maraun, D. and Mendlik, T. (2019): Anwendung der ÖKS15-Klimaprojektionen in Agrarmodellen. [Poster] 20. Österreichischer Klimatag 2019, 24.-26.04.2019, Wien.

Diese Projektbeschreibung wurde von der Fördernehmerin/dem Fördernehmer erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte sowie die barrierefreie Gestaltung der Projektbeschreibung, übernimmt der Klima- und Energiefonds keine Haftung.

Die Fördernehmerin/der Fördernehmer erklärt mit Übermittlung der Projektbeschreibung ausdrücklich über die Rechte am bereitgestellten Bildmaterial frei zu verfügen und dem Klima- und Energiefonds das unentgeltliche, nicht exklusive, zeitlich und örtlich unbeschränkte sowie unwiderrufliche Recht einräumen zu können, das Bildmaterial auf jede bekannte und zukünftig bekanntwerdende Verwertungsart zu nutzen. Für den Fall einer Inanspruchnahme des Klima- und Energiefonds durch Dritte, die die Rechtinhaberschaft am Bildmaterial behaupten, verpflichtet sich die Fördernehmerin/der Fördernehmer den Klima- und Energiefonds vollumfänglich schad- und klaglos zu halten.