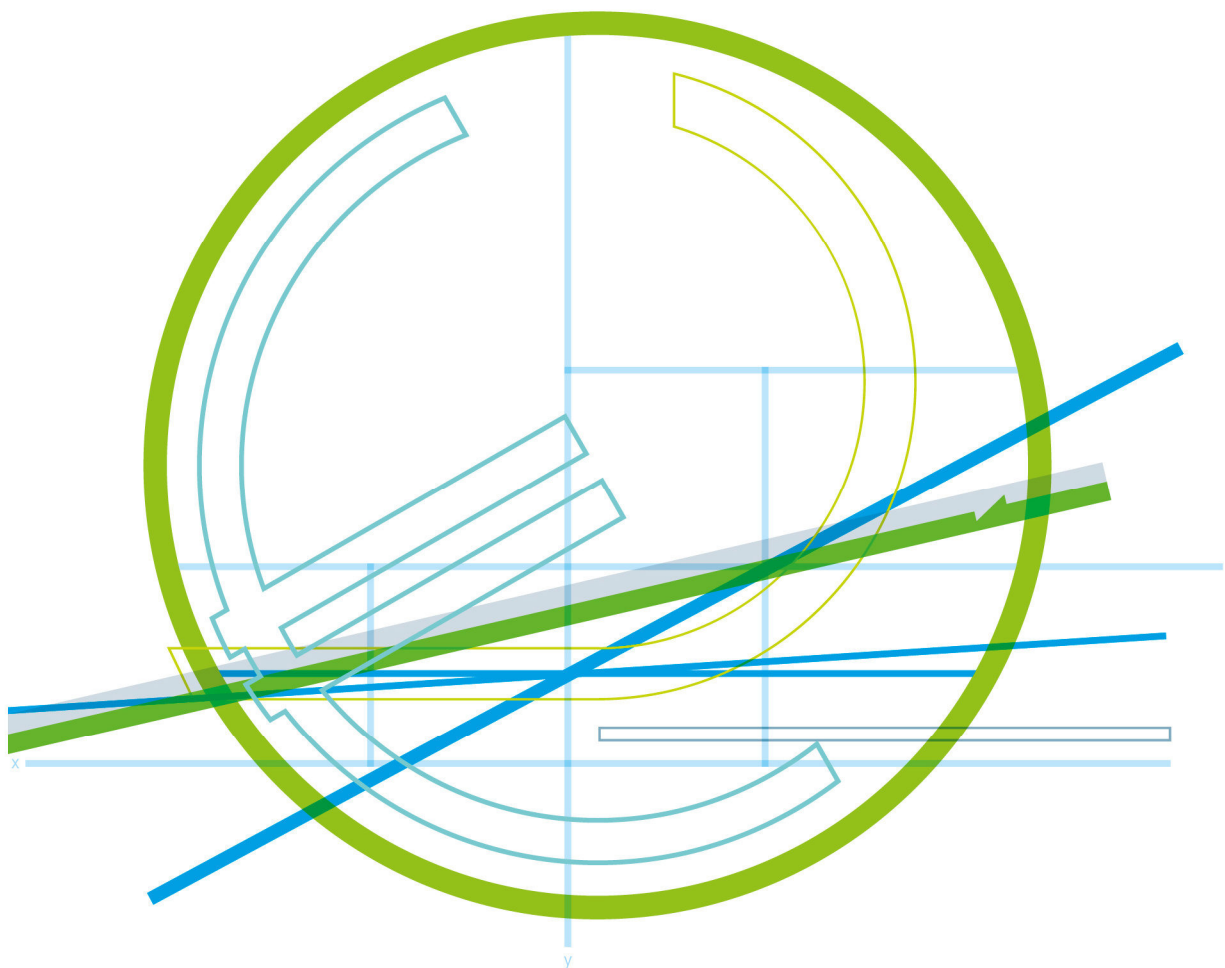


## Transiente regionale Klimamodellerggebnisse für Österreich und die Alpen bis 2100



## VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

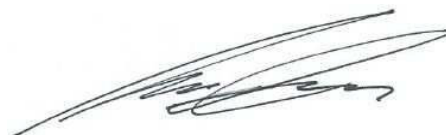
Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage [www.klimafonds.gv.at](http://www.klimafonds.gv.at) zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungsprogramm „ACRP“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, die wissenschaftliche Grundlagen für zunehmend wichtige Entscheidungen hinsichtlich Klimaanpassungsmaßnahmen zu schaffen und somit eine fundierte Entscheidungsbasis für Stakeholder zur Verfügung zu stellen.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!



Theresia Vogel  
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds



Ingmar Höbarth  
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

## **Inhalt**

|  |    |
|--|----|
| 0 Executive Summary .....                  | 3  |
| 1 Einleitung .....                         | 4  |
| Ausgangssituation .....                    | 4  |
| Aufgabestellung .....                      | 5  |
| Schwerpunkte des Projekts .....            | 5  |
| Einordnung in das Programm .....           | 5  |
| Eingesetzte Methoden .....                 | 5  |
| Aufbau der Arbeit .....                    | 7  |
| 2. Inhaltliche Darstellung.....            | 8  |
| 3. Ergebnisse und Schlussfolgerungen ..... | 9  |
| 3.1 Ergebnisse .....                       | 9  |
| 3.2 Schlussfolgerungen.....                | 20 |
| 4. Ausblick.....                           | 21 |
| 5. Literaturverzeichnis: .....             | 23 |
| 6. Anhang.....                             | 27 |

## 0 Executive Summary

### Initial situation

Climate Impact Research, and prevention and adaptation strategies require a highly resolved and detailed climate data base. So far, such sufficiently resolved data were not available for Austria at high resolution and for an appropriate model domain. Thus reclip:century aimed at performing transient climate simulations for the entire century for the Greater Alpine Region (GAR).

### Targets:

In the project reclip:century transient regional climate simulations for the Greater Alpine region were realized till 2050 using different greenhouse gas scenarios. In reclip:century 2 the simulations shall be extended regarding the time range (till 2100) and the greenhouse gas scenarios. The simulations shall serve as an ensemble of regionalized climate scenarios for Austria and the Alps in high resolution and allow an examination of uncertainty ranges. Further uncertainty assessment and results validation shall be carried out and the data shall be provided to the public.

### Methodology, activities:

Regional climate simulations with 10 km grid spacing have been conducted for the Greater Alpine region now till 2100 with two regional models (MM5 and CCLM), applying global climate input from 2 general circulation models (ECHAM5 and HadCM3) as forcing data. Greenhouse gas concentrations from the SRES scenarios A1B, B1 and A2 were the input of the applied GCM scenarios. Further empirical and dynamic downscaling tests have been added for 4 km grid spacing for a 30 year period. Uncertainty assessment and validation were further tasks.

### Results and conclusions of the project

The following transient scenario runs using SRES were carried out in this project:

- CCLM run 2051-2100 driven by ECHAM5 A1B
- CCLM run 2051-2100 driven by ECHAM5 B1
- CCLM run 2001-2100 driven by ECHAM5 A2
- CCLM run 2051-2100 driven by HadCM3 A1B
- MM5 run 2051-2100 driven by ECHAM5 A1B

The CCLM model runs are carried out by partners A (AIT), P2 (WEGC), and P3 (ZAMG). The MM5 model run (Milestone M 2.5) has been carried out by partner P1 (BOKU-Met) with ECHAM5 forcing. Partner P2 (AIT) was the only one working with HadCM3 forcing data (Milestone 2.4) while all others have used ECHAM5 as GCM input.

High resolution simulation and modelling exercises have been conducted for Austria in the following way:

- M 4.1 CCLM 4x4km run 1961-2000 forced by ERA40/CCLM hindcast by ZAMG
- M 4.2 CCLM 4x4km run 2021-2050 forced by 10x10km HADCM3/ CCLM/A1B by AIT
- M 4.3 Quantile mapping of CCLM hindcast (1961-2000) to 1 km resolution by WEGC

Intensive uncertainty assessment has been carried out and related to the results of international scenario carried out in the ENSEMBLES project.

Model results and climate change signal indicators are made available to the public through a data warehouse currently reachable through [http://reclip.ait.ac.at/reclip\\_century/](http://reclip.ait.ac.at/reclip_century/)

The provided data range from hourly, to daily and yearly data. Data for direct download are temperature and precipitation in NetCDF 3 format. The time range can be selected individually.

#### **Outcome:**

Following trends for the Greater Alpine Region (between the periods 1971-2000 and 2071-2100) can be expected for the 4 seasons:

Winter: temperature: +2°C to +3.6°C,  
precipitation: no change slight increase of 10%, scenarios differ slightly.

Spring: temperature: +2.2°C to +3.2°C,  
precipitation: slight decrease up to -9%, slight differences in scenarios.

Summer: temperature: +2.9°C to +5.1°C,  
precipitation: constant loss of -35% to -40%, max. up to -65%, scenarios agree well.

Autumn: temperature: +3.1°C to +4.6°C,  
precipitation: little loss of app. 10%, scenarios agree well.

The results show the expected changes of climate during the coming 100 years in detail. It became clear that the various models deliver different results that have to be carefully investigated and further applied. In best case not one single scenario run shall be used for exposure and climate impact at regional scale but several runs from the reclip:century ensemble, to be aware of the deviations of the results and discuss the uncertainties.

The provided data sets are expected to be transferred to the Climate Data Centre when established in the future. For the future further research is requested to improve the spatial model resolution and to investigate the changes of extreme events in magnitude and frequency. As a new set of greenhouse gas emission scenarios are available this should be applied in further simulation runs to investigate the consequences of the recent greenhouse gas concentration acceleration assumptions.

## **1 Einleitung**

### **Ausgangssituation**

Klimafolgenforschung, Prävention und Anpassung erfordern eine räumlich und zeitlich hoch aufgelöste Klimadatensätze mit bestmöglicher Treffsicherheit für Österreich und den Alpenraum. Bei Einreichung dieses Projekts waren solche Daten mit hoher Auflösung für Österreich nicht verfügbar. Reclip:century hatte deshalb die Durchführung transienter Klimasimulationen bis 2100 für die „Greater Alpine Region“ (GAR) zum Ziel.

## **Aufgabestellung**

Im ersten Projekt reclip:century wurden transiente regionale Klimasimulationen für die „Greater Alpine Region“ mit unterschiedlichen Treibhausgas-Szenarien bis 2050 realisiert. In reclip:century 2 sollte der Zeitbereich der Simulationen bis 2100 erweitert und ein zusätzliches Treibhausgas-Szenario verwendet werden. Die Simulationen sollten damit ein Ensemble von regionalisierten Klimaszenarien für Österreich und die Alpen in hoher Auflösung liefern und weiters ausführliche Unsicherheitsanalysen und Ergebnisvalidierungen ermöglichen und schließlich die Ergebnisse der Öffentlichkeit zur Verfügung stellen.

## **Schwerpunkte des Projekts**

Schwerpunkt des Projektes ist die Durchführung von transienten regionalen Klimasimulationen bis 2100 für den Alpenraum mit unterschiedlichen Treibhausgasszenarien.

Die folgenden 10x10km Simulationen basierend auf den IPCC SRES Szenarien des 4. Assessment Reports (Nakicenovic und Swart, 2000) wurden für den Alpenraum durchgeführt (siehe Methoden) :

- CCLM - Lauf 2051-2100 angetrieben von ECHAM5 A1B
- CCLM - Lauf 2051-2100 angetrieben von ECHAM5 B1
- CCLM - Lauf 2001-2100 angetrieben von ECHAM5 A2
- CCLM - Lauf 2051-2100 angetrieben von HadCM3 A1B
- MM5 - Lauf 2051-2100 von ECHAM5 A1B

Weiters wurden hochaufgelöste Simulationen und statistische Regionalisierungen (4x4km, 1x1km) durchgeführt und die Ergebnisse verglichen.

Am Ende folgte eine Sensitivitätsanalyse sowie eine Unsicherheitsbewertung, sowie die Bereitstellung der Daten mit einem Data Warehouse mit Web-Zugang und Datendownload Funktionalität

## **Einordnung in das Programm**

Das Projekt sitzt im Kern des ACRP Programmes. Es schafft die Datengrundlagen für weitere Klimaforschungs- und Klimafolgenforschungsprojekte und bereitet Analysen auf um den Nutzern Entscheidungsgrundlagen für die Verwendung der Daten und für die Beurteilung ihrer eigenen Ergebnisse zu bieten..

## **Eingesetzte Methoden**

Regionale Klimasimulationen bis 2100 mit 10 km Gitterabstand wurden mit zwei regionalen Modellen (MM5 und CCLM) für die „Greater Alpine Region“ durchgeführt. Als Antrieb dienten 2 globale Modelle (ECHAM5 und HadCM3). Die GCM-Szenarien basierten auf Treibhausgaskonzentrationen der SRES-Szenarien A1B, B1 und A2 (Nakicenovic und Swart, 2000). Weitere statistische und numerische Regionalisierungen wurden für einen 4 km-Raster für einen Zeitraum von 30 Jahren durchgeführt. Eine fundierte Validierung und die Bewertung der Unsicherheiten steht am Ende der Arbeiten.

Die eingesetzten Methoden sind in erster Linie

- numerische Modelle, welche das Klima in diskreten Zeitschritten räumlich explizit in einem regionalen Maßstab simuliert.

Hinzu kommen:

- statistische Verfahren zur Regionalisierung und Datenanalyse,
- Einsatz Geographischer Informationssysteme und Map-Algebra Funktionen zur räumlich expliziten Darstellung von Simulationsergebnissen und zur Berechnung (absoluter sowie relative) Differenzen zur Darstellung der Klimaänderungssignale.

Die Auswahl der Szenarien und Globalmodelle als Antriebsdaten für die regionalen Simulationen erfolgte nach eingehender Prüfung. Sie geht von folgenden Bedingungen aus:

- Es sollen zwei unterschiedliche GCMs verwendet werden,,
- ECHAM5, das bereits in reclip:more (Loibl et al., 2009) verwendet wurde, stand als ein Referenz-GCM fest,
- Das zweite GCM soll im Hinblick auf den zu erwartenden Anstieg der Treibhausgaskonzentration eine höhere Klimasensitivität als ECHAM5 zeigen.

Die zur Diskussion stehenden regionalen Modelle sind das deutsche COSMO-CLM (Böhm et al, 2006; <http://www.clm-community.eu/>) und das US-Modell MM5 (Grell et al, 1993; <http://www.mmm.ucar.edu/mm5/>). Als Antriebsdaten dienen Ergebnisse der Globalen Zirkulationsmodelle (GCM) ECHAM5/MPI-OM ([http://www .mpimet.mpg.de/en/wissenschaft/modelle.html](http://www.mpimet.mpg.de/en/wissenschaft/modelle.html)) und HadCM3 (<http://www.metoffice.gov.uk/climatechange/science/Projektionen/>). Zusätzlich zu den in reclip:century1 verwendeten SRES A1B und B1 Treibhausgas-Szenarien, wurde das A2-Szenario des 4. Sachstandsberichts des Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC angewendet. [Nakicenovic und Swart, 2000, [http://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar4/syr/ar4\\_syr.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar4/syr/ar4_syr.pdf)]. Ferner wurde eine kleine Machbarkeitsstudie für die Entwicklung von Simulationsläufen und statistischer Modellierung mit höherer räumlicher Auflösung durchgeführt. Die Tests beziehen sich auf regionale Klimasimulationen eines hindcast- und eines Szenario-Laufs mit 4x4km Auflösung und auf Quantil Mapping der gerasterten Beobachtungsdaten mit 1x1km Auflösung für Österreich.

Als erste Wahl eines globalen GCM-Datensatzes wird das gekoppelte Atmosphäre-Ozean-GCM Modell (AOGCM) ECHAM5/MPI-OM (mit einer horizontalen Auflösung von T63 - etwa 180 km), verwendet, das eine mittlere Klimasensitivität zeigt.

Die Wahl des zweiten GCM-Datensatzes erfolgte nach einer Analyse aller CMIP3 Datensätze (der globalen Klimaszenarien für den IPCC AR4) über Europa. Dabei wurde die Wahl von ECHAM5 als ersten Datensatz durch seine bessere Performance als andere GCMs bestätigt (Prein, 2009). HadCM3 zeigt sich als Datensatz mit ähnlich guter Performance, obwohl HadCM3 über eine gröbere horizontale Auflösung (T42, ca. 250 km) verfügt. Die HadCM3 Ergebnisse liegen nahe dem Mittelwert des CMIP3 Multi-Modell-Ensembles und zeigen damit einen steileren Temperaturanstieg als jene der ECHAM5/MPI-OM Simulationen (vgl. Abbildung 1). Damit kam das Konsortium überein, die Daten dieses Modells als 2. Antriebsdatensatz zu verwenden.

Für die Hindcast-Läufe mit den RCMs CLM und MM5 wurden ERA40 Daten für den Zeitraum 1961 bis 2000 herangezogen und aufbereitet. Die GCM-Daten für die Control-runs und die Szenario runs wurden in ihrer verfügbaren Auflösung für den Zeitraum 1960 bis 2050 heruntergeladen (ECHAM5/MPI-OM: T63, ~ 180

km; HadCM3: T42, ~ 250 km). ECHAM5/MPI-OM Daten wurden dazu aus der Datenbank CMIP3 der IPCC-Daten Distributionszentrum abgerufen. Der Abruf der Daten HadCM3 erwies sich als schwierig, da am Hadley Center die notwendigen Daten nicht in 6h-iger zeitlicher Auflösung zur Verfügung standen. Schließlich wurden die Daten von AIT von der ETH Zürich bezogen. Als heranzuziehende Treibhausgas-Szenarien A1B und B1 festgelegt. Abbildung 1 zeigt eine Gegenüberstellung von möglichen GCM-RCM-Kombinationen.

Das Ziel hierbei war, durch die hier ausgewählten Szenarioläufe eine Bandbreite an Klimaprojektionen zu erreichen und damit Modellen zu nutzen, die weniger und stärker auf denselben Treibhausgasanstieg (greenhouse gas, GHG) reagieren.

- Als Referenzszenario wurde die GCM/RCM/GHG-Kombination ECHAM5/CCLM – A1B ausgewählt.
- Als alternatives GHG-Szenarios zu A1B wurden B1 und A2 gewählt. Als alternativer A1B-Antriebsdatensatz wird HadCM3 herangezogen, der CCLM antreibt, und somit ein Szenario HadCM3/CCLM-A1B generiert.

Um das Referenzszenario mit einer zweiten RCM-Simulation zu vergleichen, wurde wieder das bereits öfter eingesetzte Regionalmodell MM5 herangezogen, welches, wie auch das Referenzszenario, mit ECHAM5 angetrieben wird: ECHAM5/MM5-A1B.

## **Aufbau der Arbeit**

Das Projekt wurde in 5 operativen Arbeitspaketen durchgeführt:

- WP2 Simulationsläufe: Beschreibung, beispielhafte Karten und Grafiken, Bereitstellung der Datensätze
- WP3 Ergebnisauswertung: Evaluierungsmethodik, Ergebnisse, beispielhafte Karten und Grafiken
- WP4 Beurteilung Unsicherheit: Beurteilungsmethodik, Ergebnisse, beispielhafte Karten und Grafiken.
- WP5 Feasibility Tests - weiteres Downscaling: Methoden, Ergebnisse, beispielhafte Karten und Grafiken.
- WP6 Data-Warehouse für Download der Modellergebnisse: GUI Entwicklung und Bereitstellung von Daten als NetCDF-Dateien und gerasterte Klimawandel Signal-Indikatoren.

Modellergebnisse und Indikatoren für Klimawandelsignale werden der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt und sind durch ein Data Warehouse unter [http://reclip.ait.ac.at/reclip\\_century/](http://reclip.ait.ac.at/reclip_century/) erreichbar

Die zur Verfügung gestellten Daten reichen von stündlichen bis täglichen und jährlichen Werten. Temperatur und Niederschlag können im NetCDF 3-Format direkt heruntergeladen werden. Der Zeitbereich kann individuell gewählt werden. Die Methoden werden im Abschnitt „Ergebnisse“ weiter unten erläutert.

Karten und Tabellen sind im Dokument [reclip\\_century2\\_final\\_appendix\\_A-figures.pdf](#) enthalten und (mit weiteren Abbildungen) als Download verfügbar.



## 2. Inhaltliche Darstellung

### Rahmenbedingungen

Im Projekt reclip: century 1 wurden transiente Simulationen mit 10 km Rasterauflösung für den Alpenraum realisiert. Für die Modell-Validierung wurden dazu erste Simulationen für den Zeitraum 1960 bis 2000 durchgeführt. Anschließend folgten Modellläufe bis 2050 unter Verwendung zweier verschiedener Treibhausgas-Szenarien (A1B und B1) und zweier verschiedener globaler Modelle (ECHAM5 und HadCM3) als Antriebsdaten für zwei regionale Modelle (MM5 und CCLM). Diese Simulationen dienen als ein Ensemble von regionalisierten Klimaszenarien für Österreich und den Alpen in hoher Auflösung und erlauben eine Prüfung der Unsicherheit. Die Arbeit von reclip:century 1 wird in reclip:century 2 für den Zeitraum 2051 bis 2100 fortgesetzt. Das Ensemble wird um ein zusätzliches Szenario (A2) ergänzt, um den Satz der Klimasimulationen zu verbreitern.

### Ziele

Das Endziel des Projektes reclip:century (Research for Climate Protection: Century Model Runs) ist, für die Klimafolgenforschung, durch Einbindung ausreichender Informationen über die Ergebnisunsicherheiten, wissenschaftlich fundierte Datensätze und Indikatoren für Klimawandelsignale für den gesamten Bereich Greater Alpine Region (GAR) und Österreich auf regionaler Ebene anzubieten. Die Szenario-Ergebnisse demonstrieren das Spektrum der Klimaentwicklung auf regionaler Skala aufgrund der unterschiedlichen Treibhausgas-Trends wie sie die IPCC AR4 Szenarien projizieren (Nakicenovic und Swart, 2000). Die Ergebnisse stehen für die weitere Erforschung und Analyse der regionalen Auswirkungen des Klimawandels und für die Entwicklung von Strategien zur Anpassung und Vermeidung dieser Effekte zur Verfügung..

Tabelle 1: Übersicht über die Modellläufe

| reclip:century 2 |           | regional model CLM |                    |           |           |
|------------------|-----------|--------------------|--------------------|-----------|-----------|
| Forcing          | Hindcast  | Control run        | SRES Scenario-runs |           |           |
| ERA40            | 1961-2000 |                    | A1b                | B1        | A2        |
| ECHAM5           | 1961-2000 | 1961-2000          | 2001-2050          | 2001-2050 | 2001-2050 |
|                  |           |                    | 2051-2100          | 2051-2100 | 2051-2100 |
| HADCM3           | 1961-2000 | 1961-2000          | 2001-2050          |           |           |
|                  |           |                    | 2051-2100          |           |           |
|                  |           | regional model MM5 |                    |           |           |
| Forcing          | Hindcast  | Control run        | SRES Scenario-runs |           |           |
| ERA40            | 1961-2000 |                    | A1b                |           |           |
| ECHAM5           | 1961-2000 | 1961-2000          | 2001-2050          |           |           |
|                  |           |                    | 2051-2100          |           |           |

Das Ziel des Projektes reclip:century2 ist es, das regionale Klimasimulations-Ensemble zu ergänzen und zu erweitern. Wie in der ersten Phase des Projekts werden hier - basierend auf Daten aus zwei globalen Klimamodellen - fünf Simulationen mit zwei regionalen Klimamodellen bis zum Jahr 2100 durchgeführt. Die obige Übersicht fasst mit orangen Markierung die abgeschlossen 10x10km Szenarien des reclip:century 2-Projekts zusammen (gelbe Markierungen zeigen die reclip:century1 Aufgaben). Weitere Regionalisierungs-Versuche mit 4 km Auflösung für einen 30 Jahre-Zeitraum erlauben die Beurteilung der Auswirkungen der zunehmenden räumlichen Auflösung auf die Modellergebnisse

Um alle GCM/RCM/GHG-Kombinationen durchzurechnen wären 12 Zukunfts-Simulationsläufe sowie die notwendigen control- und hindcast-Läufe notwendig. Da dies den Zeit- und Kostenrahmen des Projekts gesprengt hätte, wurde eine Auswahl von 5 Zukunfts-Klimasimulationen während zweier Projektphasen bis 2050 und dann bis 2100 durchgeführt. Zusätzlich wurden für die Validierung 2 hindcast-Läufe (mit ERA40-Antrieb) und 3 control-Läufe unter Verwendung von 2 unterschiedlichen GCM-Datensätzen mit 2 RCMs durchgeführt. Derart wurden insgesamt 10 Simulationsläufe 1961-2000 oder 2001-2100 abgeschlossen. Zusätzlich wurden in WP5 Downscaling-Tests mit 4km-Auflösung für die Jahre 2021 bis 2050 durchgeführt, um die Ergebnisse mit den 10x10km Mustern zu vergleichen.

Die Idee hinter der Auswahl der GCM-RCM-GHG-Szenario Kombinationen war folgende:

- Die CCLM-Simulation mit ECHAM5-Antriebsdaten, basierend auf dem Szenario A1B, dient als Referenzszenario.
- Ein MM5-Simulationslauf wird mit ECHAM5/A1B angetrieben um RCM-Effekte bei identischem GCM und GHG-Anstieg zu identifizieren.
- Ein CCLM-Simulationslauf mit HadCM3/A1B-Antrieb erfolgt, um die Auswirkung des GCMs bei identischem RCM und GHG-Anstieg zu erkunden.
- Eine CCLM-Simulation mit ECHAM5-Antrieb für GHG Szenarien A2 und B1 liefert Aufschluss über die GHG-Effekte bei identischem RCM und GCM.

### 3. Ergebnisse und Schlussfolgerungen

#### 3.1 Ergebnisse

##### Simulationsläufe bis 2100

Die Simulationen wurden wie in Tabelle 1 aufgelistet in unterschiedlichen Zeitschritten durchgeführt: Die Simulationen für die EU-Domäne mit 80 sec Intervall (MM5) und 360 sec Intervall (CCLM), diejenigen für die Alpen-Domäne mit 10sec Intervall (MM5) und 80 sec-Intervall (CCLM). Die Daten wurden dann im Stundenintervall als 3D-Felder gespeichert. Tägliche Temperaturmittel (sowie Minimal- und Maximalwerte), Niederschlags-Tagessummen sowie monatliche, saisonale und jährliche Mittel/Summen (bezogen auf 10- oder 30-Jahres-Perioden) und absolute oder relative Unterschiede zwischen den verschiedenen 10- und 30-Jahres-Perioden- wurden berechnet.

Folgende Trends für die Greater Alpine Region (zwischen den Perioden 1971 bis 2000 und 2071 bis 2100) sind für die 4 Jahreszeiten zu erwarten:

Winter: Temperatur: +2 ° C bis +3,6 ° C,

Niederschlag: keine Änderung bis leichter Anstieg von 10%, Szenarien unterscheiden sich leicht.

Frühling: Temperatur: 2,2 ° C bis 3,2 ° C,

Niederschlag: leichter Rückgang bis -9%, geringe Unterschiede in Szenarien.

Sommer: Temperatur: 2,9 ° C bis 5,1 ° C,

Niederschlag: konstanter Verlust von -35% bis -40%, max. bis zu -65%, Szenarien stimmen gut überein.

Herbst: Temperatur: 3,1 ° C bis 4,6 ° C,

Niederschlag: geringer Verlust von ca. 10%, Szenarien stimmen gut überein.

Die Ergebnisse zeigen detailliert die zu erwartenden Veränderungen des Klimas während der kommenden 100 Jahre. Es ist ersichtlich, dass die verschiedenen Modelle zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen, die für weitere Anwendungen sorgfältig untersucht werden müssen. In besten Fall wird nicht ein einziges Szenario Lauf für die Klima Auswirkungen auf regionaler Ebene eingesetzt, sondern mehrere Läufe aus dem reclip:century Ensemble, um sich der Abweichungen der Ergebnisse und Unsicherheiten bewusst zu sein.

Die zur Verfügung gestellten Datensätze werden voraussichtlich in das zukünftige Climate Data Centre übertragen werden.

***Alle Karten und Tabellen sind im Anhang zum Bericht: reclip\_century2\_final\_Appendix\_A-figures.pdf enthalten und auf der Projekt-Homepage zusätzlich als hochaufgelöste Images verfügbar. Die Abbildungsnummern im Bericht beziehen sich auf jene im Anhang.***

Abb.1 und 2 zeigen die 30-Jahres-Mittelwerte für Temperatur und Niederschlags-Summen 1971/2000, 2021/2050 und 2071/2100 für zwei Szenarien A1B. Abb. 3 und 4 enthalten die Kartendarstellung der Klimawandel-Signale jeweils als Differenzkarten der jährlichen Mittelwerte zwischen der 30-Jahres-Perioden 1971/2000 und 2021/2050 und 2071/2100 (Temperatur in ° C, Niederschlag in Prozent) für alle vorliegenden reclip: century Szenarien. Weitere Differenzkarten für die Winter-und Sommersaison sind in Abb. 5 bis 8. dargestellt. Karten aller saisonalen mittleren Temperatur und Niederschlagsdaten für die 30-Jahres-Zeitraum 1971/2000 und 2071/2100 (12 Übersichten mit jeweils 8 Karten) sind im Anhang enthalten.

Die Ergebnisse aus transienten ECHAM5- und HadCM3-angetriebenen CCLM Klimasimulationen (beide auf A1B basierend) sowie der ECHAM5 angetriebenen CCLM Simulation für das A2-Szenario, zeigen bis zum Ende des 21. Jahrhunderts eine hohe Zunahme der 2m-Temperaturen in der „Greater Alpine Region“ (GAR). Die höchste Temperaturerhöhung treten in der Regel im Sommer auf und lassen in der GAR eine durchschnittliche Zunahme von 4,3 ° C (HadCM3/A1B), 4,5 ° C (ECHAM5/A1B) und 5 ° C (ECHAM5/A2) erwarten. Der Anstieg der Temperatur variiert entlang eines Nord-Süd-Gradienten und ist in höheren

Lagen stärker ausgeprägt. Auf einen Blick zeigen diese Simulationen positive Temperaturtrends zwischen 0,66 °C / Dekade (A2, Sommer) und 0,18 °C / Dekade (B1, Winter). Die zugrunde liegenden Simulationen stellen eine Fortsetzung der Simulation in reclip:century 1 dar. Doch zeigen die Modellläufe für die Szenarien B1 und A2 ganz unerwartete Ergebnisse - der B1-Szenariolauf zeigt keine reduzierte Temperaturzunahme bis 2050 und ist teilweise wärmer als die A1B Szenario-Ergebnisse. Andererseits zeigt das Extrem-Szenario A2 in den späten Jahrzehnten des 21. Jahrhunderts nur leicht höhere Temperaturen als die A1B-Szenario-Läufe. Auch das ECHAM5/A1B Szenario, das bis zu den 2050er Jahren deutlich kühler ist, überholt gegen Ende des 21. Jahrhunderts - außer im Herbst - das wärmere HadCM3/A1B Szenario.

### **Zeitliche Variation von Temperatur und Niederschlag im 21. Jahrhundert**

Der stetige Wechsel der Klima-Signale bis 2100 ist im Anhang A dargestellt (Abb. 9 und 10); die Trends sind ziemlich deutlich und ähneln einander.

#### **Temperatur:**

Alle Szenarien zeigen - als Flächenmittel - die stärkste saisonale Temperaturerhöhung im Sommer oder Herbst (+3 °C bis +4,6 °C), während die Temperaturerhöhung im Frühling und Winter um 1 °C darunter liegt. Wie erwartet zeigt das B1-Szenario den niedrigsten und das A2-Szenario den höchsten Anstieg. Die unterschiedlichen Trends der Veränderung sind erst ab den 2050er Jahren ausgeprägt: Alle mittleren saisonalen Temperaturwerte zeigen ab dann einen steileren Anstieg. Bei den maximalen Temperaturerhöhungen treten keine Verschiebungen zwischen den Jahreszeiten auf.

#### **Niederschlag:**

Beim Niederschlag ist die Situation komplexer. In den meisten Jahreszeiten unterscheiden sich die Änderungssignale zwischen den verschiedenen Szenarien:

- Alle Simulationsläufe zeigen eine deutliche Abnahme des Sommerniederschlags. Die (relativen) Änderungsraten nehmen in der 2. Hälfte des Jahrhunderts zu: der Rückgang des Niederschlags steigt stetig an und erreicht bis 2100 -25% (B1-Szenario) bis -40% (Szenario A2). Die beiden A1B-Szenarien zeigen ähnliche Tendenzen (-35%).
- Für den Herbstniederschlag zeigen die meisten Szenarien (mit Ausnahme des per HadCM3 angetriebenen Szenarios) ähnliche, aber weniger ausgeprägte Abnahmeraten, die stetig zunehmen und bis zu -10% und mehr erreichen. Während der 2051/2080 Periode kann ein noch stärker ausgeprägter Rückgang erwartet werden.
- Die Niederschlagsänderungen für Winter und Frühjahr wechseln über die Jahrzehnte zwischen positiv und negativ:
  - Die ECHAM5-getriebene A1B Simulation zeigt gegen Ende des Jahrhunderts eine Zunahme der Niederschläge im Winter von +5% bis +10% und eine Zunahme des Frühlingniederschlags in der Mitte des Jahrhunderts.

- Die B1 Simulation lässt rund um die 2070-Dekade eine geringe Zunahme des Frühjahrsniederschlags erwarten sowie in der Mitte des Jahrhunderts eine Abnahme der Niederschläge im Winter.
- Die A2 Simulation prognostiziert einen leichten Anstieg der Frühjahrsniederschläge und einen leichten Rückgang der Niederschläge im Winter.
- Im Gegensatz dazu zeigt die HadCM3/A1B-Simulation einen leichten Rückgang des Niederschlags im Frühling.

### **Temperaturänderung bis 2100:**

Vor allem im Sommer und Herbst kann eine deutliche Temperaturerhöhung in der gesamten Region mit etwas höheren Werten südlich der Alpen erwartet werden. Während die HadCM3/A1B/CCLM- und ECHAM5/A1B/CCLM-Simulationen ganz ähnliche Änderungssignale (climate change signals = CCS) zeigen, erzeugt das ECHAM5/A2-Szenario mit bis zu +5 °C die höchsten Signale in allen Jahreszeiten. In allen Jahreszeiten treten die größten Unterschiede zwischen dem ECHAM5/B1-Szenario und alle anderen Simulationen auf. Der Vergleich zwischen den verschiedenen Szenarien zeigt eine robuste Erwärmung in allen Jahreszeiten, die im Sommer und Herbst am stärksten ausgeprägt ist.

### **Niederschlagsänderung bis 2100:**

Alle vier präsentierten reclip:century 2 - Simulationen zeigen negative Signale im Sommer mit der größten Veränderungen in der ECHAM5/CCLM/A2-Simulation. Auch die Änderungen in den anderen Jahreszeiten - außer im Winter - zeigen in den meisten Regionen negative Trends, da aber die Signale eher klein sind, sind sie mit großen Unsicherheiten behaftet. Der Ensemble-Mittelwert zeigt eine deutliche Wirkung der Alpen auf die räumliche Verteilung des Klimawandelsignals, mit einem Anstieg der Niederschläge nördlich der Alpen im Frühjahr, Sommer und Herbst, und mit einem Rückgang in westlichen Teilen südlichen der Alpen.

- |           |   |
|-----------|---|
| Winter:   | Temperatur: +1,8 °C bis +4,3 °C, wärmer im Norden und Osten<br>Niederschlag: von leichtem Anstieg bis zu +15% (Ost und Süd) bis zu -22% (Ost) je nach ..... Szenario.   |
| Frühling: | Temperatur: +2,4 °C bis +4,2 °C, wärmer in den Westen und in höheren Lagen<br>Niederschlag: Süden -15%, Norden +15% bis -15% je nach Szenario   |
| Sommer:   | Temperatur: +2,5 °C bis +4,6 °C, wärmer im Westen und Süden<br>Niederschlag: deutliche Verluste in allen Szenarien von -20% bis -40%, weniger in höheren Lagen, bis zu -65% im Osten und Südosten des Landes. |
| Herbst:   | Temperatur: +3,0 °C bis +5,7 °C, wärmer in den Westen und in höheren Lagen<br>Niederschlag: Rückgang von ca. -25% im Süden, keine Änderungen im Norden, außer in Szenario HadCM3/A1B (-10% bis -30%).         |

### **Unsicherheitsbewertung**

Dieses Arbeitspaket verfolgt 2 Ziele. Die Evaluierung der angewandten Regionalmodelle (BOKU-Met) und die Unsicherheitsanalyse der Klimasimulationen (WEGC).

Ziel 1 – die Evaluierung der Performance der Regionalmodelle erfolgte anhand der vergleichenden Analyse der mit ERA40-Reanalysedaten angetrieben hindcast-Läufe und der control-Läufe (ECHAM5 und HadCM3). Für die Validierung der Oberflächentemperatur und des Niederschlags werden die Ergebnisse der RCMs mit verschiedenen gerasterten Beobachtungsdaten verglichen:

- Der globale gerasterte CRU-Datensatz Version TS 2.1 (0.5° x 0.5° Auflösung) bezieht sich auf Monitoring Daten einer großen Anzahl von Stationen für den Zeitraum 1901 bis 2002, mit Monatsmitteln der Temperatur (Mittelwert, min, max), des Niederschlags, usw. (Mitchell & Jones, 2005).
- E-OBS ist ein europäischer gerasterter Datensatz (nur für Landflächen) mit täglichen Werten für Niederschlag und Temperatur (Mittelwert, min, max) für den Zeitraum 1950 bis 2006 in vier räumlichen Auflösungen (Haylock et al., 2008).
- Der ETHZ-Datensatz enthält gerasterte Tagesniederschläge (10'x10'Auflösung) für den Alpenraum für den Zeitraum 1971 bis 1999 (Frei & Schär, 1998).
- HISTALP basiert auf homogenisierten Station und bietet gerasterte monatliche Temperaturmittelwerte im Zeitraum von 1800 - 2003 mit einer Auflösung von 0,08 °, zwischen 4° und 19° E und 43° und 49° N (Chimani et al, 2011).
- Der gerasterte StartClim-Datensatz umfasst Monatsmittel der Temperatur (Mittelwert, min, max), Niederschlag und Schneehöhe und deckt Österreich mit einer räumlichen Auflösung von 1 km ab (Schöner & Dos Santos Cardoso, 2004) und basiert auf StartClim Beobachtungsdaten von 71 österreichischen Messstellen für den Zeitraum 1948 bis 2002 (Schöner et al., 2003).
- Stationsdaten der täglichen Globalstrahlung für ganz Europa, für den Zeitraum 1964-2008 (Quelle: World Radiation Data Centre; <http://wrdc-mgo.nrel.gov/>).

### Temperatur

Hier wurden alle Datensätze, unter Berücksichtigung eines konstanten Höhengradienten für Temperatur von 0.0065 K/m, auf das rotierte CCLM-Gitter interpoliert. Räumliche Analysen der Indikatoren wie der relative Bias und zeitliche und räumliche Korrelationen wurden für verschiedene Saison berechnet. Weiters wurde ein Skill-Score aus BIAS Skill-Score und dem Fischer Skill-Score verwendet, um die Gesamt-Performance der Modelle zu bewerten.

Tiefer gehende Analysen beziehen sich, abhängig von Simulation und untersuchter Domäne, auf Teilbereiche - entweder Europa oder GAR. Um die Plausibilität des Modells in der GAR zu prüfen, beziehen sich die Analysen sowohl auf die gesamte Domäne, als auch auf vier Teilregionen - Nordwest (NW), Nordost (NE), Südwest (SW) und Südost (SE) - auf der Grundlage einer Hauptkomponenten-Analyse der HISTALP Monitoring-Daten. Für Österreich wurden weiterführende Auswertungen für 7 klimatologische Teilregionen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Anders et al. (2011) beschrieben. Hier bringen wir einen Teil der Analysen für die GAR-Ergebnisse (mehr ist in der englischen Fassung des Berichts und .im Kartenanhang zu finden)

Die jährlichen Zyklen der von den verschiedenen RCM-GCM-Kombinationen simulierten mittleren Temperaturen, wurden mit dem auf die GAR Region bezogenen HISTALP Datensatz von Frei & Schär (1998) verglichen (Anhang A, Abbildung 15). Das allgemeine Verhalten der Modelle in den vier Teilregionen ist in etwa gleich. Die Ergebnisse aus der hindcast-Läufe mit MM5 zeigen eine Überschätzung der mittleren Temperatur in den Wintermonaten von bis zu +4,2 °C und einer Unterschätzung im Sommer um -2,3 °C. Der Bias im Winter ist in den südlichen Regionen größer als in den nördlichen. Die Ergebnisse aus den HadCM3-getriebenen control-Läufe mit CCLM zeigen ein anderes Bild. Hier können wir eine Unterschätzung der Winter Temperatur von -2 °C und eine Überschätzung +3 °C im Sommer erkennen. Die Überschätzung der Sommertemperatur ist in den südlichen Regionen größer als in den nördlichen. Auch in den Ergebnissen des CCLM hindcast-Laufs kann ein jährlicher Zyklus des Bias der mittleren Temperatur beobachtet werden. Die Größe dieses Zyklus ist kleiner als in den bereits beschrieben Simulationen. Auch dieser jährliche Zyklus ist in den südlichen Regionen größer, was von den höheren Bias-Werten in den Sommer- und Wintermonaten verursacht wird. Die geringste Variation der jährlichen Zyklen des Bias finden wir beim CCLM-ECHAM5 control-Lauf. Der Bias ist in allen Jahreszeiten ziemlich konstant, liegt zwischen 0 °C und -2 °C und ist in der Regel für alle Monate negativ. Der Bias der Standardabweichung in den verschiedenen Jahreszeiten normiert auf HISTALP ist in Anhang A, Abbildung 15 dargestellt. Im Vergleich zu den HISTALP-Daten überschätzen alle Simulationen die Variabilität im Winter und im Sommer. MM5 zeigt eine kleine Unterschätzung in der Po-Ebene und den nördlichen Apennin im Frühjahr und Herbst, alle anderen Simulationen zeigen eine allgemeine Überschätzung. MM5-Ergebnisse (siehe Evaluierungsbericht B2 für die Temperatur) zeigen eine Unterschätzung in allen Jahreszeiten und fast über die gesamte Domäne. Der CCLM/ECHAM5-control Lauf zeigt im Winter im nördlichen Teil der Domäne einen negativen Bias. Dieser Bias wird im Frühjahr und Sommer kleiner.

Die mittlere Temperaturverteilung wurde mit den Beobachtungen verglichen: Im Herbst und Frühjahr reproduzieren die RCMs die beobachtete Verteilung von CRU und E-OBS recht gut. Abweichungen können im Winter und im Sommer beobachtet werden. Die MM5 Simulation zeigt im Winter eine Verschiebung der maximal auftretenden Temperaturen hin zu positiven Werten. Im Sommer dagegen tritt eine Verschiebung hin zu niedrigeren Temperaturen als den beobachteten auf. Für die CCLM-Simulationen führt der Kalt-Bias zu einer flacheren und breiteren Verteilung.

Die Korrelation zwischen der saisonalen Mitteltemperatur simuliert durch die zwei regionalen Klimamodelle und den gerasterten HISTALP Beobachtungen ist in Anhang A, Abbildung 17 dargestellt. Für CCLM ist die Korrelation ein wenig geringer als für MM5. Im Winter und Frühling korrelieren die Temperaturen am besten (0,6 - 0,95), im Sommer liegt der  $r^2$  zwischen 0,4 und 0,8. Für CCLM-Ergebnisse ist im Winter die Korrelation über den Alpenhauptkamm kleiner als für die Niederungen. Im Sommer ist dieses Verhältnis umgekehrt: Die Temperatur in den Bergregionen korreliert mit den Beobachtungen viel stärker als in den Niederungen.

### **Niederschlag**

Um den täglichen Niederschlag in der Europäischen Domäne zu vergleichen, wurden alle Daten mit konservativen Remapping (Jones, 1998) auf den E-OBS-Raster skaliert. Für die Analysen im Alpenraum

wurde der ETHZ-Datensatz verwendet und alle Felder wurden auf den ETHZ-Raster bezogen. Hier werden nur die Ergebnisse für die alpinen Regionen gezeigt.

Der Antrieb von CCLM mit GCM Feldern führt in der Regel zu einer Zunahme der Niederschläge (Anhang A, Abbildung 18, untere zwei Abbildungen). Im Winter erhöht sich der Bias von 42% in den hindcast-Läufen auf 70% im HadCM3-Lauf und auf 88% im ECHAM5-Lauf. Im Frühjahr ist der von ECHAM5 angetriebene Lauf viel zu nass (50%), der von HadCM3 angetriebene zeigt im räumlichen Durchschnitt keinen ausgeprägten Bias (3%), überschätzt aber die Niederschläge entlang des Alpenhauptkamms und unterschätzt sie in den südlichen und östlichen Teil der Region. Im Sommer ist der ECHAM5-Lauf entlang und nördlich des Alpenhauptkamms zu nass, südlich davon jedoch zu trocken. Der HadCM3-Lauf erweist sich als zu feucht (51%). Im Herbst zeigen beide Läufe ganz ähnliche Bias-Muster – zu feucht entlang und nördlich des Alpenhauptkamms und zu trocken im Süden. Die auf täglichen Niederschlägen basierenden Indizes für den Alpenraum und den vier Teilregionen geben das Verhältnis zwischen den modellierten und den beobachteten Werten an (Anhang A, Abbildung 19).

Für den Sommerniederschlag zeigen die CCLM Simulationen eine schwache Überschätzung der durchschnittlichen Mengen (Mittelwert und Frequenz) und eine gute Übereinstimmung aller anderen Indizes mit Ausnahme einer Überschätzung der Regentage mit mehr als 20 mm Niederschlag pro Tag (n20). Diese Überschätzung erreicht im nord-westlichen Teil der Alpen bis zu 60%. MM5 zeigt eine stärkere Überschätzung der durchschnittlichen Mengen und eine schwache Unterschätzung der meisten anderen Indizes. MM5 zeigt auch eine Überschätzung der n20 mit einem Maximum von 30% in der Region Nord-Ost. Für das Winterhalbjahr zeigen beide Modelle eine Überschätzung der durchschnittlichen Mengen und MM5 auch für n20. Alle anderen Indizes zeigen eine gute Übereinstimmung oder eine leichte Unterschätzung.

Im Sommerhalbjahr zeigen die Indizes für die control-Läufe ähnliche Ergebnisse wie die hindcast-Läufe. Im Winterhalbjahr erhöhen sich aufgrund der Zunahme der Niederschläge in Simulationen mit GCM-Antrieb die Bias der Durchschnittsmengen auf Werte von 1,6. MM5 zeigt zusätzlich einen enormen Anstieg der maximalen 1- und 3-Tage Niederschläge, der in den CCLM Simulationen nicht beobachtet wird.

### **Strahlung**

Die Evaluierung der Strahlungs-Modellergebnisse erfolgt anhand von Stationsdaten. Der relative Bias der jährlichen Globalstrahlung der hindcast-Simulationen ist in Anhang A, Abbildung 20 dargestellt. Neben den beiden regionalen Modellen in reclip: century werden drei Mitglieder des EU ENSEMBLES-Projekts gezeigt, um die Fähigkeiten von "state of the art" RCMs aufzuzeigen.

Im Allgemeinen zeigen die MM5 Modellergebnisse eine leichte bis mäßige Unterschätzung (5 bis 10%) nördlich der Alpen, eine mäßige bis starke Unterschätzung (10-25%) im westlichen Teil der Alpen und eine gute Übereinstimmung mit leichter Überschätzung auf der Ostseite der Alpen.

CCLM Ergebnisse zeigen eine leichte bis mäßige (5 bis 10%) Unterschätzung im östlichen Teil der Alpen, eine mäßige bis starke Unterschätzung (10-25%) im westlichen Teil und einer Überschätzung nördlich der Alpen.



Darüber hinaus wurden die Ergebnisse mit den Projektionen des EU FP6 Integrated Project ENSEMBLES (<http://www.en-sembles-eu.org/>), verglichen. Im Allgemeinen zeigen die ENSEMBLES Modelle eine Überschätzung der Strahlung in der Alpenregion. Die höchsten finden sich im ALADIN-Lauf in der westlichen und nördlichen Region, wo die Überschätzung mehr als 25% erreicht.

Im Winter zeigt MM5 eine gute Übereinstimmung mit der Häufigkeitsverteilung der täglichen Strahlung für die Station Wien Hohe Warte. Die meisten Modelle einschließlich CCLM unterschätzen die Tage mit sehr wenig Strahlung.

Im Frühjahr und Sommer zeigt MM5 eine Überschätzung der Tage mit klarem Himmel, CCLM dagegen eine Unterschätzung. In der Häufigkeitsverteilung zeigt CCLM eine Verschiebung zu niedrigerer Strahlung.

Im Herbst zeigt MM5 eine gute Übereinstimmung in der Frequenz der Tage mit sehr niedriger Strahlung, aber eine Überschätzung der Tage mit klarem Himmel. CCLM zeigt eine Unterschätzung der Tage mit sehr geringer Strahlung und eine Überschätzung der Tage mit niedriger Strahlung.

Von den ENSEMBLES Modellen zeigt nur REMO gute Fähigkeiten die Strahlungsverteilung in Wien widerzugeben. RegCM3 überschätzt im Allgemeinen den wolkenlosen Himmel und ALADIN unterschätzt Tage mit sehr geringer Strahlung. Es scheint, dass alle Modelle in allen Jahreszeiten einige Probleme haben, die Strahlungssituation in Wien zu reproduzieren. Nur REMO und MM5 scheinen die Häufigkeit von Tagen mit Nebel oder niedrigen Stratos-Wolken im Wiener Becken richtig zu reproduzieren. Auf der anderen Seite liefert CCLM eine bessere Darstellung der konvektiven Wolken im Sommerhalbjahr.

### **Unsicherheitsbewertung:**

Dazu werden die Unsicherheiten durch die Analyse eines Ensembles von regionalen Klimasimulationen, die ein ausreichendes Sample der verschiedenen Quellen der Unsicherheit darstellen, beurteilt. Die Unsicherheit der hochauflösenden 10km-Klimasimulationen für GAR in den Projekten reclip:century 1. (Loibl et al 2011.) und reclip:century 2 wurden ebenfalls mit den Projektionen des EU FP6 Integrated Project ENSEMBLES (<http://www.en-sembles-eu.org/>), verglichen.

Basierend auf Varianz-Dekompositionsmethoden (DEQUE et al., 2007), eingebettet in einer Analyse der Varianz (ANOVA), wurden die Unsicherheiten der Schlüsselvariablen für Klimafolgenforschung wie z.B. Lufttemperatur, Niederschlag, Globalstrahlung, relative Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit in verschiedenen alpinen Teilbereichen (HISTALP Regionen) bis zum Ende des 21. Jahrhunderts untersucht und mit dem Gesamt-Ensemble des ENSEMBLES-Projekts verglichen. Die CCSs wurden als Unterschiede zwischen zwei 30 Jahre-Perioden berechnet: 1961 bis 1990 als Bezugszeitraum und von 2021 bis 2050 oder 2069 bis 2098 als künftiger Zeitraum. Beachten Sie, dass die zukünftigen Perioden durch die Verfügbarkeit der treibenden GCM-Daten am Ende des 21. Jahrhunderts definiert wurden.

Diese ENSEMBLES-basierte Analysen ermöglichte auch allgemeinere Aussagen über die Auswirkungen des Klimawandels in der GAR und ihren Sub-Regionen. So wird sich zum Beispiel die Temperatur im Durchschnitt um 3,3 °C mit einem Inter-Quantil Bereich (Differenz zwischen Q.90 und Q.10) von 3,0 °C

erhöhen. Die wichtigsten Schlussfolgerungen sind in Abschnitt 2.2.4 zu finden. Detaillierte Ergebnisse finden sich in Heinrich et al. (2012b).

Da jedoch die RCMs in ENSEMBLES von einer begrenzten Anzahl von GCMs angetrieben wurden, müssen die abgeleiteten CCSs als verfälscht angesehen werden. Es stellt sich daher die Frage, wie die begrenzte Anzahl von GCMs die aus dem Ensemble des ENSEMBLES-Projekts abgeleitete Unsicherheit der Klimawandelsignale beeinflusst. Um diese Frage zu untersuchen, wurden die Unsicherheit der GCM-Projektionen des vollen CMIP3-Ensembles (Meehl et al., 2007) berücksichtigt, um den GCM-Sampling-Bias in der zugehörigen Unsicherheit der Projektionen des ENSEMBLES-Projekts zu kompensieren. Dabei wurden fehlende Elemente des Gesamtsystems GCM-RCM Matrix rekonstruiert. Eingebettet in eine leave-one-out-Kreuzvalidierung, wurden verschiedene Rekonstruktionsmethoden zur Auffüllen fehlender Werte in der GCM-RCM Matrix getestet. Statistisch signifikante Abweichungen vom ursprünglichen ENSEMBLES-Ensemble und dem erweiterten Ensemble wurden durch einen Fligner-Killeen Test identifiziert. Aus dieser Analyse kann der Schluss gezogen werden, dass das ENSEMBLES-Ensemble keinen wesentlichen Bias aufweist und dass die Unsicherheit nicht aufgrund der GCM-Auswahl unterschätzt wird. Detaillierte Ergebnisse werden derzeit veröffentlicht und können in Heinrich et al. (2012) nachgelesen werden.

## **Weiteres hochauflösendes Downscaling**

### **Numerisches Downscaling des hindcast-Laufs:**

#### **4x4km CCLM Simulation 1961-2000 basierend auf ERA40 10x10km Antrieb**

Im ACRP finanzierten Projekt DISTURBANCE wurden die reclip:century Simulationsergebnisse für den GAR als Antrieb für eine weitere Simulation verwendet, die Österreich mit einer horizontalen Auflösung von 4x4 km abdeckt und von ZAMG durchgeführt wurde. Innerhalb reclip:century 2 wurde in einem ersten Schritt der Modell-Output der 10x10km aufgelösten Berechnung für die Verwendung als Antrieb der höher aufgelösten Berechnung vorbereitet. Danach wurden die Ergebnisse der 4x4 km-Simulation für die meteorologischen Variablen Temperatur und Niederschlag nachbearbeitet. Um die Frage zu beantworten, ob es einen Mehrwert für die Durchführung Klimasimulationen in hoher räumlicher Auflösung anstelle der Verwendung von Ergebnissen aus Simulation bei einem gröberen Raster gibt, wurden die Ergebnisse der 4x4km-Simulation mit den 10x10km-Daten verglichen.

Der Vergleich des relativen Bias des Gesamtniederschlags der hoch- und niedrig aufgelösten Simulation kann in Anhang A, Abbildung 25 gefunden werden. Ähnlich wie bei den Ergebnissen für die Temperatur ist der in der 10x10km Simulation beobachtete Bias in der 4x4km Simulationsergebnisse höher aufgelöst. Im Sommer Niederschlag wurde der Trocken-Bias mit der höheren Auflösung in den südlichen Teilen von Österreich größer. Detailliertere Ergebnisse für spezifische Teilbereiche sind in Anhang A, Tabellen 3, 4 und 5 aufgeführt. Der Temperatur-Bias ist in der höher aufgelösten Simulation (teilweise signifikant) kleiner für das ganze Jahr, vor allem aber im Herbst und Winter. Im Frühjahr und Sommer ist das Bild unterschiedlich. Für den Niederschlag kann kein Mehrwert für die eine oder andere Lösung gefunden werden. Im Winter scheint der Bias der bei 10x10km Auflösung verglichen mit den 4x4km-Ergebnissen in allen Regionen kleiner zu sein. Im Frühjahr ist es umgekehrt, aber die Unterschiede zwischen den beiden

Auflösungen sind in der Regel klein. Die Diagramme des jährlichen Zyklus der Tagesmitteltemperatur und des Niederschlags als Mittelwert der verschiedenen Teilbereiche kann in Anhang A, Abbildung 26 gefunden werden. Die Ergebnisse für die Temperatur spiegeln die in Tabelle 3 zusammengefassten Ergebnisse wieder. Der etwas kleinere Bias während der Wintermonate in den Ergebnissen der 4x4-km-CCLM-Simulation ist deutlich sichtbar. Im Sommer zeigen die Ergebnisse der Simulationen keinen klaren Unterschied. Für Regionen über 1500m unterschätzen die Simulationen die Temperatur das ganze Jahr über. Ein Grund dafür könnte die Schneedecke im Winter und Frühjahr sein.

Der jährliche Zyklus des täglichen mittleren Niederschlags wird für die verschiedenen Teilbereiche in Anhang A, Abbildung 27 dargestellt. In den westlichen und höher gelegenen Regionen überschätzt das Modell die Niederschläge während des ganzen Jahres. Die Ergebnisse für den Norden von Österreich passen sehr gut für beide räumlichen Auflösungen und der Bias ist klein. Die südöstliche Region und die Zentralalpen zeigen keinen Mehrwert der höher aufgelösten Simulation.

### **Numerisches Downscaling eines Szenarios**

#### **4x4km CCLM Simulation 2021-2050 basierend auf 10x10km HadCM3/CCLM/A1B Antrieb**

Ähnlich dem Downscaling der hindcast-Simulation wurde von AIT eine 4x4km Simulation angetrieben von HadCM3/CCLM/A1B 10x10km Simulationsergebnissen für einen Zeitraum von 30 Jahren durchgeführt. Eine Analyse der Ergebnisse wurde für die sieben reclip:century Klimaregionen durchgeführt um die 4x4km Simulation mit den 10x10km Ergebnisse zu vergleichen. Im Allgemeinen bleiben die Muster unverändert. Aufgrund der höheren Auflösung des zugrunde gelegten Geländemodells ist jedoch die 4x4km Simulation detaillierter und zeigt bereits Effekte wie Inseln hoher Temperatur, Einfluss von Gewässern und Gelände auf Temperatur sowie orographisch beeinflussten Niederschlag. Die Niederschlagsverteilung (jährliche Summen) in der 4x4km Karte ermöglicht es, Auswirkungen von größeren Tälern und Bergrücken zu identifizieren, während die 10x10km Ergebnisse ein grobes, allgemein höheres Niederschlagsmuster entlang des Alpenhauptkamms ohne Details zeigen. Bei der Temperatur ist die Situation ähnlich, auch wenn hier der Höheneinfluss bis zu einem gewissen Grad in beiden Auflösungen beobachtet werden kann.

Der Vergleich von Temperatur-Extremereignissen des 4x4 und 10x10km Ergebnisse für 2021 bis 2050 bringt überraschende Ergebnisse: Die 10x10km Simulation "liefert" im Vergleich mit der 4x4-Simulation für fast alle Regionen mehr – oder zu mindestens die gleiche Anzahl von – Tagen mit extremen Temperatur Ereignissen. Der Grund dafür ist unklar. Es könnte sein, dass die höhere Auflösung für das Gelände, die Landnutzung und das Bodenmodell für die 4x4km Simulation stärkere Variationen mit unterschiedlichen Auswirkungen auf die Temperaturregimes hervorbringen. Im Gegensatz zu den Temperaturergebnissen zeigt der höher aufgelöste Niederschlag einen gegenteiligen Trend: während der meisten Monate können nur geringe Unterschiede des Gesamtniederschlag beobachtet werden. Im Sommer (Juli) liegen die 4x4km Niederschlagsresultate in den westlichen und südlichen Regionen (Regionen 4-7) leicht unter den 10x10km Ergebnissen. Der Grund dafür ist unklar, es könnte jedoch sein, dass Terrain-Effekte wie Staulagen während der Jahreszeiten mit höherem advektivem Niederschlag

höhere Auswirkungen zeigen. Detaillierte Untersuchungen könnten Antworten für die unterschiedlichen Auswirkungen der höheren Auflösung liefern, würden aber den Rahmen dieser Arbeit sprengen und sind daher in dieser Studie nicht abgedeckt.

### **1x1km Quantile-Mapping der ERA-40 angetriebenen 10x10km CCLM hindcast-Simulation (3)**

Hier wurde die Machbarkeit der Quantil-Mapping (QM: ein verbreitete Methode in Klimafolgen-Studien für die Bias-Korrektur) als statistische Downscaling Methode vom Wegener Zentrum untersucht. Bereits in reclip:more wurden auf StartClim-Daten basierende gerasterte Datensätze für Tagesmittelwerte (Summen) der Temperatur (Niederschlag) mit einer räumlichen Auflösung von 1x1 km für das österreichische Staatsgebiete (Zeitraum 1974 bis 2007) generiert (Schöner & Dos Santos Cardoso, 2004). Diese wurden nun verwendet, um die mit ERA40-Daten angetriebene 10x10km hindcast-CCLM-Simulation (durchgeführt in reclip:century 1) auf einen 1x1km Raster zu regionalisieren. Der Vergleich des 1x1km QM-Outputs mit den gerasterten 1x1km StartClim-Daten basierend auf räumlicher Interpolation ist in Anhang A, Abbildung 33 dargestellt. Die 1x1km QM-Ergebnisse sind im Vergleich zu den 4x4km Simulationen sehr detailliert. Die 4x4km Auflösung bringt mehr räumliche Details im Vergleich zu den 10x10km Ergebnissen, aber die Verbesserungen sind gering wie z.B. die Auswertungen extremer Ereignisse zeigen. Es sollten andere Auflösungen getestet werden, um zu zeigen, ob sie eine deutliche Erhöhung der räumlichen Variation wie die QM Ergebnisse bringen.

### **Data-Warehouse**

Das Data Warehouse mit Internet-Zugang wurde im Rahmen der Projekt-Webseite auf einem AIT Webserver ([http://reclip.ait.ac.at/reclip\\_century/](http://reclip.ait.ac.at/reclip_century/)) implementiert.

Die Möglichkeiten - die Reihe von Szenarien, Modelle und Zeiträume der Simulationen und Präsentation der Ergebnisse in unterschiedlicher zeitlicher Auflösung - wurden auf der Grundlage der reclip:century-Daten vollständig umgesetzt und getestet. Die Daten können für drei Treibhausgas-Szenarien Monats- oder Jahreswerte für verschiedene Zeitintervalle (10 und 30 Jahre) heruntergeladen werden. Für ausgewählte Jahre stehen zusätzlich auch stündlich Daten bereit. Das Datenformat, NetCDF3, folgt den Auswertungen der Nutzeranforderungen und erfüllt und die wachsende Notwendigkeit die Speicherkapazitäten so klein wie möglich zu halten. Spezielle Tools erlauben das Anzeigen einzelner Karten genauso wie animierte Präsentationen unterschiedlicher Zeitintervalle, Anwendung eigener Farbskalen, Zoomen und Schwenken sowie interaktive Berechnung einzelner Werte.

Die reclip:century2-Daten wurden nach Fertigstellung der Simulationsläufe eingefügt. Verglichen mit dem Konzept im Projektantrag wurden zusätzliche Funktionen für die grafische Exploration von Daten implementiert.

Weiters werden alle Abbildungen, die in der Anlage zu finden sind, und eine große zusätzliche Anzahl von Karten in hoher Auflösung als Bilddateien zum Download auf der Homepage zur Verfügung gestellt.

## Schwierigkeiten

Die Durchführung langer und hoch aufgelöster regionale Klimasimulationen in einem angemessenen Zeitrahmen ist nach wie vor schwierig und hängt direkt von den verwendeten Hardware-Systemen ab. Die 4 CCLM-Läufe konnten ohne größere Probleme durchgeführt werden. Die MM5-Simulation am Vienna High Speed-Computing Cluster VSC-1, welchen BOKU-Met verwendete, bereitete erhebliche Schwierigkeiten. Probleme mit Zuordnung von CPUh und der Raster-Engine des VSC-1 führten bereits in reclip:century 1 zu einer Verzögerung der MM5 Läufe. Da alle Simulationen als transiente Läufe durchgeführt wurden, führte dies zwangsläufig auch zu Verzögerungen in reclip:century 2.

Die MM5 Simulationsläufe wurden zwar abgeschlossen, aber die Ergebnisse erwiesen sich als nicht geeignet für eine weitere Anwendung. Obwohl die Domaindaten für den Antrieb von MM5 vom BOKU-met Team visuell und statistisch überprüft wurden, haben die Modell-Routinen, die die Überführung der ECHAM5-Daten in einem entsprechenden MM5-Input durchführten, die Eingaben nicht richtig gelesen, was dazu führte, dass die Simulationen von fehlerhaften atmosphärischen Bewegungsmustern angetrieben wurden. Die ersten Ergebnischecks zeigen diese Fehler nicht, und die Ergebnisse für die Wintersaison wurden als zulässig angesehen. Erst die Auswertungen des gesamten MM5-Simulationslaufs zeigten, dass die Ergebnisse für die Sommersaison definitiv ungeeignet waren. So wurden letztendlich nur 4 von 5 Simulationsläufen für weitere Klimafolgenmodellierung angewendet.

## 3.2 Schlussfolgerungen

### Temperatur:

Die Ergebnisse aus dem transienten ECHAM5 und HadCM3 angetriebenen CCLM Klimasimulationen (beide A1B) sowie der ECHAM5 angetriebenen CCLM Simulation für das A2-Szenario – durchgeführt von WEGC, ZAMG und AIT – zeigen eine hohe Zunahme der bodennahen Temperaturen (2m) in GAR bis zum Ende des 21. Jahrhunderts. Die höchsten Temperatursteigerungen treten in der Regel im Sommer auf, und lassen eine durchschnittliche Zunahme von 4.3 ° C (HadCM3/A1B), 4.5 ° C (ECHAM5/A1B) und 5 ° C (ECHAM5/A2) erwarten. Der Anstieg der Temperatur variiert entlang einer Nord-Süd-Verteilung und ist in höheren Regionen stärker ausgeprägt. Auf einen Blick zeigen diese Simulationen positive Temperaturtrends zwischen 0,66 K / Dekade (A2, Sommer) und 0,18 K / Dekade (B1, Winter). Die zugrunde liegenden Simulationen stellen eine Fortsetzung der in reclip:century 1 begonnenen Arbeiten dar. Die Szenarien B1 und A2 bieten einige unerwarteten Ergebnisse: Das B1-Szenario zeigt keine reduzierte Temperaturzunahme bis 2050 und ist teilweise sogar wärmer als das A1B Szenario. Auf der anderen Seite zeigt das A2-Szenario in den späten Jahrzehnten des 21. Jahrhunderts nur geringfügig höheren Temperaturen als das A1B-Szenario. Auch das ECHAM5/A1B Szenario, das bis 2050 deutlich kühler ist als das HadCM3/A1B Szenario, überholt dieses - außer im Herbst - gegen Ende des 21. Jahrhunderts.

Die 4x4km Simulationsergebnisse zeigen ein verbessertes Bild in Bezug auf geländeinduzierte Temperatur-Effekte. Während die 10x10km Simulationen nur grobe die Effekte von Tälern wiedergibt,

zeigen die 4x4km Ergebnisse die Auswirkungen der engeren Tälern, Bergrücken, städtischen Wärmeinseln und den Einfluss der Gewässer auf die Temperatur deutlicher.

### **Niederschlag**

Die Niederschlagsresultate weichen bis zu einem gewissen Grad von den 10km Simulationsergebnisse ab. Aufgrund der höher aufgelösten Abbildung des Geländes ist der orographisch induzierte Niederschlag stärker ausgeprägt. Für den Zeitraum 2021/2050 tritt eine leichte Steigerung von bis zu 10% in den nördlichen und östlichen Regionen auf, während in allen anderen Bereichen nur marginale Reduktionen oder keine Unterschiede zu finden sind.

### **Unsicherheitsbewertung:**

Das ENSEMBLES-Ensemble bietet genügend Informationen, um für eine Unsicherheitsabschätzung auf saisonaler Basis verwendet zu werden. Eine Erweiterung der begrenzten Zahl von GCMs, die in ENSEMBLES verwendet werden, auf die volle Anzahl aller CMIP3-Ensembles führt nicht zwangsläufig zu einem Anstieg der Unsicherheit. In einigen Jahreszeiten und Teilregionen wird die Unsicherheit sogar deutlich reduziert. Dies bestätigt, dass das ENSEMBLES-Ensemble nicht wesentlich verfälscht ist und die Unsicherheit nicht aufgrund eines GCM-Subsamplings unterschätzt wird.

## **4. Ausblick**

Das Projekt hat bestätigt, dass RCM Simulationen Auswirkungen einer Klimaerwärmung in Bezug auf Temperatur und Niederschlag detaillierter zeigen - die Unterschiede im Winter sind stärker ausgeprägt als im Sommer. Generell induziert die Klimaerwärmung eine Zunahme von Extremereignissen wie Dürreperioden, Hitzewellen und Starkniederschlägen. Neben den Resultaten der Simulationen konnten bedeutende Erkenntnisse in Bezug auf die Einrichtung der Domäne, die Parametrierung und in Bezug auf Grenzen und Unsicherheiten gewonnen werden. Die Resultate zeigen die Bedeutung der hohen Auflösung regionaler Klimasimulationen bezüglich Abschätzung der Auswirkungen. Besonders die Resultate der 4x4 km Simulation und des 1x1km Quantil Mapping zeigen die Vorteile in komplexem Gelände gegenüber den 10x10km Resultaten oder den mit 18x18 km noch größeren Resultaten der Konsortial-Läufe. Die Resultate sind vielversprechend, aber weitere Modellverbesserungen sind erforderlich, insbesondere im Hinblick auf Niederschlagssimulation, extreme Ereignis Resultate und der Auswirkung höherer Auflösungen. Speziell Extremereignisse haben einen direkten Einfluss auf die menschliche Gesellschaft und Ökosysteme. Um mögliche Vermeidungsstrategien und Anpassungen Perspektiven erarbeiten zu können, das muss die Modell Performance für extreme Ereignisse verbessert werden, um eine höhere Zuverlässigkeit zu liefern.

Das in reclip:century produzierte RCM-Ensemble beinhaltet verschiedene Unsicherheitsquellen, nämlich Unsicherheiten aufgrund der natürlichen Variabilität, Unsicherheiten aufgrund der Annahmen in den Szenarien der Treibhausgasemissionen und Unsicherheiten aufgrund der Wahl des treibenden GCMs.

Die reclip:century Simulationen können im Rahmen der Bandbreite möglicher zukünftiger Klimavarianten, die von den ENSEMBLES-Simulationen für das A1B Szenario aufgezeigt werden, kann wie folgt zusammengefasst werden:

- Die Greater Alpine Region wird erheblich durch die globale Erwärmung im 21. Jahrhundert beeinflusst werden. Diese Aussage gilt nicht nur für steigende Temperatur, sondern auch für signifikante Änderungen der Niederschlags-, der Strahlungs- und Feuchtigkeitsregime.
- Innerhalb von 60 Jahren (von 1961/1990 bis 2021/2050), erwarten wir 1,5 °C durchschnittliche Erwärmung im Alpenraum (0,25 °C pro Jahrzehnt in der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts). Bis zum Ende des Jahrhunderts (1971/2000 und 2071/2100), wird sich die Erwärmung voraussichtlich auf über 3,5 °C beschleunigen (0,35 °C pro Jahrzehnt).
- Der jährliche Zyklus des Niederschlags wird sich in der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts voraussichtlich nur geringfügig ändern (leichte Zunahme im Winter und Herbst). Deutliche Veränderungen werden bis zum Ende des Jahrhunderts eintreten: im Sommer und vor allem in den südlichen Regionen, wird sich der Niederschlag voraussichtlich um mehr als 60% verringern. Im Gegenzug wird im Winter mehr Niederschlag erwartet (bis zu +10%).
- Für die Globalstrahlung wird bis zum Ende des Jahrhunderts erwartet, dass sie im Winter sinken ( $-4,0 \text{ W / m}^2$ ) und im Sommer steigen wird ( $+3,4 \text{ W / m}^2$ ).
- Relative Luftfeuchte bis zum Ende des Jahrhunderts wird erwartet, dass eine starke Abnahme im Sommer (-3,9%), die sogar noch ausgeprägter in der Alpenvorland im Westen, Süden und Osten (<-5,0%) ist die Erfahrung.
- Wesentliche Änderungen der mittleren Windgeschwindigkeit innerhalb des 21. Jahrhunderts wurden nur im Sommer und Herbst entlang des Alpenhauptkamms gefunden. Hier wird die jährliche Windgeschwindigkeit voraussichtlich um bis zu 0,2 m/s sinken.
- Für die Temperatur ist die Unsicherheit in den Klimaprognosen im Allgemeinen niedrig, sie ist aber bei den anderen Parametern deutlich höher.
- Qualitativ passen die reclip:century-Simulationen gut in das Muster der ENSEMBLES-Simulationen.
- Für die Lufttemperatur, hat die Wahl des GCMs die bei weitem größte Wirkung auf die Unsicherheit. Bei allen anderen Parametern wird der RCM-Beitrag zur Unsicherheit wesentlich größer und kann in einigen Regionen und Jahreszeiten sogar den Einfluss des GCM übersteigen.☒
- Die Unsicherheit wird in der Regel nicht durch eine Erweiterung der ENSEMBLES GCM/RCM-Matrix auf das gesamte CMIP3 Ensemble erhöht. In einigen Jahreszeiten und Teilregionen wird die Unsicherheit sogar deutlich reduziert.

### Weitere Schritte

Die Ergebnisse in diesem Projekt sollen in zukünftige Projekte, die sich mit Klimafolgenforschung innerhalb der ACRP Ausschreibungen und darüber hinaus beschäftigen, angewendet werden. Der Download-Bereich bietet eine große Menge von Daten auf monatlicher, täglicher und stündlicher Basis für alle Arten von Anwendungen an. Weitere Daten wie Strahlung, Feuchtigkeit, Bewölkung Windfelder, etc.

können auf Anfrage bezogen werden. Dies ist notwendig, da die Daten-Extraktion einen zusätzlichen Aufwand mit sich bringt und der Einsatz dieser Daten zu einem gewissen Grad begleitet und gelenkt werden muss. Für die zukünftige Simulationen soll die nächsten Generation der GHG-Szenarien, die so genannte “representative concentration pathway” (RCP) Szenarien, die die Grundlage für nun erscheinenden 5. IPCC-Sachstands-Bericht darstellen, angewandt werden.

Neue Emissionsszenarien erfordern neue Antriebsdaten. Hier könnte ECHAM6/MPI-OM oder HadGEM-ES eine entsprechende Auswahl sein. Zusätzlich müssen neue hindcast-Simulationen – wie von ECMWF vorgesehen – auf Basis der ERA-Interim Re-Analyse Daten bis zum Jahr 2010 durchgeführt werden.

Neue Klimasimulationen für die Greater Alpine Region können so den jetzt vorhandenen Pool der regionalen reclip:century Klimaszenarien erweitern. Diese Simulationsläufe können dann zu besseren Studien über Anpassungs- und Minderungsmaßnahmen beitragen.

## 5. Literaturverzeichnis:

Böhm, U., K. Keuler, B. Rockel, A. Block, A., Will, D. Hauffe, and W. Ahrens, 2005: Climate reconstructions over Europe using the dynamic regional climate model CLM, In International Conference on Climate Change: Impacts and Responses in Central and Eastern European Countries. Hungary, 5-8 November 2005.

Böhm, U., M. Kücken, W. Ahrens, A. Block, D. Hauffe, K. Keuler, B. Rockel, and A. Will, 2006: CLM - the climate version of LM: Brief description and long-term applications. COSMO Newsletter, 6.

Boberg, F., P. Berg, P. Thejll, W. J. Gutowski, and J. H. Christensen,

2010: Improved confidence in climate change projections of precipitation further evaluated using daily statistics from ENSEMBLES models.

Clim.Dyn., 35, 1509-1520, doi:10.1007/s00382-009-0683-8.

Christensen, J. H., F. Boberg, O. B. Christensen, and P. Lucas-Picher,

2008: On the need for bias correction of regional climate change projections of temperature and precipitation. Geophys.Res.Lett., 35, L20709, doi:10.1029/2008GL035694.

Dosio, A., P. Paruolo, and R. Rojas, 2012: Bias correction of the ENSEMBLES high resolution climate change projections for use by impact

models: Analysis of the climate change signal. Journal of Geophysical Research-Atmospheres, 117, D17110, doi:10.1029/2012JD017968.

Giorgi, F. and E. Coppola, 2010: Does the model regional bias affect the projected regional climate change? An analysis of global model projections. Clim.Change, 100, 787-795, doi:10.1007/s10584-010-9864-z.

CEC (2008) Climate and Environment Consulting GmbH, Potsdam <http://www.cec-potsdam.de/Produkte/Klima/CLM/clm.html>

Denis B, Côté J, Laprise R. (2002): Spectral decomposition of twodimensional atmospheric fields on limited-area domains using the discrete cosine transform (DCT). Mon Weather Rev., 130, 1812-1829.

Déqué, M. et al. (2007): An intercomparison of regional climate simulations for Europe: assessing uncertainties in model projections, Clim. Change., 81, suppl. 1, DOI 10.1007/s10584-006-9228-x.



Dessai S. and Hulme M. (2004): Does climate adaptation policy need probabilities? In: *Climate Policy* 4 (2004) pp 107–128

Dietz S., Hope C., Stern N., Zenghelis D., (2007) Reflections on the Stern Review (1), in: *World Economics* • Vol. 8 • No. 1 • January 2007

Dorninger M, Gorgas T, Beck A, Ahrens B, Loibl W and Steinacker L. (2005): Evaluation of Retrospective Regional Climate Model Runs With Vera Within The Project reclip:more

Efthymiadis, D., Jones P.D., Briffa K.R., Auer I., Böhm R., Schöner W., Frei C. and Schmidli J. (2006) Construction of a 10-min-gridded precipitation data set for the Greater Alpine Region for 1800-2003, *J. Geophys. Res.* 111 (D1), D01105, DOI:10.1029/2005JD006120.

Formayer, H., Züger, J., Dorninger, M., Gobiet, A., Haas, P., Gorgas, T., Truhetz, H. and Loibl, W. (2006) Influence of the land-surface scheme on the modelled precipitation in the European Alps. EGU General Assembly 2006, 2.-7. April, Wien

Formayer H. and Haas P. (2007) Research for Climate Protection: Model Run Evaluation, Precipitation evaluation of 10 year RCM runs on a daily basis. Institute of Meteorology University of Natural Resources and Applied Life Science. Department of Water, Atmosphere and Environment

Gobiet A., Truhetz H. and Riegler A. (2006) Research for Climate Protection: Model Run Evaluation. A climate scenario for the Alpine region. Report for reclip:more project year 3. Wegener Center for Climate and Global Change, University of Graz

Gobiet, A., H. Truhetz, H. Formayer, M. Themessl, A. Riegler, and G. Kirchengast,(2006) High Resolution Climate Scenarios for Austria. Proc. 9. Österr. Klimatag, March 2006, Vienna, Austria, V14,

Gobiet, A., H. Truhetz (2007) Klimatologische Voraussetzungen und Methoden , in: *Wasser & Wirtschaft im Klimawandel*, Ed.: F. Pretenthaler und A. Dalla-Via (in German). Studien zum Klimawandel in sterreich, Verlag der Österr. Akademie der Wissenschaften, Wien, Österreich, 2007

Gobiet, A., H. Truhetz, A. Dalla-Via, F. Pretenthaler (2007) A Climate Change Scenario for Southern and Eastern Styria and Potential Impacts on Water Availability. Beiträge zur Hydrogeologie, submitted,

Grell G., Dudhia J. and Stauffer D (1994), A Description of the Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5), NCAR/TN-398+STR, (<http://www.mmm.ucar.edu/mm5/documents/mm5-desc-doc.html>)

Gruehn G., Rannow S, Fleischhauer M, Burghard C. M., Greiving S., Loibl W, Züger J, Köstl M, Diller C.(2008) Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel - Vorstudie für Modellvorhaben, BBR-Online-Publikation 19/08, Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn

IPCC, 2007: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

Jacob, D. and Podzun R. (1997): Sensitivity studies with the regional climate model REMO. *Meteor. Atmos. Phys.*, 63(1–2), 119–129.

Keuler, K. (ed.) (2006): Quantifizierung von Ungenauigkeiten regionaler Klima- und Klimaänderungssimulationen (QUIRCS), Abschlussbericht, BTU Cottbus;

Loibl W., Züger J, Köstl M (2008) Modellvorhaben Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel - Räumliche Analyse der Signale des Klimawandels für die Planungsregionen Deutschlands - Vergleich ausgewählter Modellergebnisse, Extraktion wesentlicher Indikatoren (report ARC—sys0167, Wien Sept. 2008)

Loibl, W. (2007): reclip:more (research for climate protection: model run evaluation) Klimazukunft Österreich - Kleinräumige Klimaszenarien 1981-1990 und 2041-2050, Signale des Klimawandels.

Medieninformation zum Projektabschluss. ARC, systems research Wien

Loibl W., Beck A., Dorninger M., Formayer H., Gobiet A., Schöner W. (Hrsg.), (2007), reclip:more research for climate protection: model run, evaluation, project - summary report, ARC-sys. Wien

Loibl W., Schwarz L., (2001), Regionalisierung von Niederschlagsdaten mit Hilfe von neuronalen Netzen - Möglichkeiten und Grenzen der Generierung österreichweiter Karten. In: Ö. Beiträge zu Meteorologie u. Geophysik ISSN Heft Nr 27/Publ. Nr. 399,

Loibl W. (1998) Spatial modeling of monthly precipitation patterns for Austria out of response models applied using neural networks and explanatory variable surfaces. In: Ö. Beiträge zur Meteorologie und Geophysik. ISSN 1016-6254

Macadam, I., A. J. Pitman, P. H. Whetton, and G. Abramowitz, 2010: Ranking climate models by performance using actual values and anomalies: Implications for climate change impact assessments. *Geophys.Res.Lett.*, 37, L16704, doi:10.1029/2010GL043877

Matulla C., X. Zhang, X.L. Wang, J. Wang, E. Zorita, S. Wagner, H. von Storch (2007) Influence of similarity measures on the performance of the analog method for downscaling daily precipitation, *Climate Dynamics* (in press)

Matulla C., W. Schoener, H. Alexandersson, H. von Storch, X.L. Wang (2007) European Storminess: Late 19th Century to Present, *Climate Dynamics* (in press)

Mausser, W. and U. Strasser (Eds.), GLOWA-Danube: Integrative Techniken, Szenarien und Strategien zur Zukunft des Wassers im Einzugsgebiet der Oberen Donau, Department für Geographie, Lehrstuhl für Geographie und Geographische Fernerkundung Ludwig-Maximilians-Universität München, ([http://www.glowa-danube.de/PDF/reports/abschlussbericht\\_phase2.pdf](http://www.glowa-danube.de/PDF/reports/abschlussbericht_phase2.pdf), accessed 06.02.2009), 2007

Meißner C. (2008): High-Resolution Sensitivity Studies With The Regional Climate Model COSMO-CLM. Dissertation, Univ. Karlsruhe

Nakicenovic, N. et al (2000). Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 599 pp

Niehörster F., Fast I, Huebener H., Cubasch U. (2007) The stream one ENSEMBLES projections of future climate change. The stream one ENSEMBLES projections of future climate change, ENSEMBLES Report No.3; ISSN1752-2854

Prein, A., A.Gobiet, H. Truhetz, 2011: Analysis of uncertainty in large scale climate projections over Europe. *Meteorol Z.*, 20, 383–395, doi: 10.1127/0941-2948/2011/0286.

Roeckner, E., Baeuml G., Bonaventura L., Brokopf R., Esch M., Giorgetta M., Hagemann S., Kirchner I., Kornblueh L., Manzini E., Rhodin A., Schlese U., Schulzweida U. and Tompkins A. (2003): The Atmospheric General Circulation Model ECHAM5. Part 1: Model Description, Report 349, Max Planck Institute for Meteorology (MPI), Hamburg

Schöner, W., Auer I., Böhm R. and Thaler S. (2003) StartClim1 – Quality control and statistical characteristics of selected climate parameters on the basis of daily values in the face of extreme values analysis. In: Final report. StartClim – Start Project Climate Protection. Wien, Austria.

Schöner W. and Dos Santos Cardoso W. (2007) Research for Climate Protection: Model Run Evaluation . Statistical downscaling and spatial refinement of dynamically downscaled long term data. Department of Climatology, Central Institute of Meteorology and Geodynamics

Spekat, A., Enke W., Kreienkamp F. (2007): Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010-2100 für die SRES-Szenarios B1, A1B und A2. Publ. d. UBA, Dessau, 149 S.

Truhetz H, Gobiet A, Loibl W and Kirchengast G (2006) Downscaling of Near Surface Wind in the Alpine Region. EEA : European Environmental Agency (EEA) and the Joint Research Centre (JRC) joint publication of CORINE applications

Truhetz, H., Gobiet A. and Kirchengast G. (2007) Evaluation of a dynamic-diagnostic modeling approach to generate highly resolved wind climatologies in the Alpine region, Meteorol. Z., 16 (2), 191-201, doi: 10.1127/0941-2948/2007/0192, 2007

Truhetz, H., A. Gobiet, G. Kirchengast (2007) Hoch aufgelöste Windklimatologien im Alpenraum und im Wiener Becken unter Berücksichtigung des Klimawandels (oral, in German), Proc. Deutsche, Österreichische-Schweizerische-Meteorologen-Tagung DACH2007, Hamburg, Germany, 2007

Uppala, S., P. Kålllesberg, A. Hernandez, S. Saarinen, M. Fiorino, X. Li, K. Onogi, U. Andrea, and V. da Costa Bech-told (2004) ERA-40: ECMWF 45-years reanalysis of the global atmosphere and surface conditions 1957–2002, ECMWF Newsletter, 101, 2-21.

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

Zängl G (2002) Stratified flow over a mountain with a gap: linear theory and numerical simulations. Quart J Roy Meteor Soc 128: 27–49

Zängl G (2003) A generalized sigma coordinate system for the MM5. Mon Wea Rev 131: 2875–84

Zorita, E. and von Storch H. (1999): A survey of statistical downscaling techniques. GKSS Report No 97/E/2

## 6. Anhang

### Anhang A:

**Dokument: reclip\_century2\_final\_appendix\_A-figures.pdf**

### Anhang: B

#### Publikationen und Disseminierungsaktivitäten

Anders I, Rockel B (2009) The influence of prescribed soil type distribution on the representation of present climate in a regional climate model. *Clim Dyn*, Vol 33(2), 177-186

Heinrich, G., A. Gobiet, T. Mendlik (2012), Extended regional climate model projections for Europe until the mid-21st century: combining ENSEMBLES and CMIP3, *Clim. Dyn.*, (under revision).

Heinrich, G., A. Gobiet, T. Mendlik, H. Truhetz (2012b), Extended Uncertainty Assessment of the reclip:century Ensemble, *WEGC Report to ACRP, 01/2012*, 66 pp, Wegener Center, University of Graz, Graz, Austria.

Haslinger K, Anders I, Hofstätter M (2012) Regional Climate Modelling over complex terrain – an evaluation study of COSMO-CLM hindcast model runs for the Greater Alpine Region. *Clim Dyn* (under revision)

W. Loibl, H. Formayer, H. Truhetz, W. Schöner, I. Anders, A. Gobiet, G. Heinrich, I. Nadeem, A. Prein, I. Schicker, M. Suklitsch, J. Züger (2013) Reclip:century, a high resolution regional climate simulation ensemble covering the Greater Alpine Region: an overview on modeling framework, results, validation, uncertainty assessment and data exploration (in preparation)

W. Loibl, H. Formayer, H. Truhetz, W. Schöner, I. Anders, A. Gobiet, G. Heinrich, I. Nadeem, A. Prein, I. Schicker, M. Suklitsch, J. Züger (2011). reclip:century - inside: Scenario results and uncertainty ranges. 12. Österreichischer Klimatag. 21. und 22. September 2011 . Universität für Bodenkultur, Wien. [http://www.austroclim.at/fileadmin/user\\_upload/ppt\\_11.Klimatag/Tagungsband\\_upload.pdf](http://www.austroclim.at/fileadmin/user_upload/ppt_11.Klimatag/Tagungsband_upload.pdf)

J. Ungar, J. Peters-Anders, and W. Loibl (2011) ; Climate Twins – An Attempt to Quantify Climatological Similarities; pp. 428-436. IFIP Advances in Information and Communication Technology (IACT) 359, Springer. Heidelberg

Loibl W, Formayer H, Truhetz H, Schöner W, Anders I, Gobiet A, Heinrich G, Köst M, Nadeem I Peters-Anders J, Schicker I, Suklitsch M, Züger M. (2013) Reclip:century, a high resolution regional climate simulation ensemble covering the Greater Alpine Region: an overview on modeling framework, simulation results including uncertainty assessment (in progress)

Meyer B.C., Rannow S., Loibl W (2010) Climate Change and Spatial Planning, in: Landscape and Urban Planning, 2010, pp.139-140.

Renetzeder C., Knoflacher M., Loibl W., Wrbka T. (2010). Are habitats of Austrian agricultural landscapes sensitive to climate change?. *Landscape and Urban Planning* 98, pp. 150-159.

Anders I., Schöner, W., Chimani, B. (2011) reclip:century- regional climate scenarios for the Greater Alpine Region. Temperature evaluation. Final report Part B.2, ZAMG, Vienna. [http://reclip.ait.ac.at/reclip\\_century](http://reclip.ait.ac.at/reclip_century).

Loibl W., Formayer H., Schöner W., Truhetz H., Anders I., Gobiet A., Heinrich G., Köstl M., Nadeem I., Peters-Anders J., Schicker I., Suklitsch M., Züger H. 2011: reclip:century regional climate scenarios for the

Greater Alpine Region. : Models, Data, GHG-Scenarios and Simulations, Report Part A. AIT Vienna. [http://reclip.ait.ac.at/reclip\\_century](http://reclip.ait.ac.at/reclip_century).

Loibl, W., Züger, J., Köstl, M. (2011) reclip:century- regional climate scenarios for the Greater Alpine Region. Climate Scenarios: Comparative Analysis, Final Report Part C. AIT, Vienna. [http://reclip.ait.ac.at/reclip\\_century](http://reclip.ait.ac.at/reclip_century).

Loibl W., Züger H., Peters-Anders, J., 2011: reclip:century- regional climate scenarios for the Greater Alpine Region. Data warehouse. Report Part E. AIT, Vienna. [http://reclip.ait.ac.at/reclip\\_century](http://reclip.ait.ac.at/reclip_century).

Loibl, W., Formayer, H., Gobiet, A, Schöner, W., Köstl, M. und Züger, J. (2010) reclip:century - Entwicklung eines Basisdatensatzes regionaler Klimaszenarien. 11. Österreichischen Klimatag "Klima im Wandel, Auswirkungen und Strategien", 11. - 12. März, Wien, BOKU

#### Conferences, Lectures, Posters

Awan, N. K. and A. Gobiet (2011), Regional climate modelling efforts in South East Asia (oral), Indus workshop, 2nd – 5th May, 2011, ETH Zurich, Switzerland.

Gobiet, A., N.K. Awan, G. Heinrich, A. Leuprecht, T. Mendlik, A. Prein, M. Suklitsch, M.J. Themeßl, H. Truhetz, R.A.I. Wilcke (2011), On the reliability of climate scenarios for the European Alpine region (oral), International Conference on the Occasion of the 125 Anniversary of Sonnblick Observatory, Aug 28 – Sep 1, 2011, Salzburg, Austria.

Gobiet, A., M. Themeßl, G. Heinrich, T. Mendlik (2010), Climate scenarios for small-scale climate change impact studies in the European Alpine Area: How reliable are they? (oral), Global Change and the World's Mountains Conference, Sep 26 - 30 2010, Perth, Scotland

W. Loibl, H. Formayer, H. Truhetz, W. Schöner, I. Anders, A. Gobiet, G. Heinrich, I. Nadeem, A. Prein, I. Schicker, M. Suklitsch, J. Züger (2013) Reclip:century, hoch aufgelöste Klimasimulationen für den Alpenraum mit Focus Österreich – Vorstellung der Ergebnisse (BOKU Klimatag 2013 - in Vorbereitung)

Loibl W & Dalhammer E. (2012) Klimawandel und Risiko, Die Europäische Perspektive und die österreichische Sicht – ESPON Ergebnisse mit Österreichbezug, 4.Jun 2012, ÖROK, Urania Wien

W. Loibl, H. Formayer, H. Truhetz, W. Schöner, I. Anders, A. Gobiet, G. Heinrich, I. Nadeem, A. Prein, I. Schicker, M. Suklitsch, J. Züger (2011). reclip:century - inside: scenario results and uncertainty ranges. 12. Österreichischer Klimatag. 21. und 22. September 2011 . Universität für Bodenkultur, Wien.

Loibl W. (2011) reclip:century , A base data set of regional climate scenarios for the Greater Alpine Region (10x10km). Conference "Climate Change in High Mountain Regions", 29 August - 1 September 2011 Salzburg

Loibl W. (2011) Reclip:century – Entwicklung eines Basisdatensatzes regionalisierter Klimaszenarien für den Alpenraum. Tagung des Klima- und Energiefonds Klimafolgenforschung in Österreich. 17.5.-18.5. 2011; Museumsquartier, Arena 21. Wien

Loibl,W., I. Anders, H. Formayer, A. Gobiet, P. Haas, Ch. Matulla, I. Nadeem, I. Schicker, W. Schöner, M. Suklitsch and J. Züger (2011) Evaluation of regional climate simulations using COSMO-CLM and MM5 for Austria and the Alpine Region. In. ICAM 2011, 31st International Conference on Alpine Meteorology, 23rd – 27th May 2011. Aviemore, Scotland

Loibl, W., Formayer, H., Gobiet, A, Schöner, W., Köstl, M. und Züger, J. (2010) reclip:century - Entwicklung eines Basisdatensatzes regionaler Klimaszenarien, Paper V23. Universität für Bodenkultur Wien, et al. (Hrsg.), Tagungsband des 11. Österreichischen Klimatag "Klima im Wandel, Auswirkungen und Strategien", 11. - 12. März, Wien, [http://www.austroclim.at/fileadmin/user\\_upload/ppt\\_11.Klimatag/Tagungsband\\_upload.pdf](http://www.austroclim.at/fileadmin/user_upload/ppt_11.Klimatag/Tagungsband_upload.pdf)

Loibl W., Züger J., Köstl M., et al. (2010) reclip:century - a project conducting 21st century regional climate simulation runs focussing on the Greater Alpine Region. EGU - May 2010, Vienna

Loibl W., Peters-Anders J., Züger J. (2010) Climate Twins - a tool to explore future climate impacts by assessing real world conditions: Exploration principles, underlying data, similarity conditions and uncertainty ranges. EGU May 2010, Vienna

Steininger, K., H. Truhetz (2011), Wie sich das Klima ändert und wie wir es beeinflussen (oral, in German), „Klima und Energie“ Info-Veranstaltung der Klima- und Energie- Modellregion GU-West mit den e5 Gemeinden Deutschfeistritz und Semriach, 15. und 18. Februar 2011, Austria.

Suklitsch, M., A. Gobiet, M. Themeßl, H. Truhetz (2011), ReCLiS:NG – Next Generation Regional Climate Scenarios for the Greater Alpine Region (poster), International Conference on the Coordinated Regional Downscaling Experiment (CORDEX), 20–26 March 2011, Trieste, Italy.

Suklitsch, M., A. Gobiet (2012), Convection resolving CCLM simulations: Exploring the diurnal cycle (oral), COSMO/CLM User Seminar, Mar 5 – Mar 9 2012, DWD, Offenbach/Main, Germany.

Suklitsch, M., A. Gobiet (2012), Investigating the Diurnal Cycle in Convection Resolving COSMO-CLM simulations (oral), EGU General Assembly 2012, 23 – 27 April, 2012, Vienna.

Truhetz, H., A. Gobiet, A., N.K. Awan, G. Heinrich, A. Leuprecht, T. Mendlik, A. Prein, M. Suklitsch, M. Themeßl, R.A.I. Wilcke (2011), Klimaprojektionen für den Alpenraum und deren Unsicherheiten (oral, in German), 4. Österreichischer MeteorologInnentag, Nov 3 – 4 2011, Klagenfurt, Austria.

Truhetz, H., A. Gobiet, N. K. Awan, G. Heinrich, A. Leuprecht, T. Mendlik, A. Prein, M. Suklitsch, M. Themeßl, R. A. I. Wilcke (2011), Climate projections for Europe and their reliability (invited, oral), Climate-TRAP workshop, 5–6 December 2011, Maribor, Slovenia.

Truhetz, H., A. Gobiet, A., N.K. Awan, G. Heinrich, A. Leuprecht, T. Mendlik, A. Prein, M. Suklitsch, M. Themeßl, R.A.I. Wilcke (2011), Climate scenarios for the European Alpine region and their reliability (oral), 30. Jahrestagung des Arbeitskreis Klima, Oct 28 – 30 2011, Graz, Austria.

Truhetz, H., N. K. Awan, K. L. Kapper, A. F. Prein, M. Suklitsch, A. Gobiet (2011), A brief review on convection-resolved climate simulations (CRCS) at the Wegener Center (oral), COSMO/CLM User Seminar 2011, Feb 28 – Mar 04 2011, Langen, Germany.

Truhetz, H., N. K. Awan, K. L. Kapper, A. F. Prein, M. Suklitsch, A. Gobiet (2011), Highly resolved Regional Climate Modelling at the Wegener Center – a brief review (oral), Convection-resolving climate simulation (CRCS) workshop, Jan 24, 2011, Wegener Center, University of Graz, Graz, Austria.

Züger J. (2012) reclip:century - inside: Szenarien, Ergebnisse und Unsicherheitsbandbreiten. Vortrag Alp-s Innsbruck 29.10.2012

Züger J. (2010) Soil Parameters for Climate Modelling, GSM Global Monitoring of Soil Moisture for Water Hazard Assessment, WP4500. GSM Mid term meeting, ZAMG, 3/2010.

## IMPRESSUM

### **Verfasser**

Austrian Institute of Technology GmbH

Wolfgang Loibl

Donau-City Str. 1, 1220 Wien

Tel: +43 50550-4587

E-Mail: wolfgang.loibl@ait.ac.at

### **Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber**

Klima- und Energiefonds

Gumpendorfer Straße 5/22

1060 Wien

office@klimafonds.gv.at

www.klimafonds.gv.at

### **Projektpartner**

P1. Universität für Bodenkultur, Institut für Meteorologie (BOKUMet)  
Peter-Jordan-Str. 82, 1190 Wien

P2. Karl-Franzens-Universität Graz,  
Wegener Zentrum für Klima und globalen Wandel (WEGC)  
Brandhofgasse 5, 8010 Graz

P3. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG)  
Hohe Warte 38, 1190 Wien

### **Disclaimer**

Die Autoren tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieses Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider.

Der Klima- und Energiefonds ist nicht für die Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

### **Gestaltung des Deckblattes**

ZS communication + art GmbH