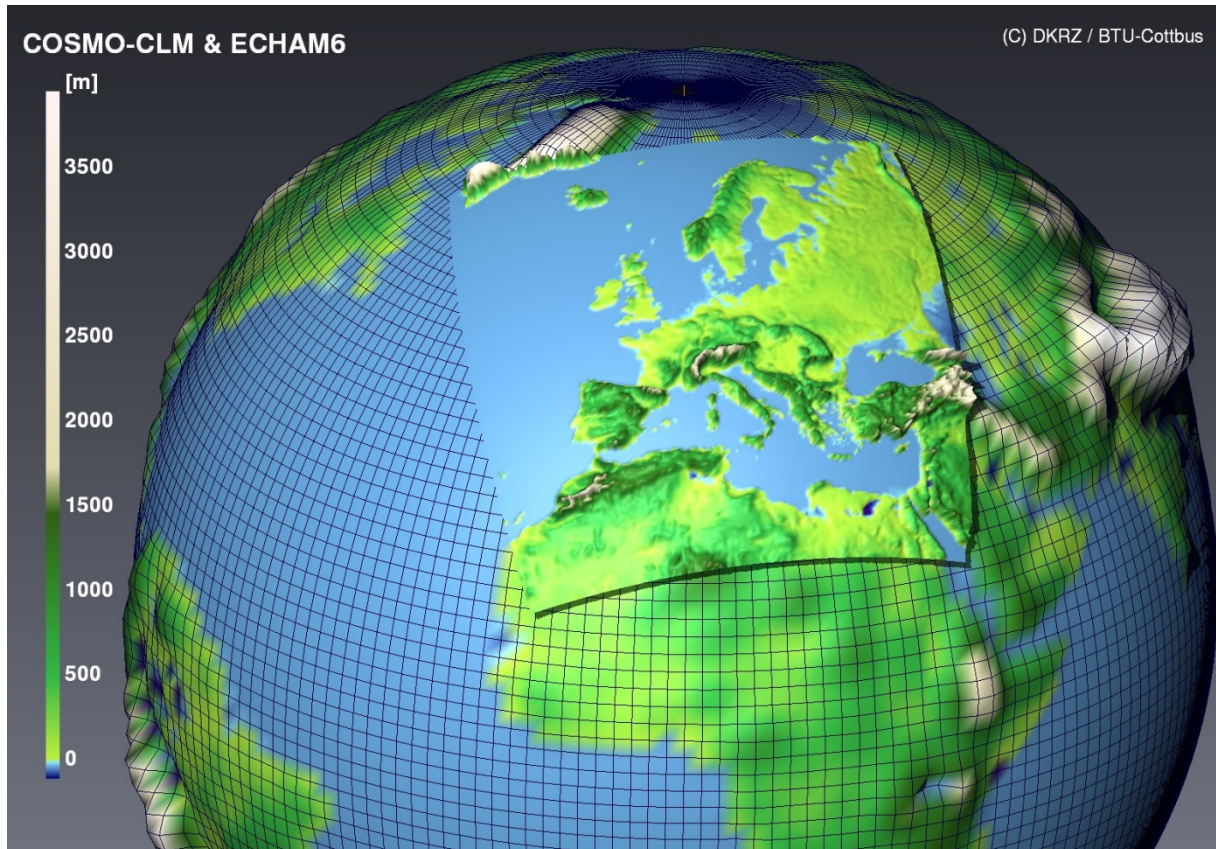


Abschlussbericht des Projekts

MiKlip Regio_Predict: Koordinierung des Moduls C „Regionalisierung“ (Regio_Predict)

Förderkennzeichen 01 LP 1150 A



Hendrik Feldmann, Marianne Uhlig, Christoph Kottmeier

**Karlsruhe Institut für Technologie (KIT)
Institut für Meteorologie und Klimaforschung IMK-TRO**

**MiKlip Regio_Predict: Koordinierung des Moduls C
„Regionalisierung“ (Regio_Predict)**

Abschlussbericht

Zuwendungsempfänger: Karlsruhe Institut für Technologie (KIT) Institut für Meteorologie und Klimaforschung IMK-TRO	Förderkennzeichen: 01 LP 1150 A
Vorhabensbezeichnung: Regio_Predict	
Bearbeiter: Hendrik Feldmann, Marianne Uhlig, Christoph Kottmeier	
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2011 – 31.08.2015 - Kostenneutrale Verlängerung bis 31.12.2015	
Berichtszeitraum: 01.09.2011 – 31.12.2015	

Inhalt

I.1. Aufgabenstellung.....	4
I.2. Voraussetzungen unter denen das Projekt durchgeführt wurde	5
I.3. Planungen und Ablauf des Vorhabens	5
1. Übersicht	5
2. Organisation und Zusammenarbeit in Modul C	6
Modul- und Statusworkshops, MiKlip Steuergruppe	6
Projektübergreifende Treffen zu speziellen Themen	7
Berichte	7
Koordinierte Erzeugung und Analyse regionaler dekadischer Prognosen.....	8
Daten-Standards (Module C Archive Specifications, CMORlight, MiKlip Server)	10
Rechenzeitanträge DKRZ.....	11
I.4. Wissenschaftlicher Stand an den Angeknüpft wurde.....	11
I.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen	11
II Wissenschaftlich/Technische Ergebnisse von Regio_Predict.....	11
1. Einfluss der Initialisierung des Bodens	12
2. Anpassung und Ergänzung eines Systems zur Bewertung der Vorhersagegüte regionaler dekadischer Prognosen	13
3. Potentielle Vorhersagbarkeit Nutzerrelevanter Klimakenngrößen	19
4. Charakterisierung des Skills und Mehrwerts regionaler dekadischer Prognosen für Europa	20
5. Analysen zur Optimierung des regionalen Ensembles	27
a) Multi-RCM gegenüber CCLM Ensemble	27
b) Mehrwert durch Erhöhung der Auflösung	29
6. Fazit.....	31
Publikationen und weitere Arbeiten aus Regio_Predict/ Modul C	32
Tagungsbeiträge (Regio_Predict, ohne MiKlip interne Beiträge):	34
Glossar.....	36
Literatur.....	39

I.1. Aufgabenstellung

Das Ziel von MiKlip ist die Schaffung und der Test eines Modellsystems für dekadische Klimaprognosen. Dabei werden erstmalig auch systematisch die Möglichkeiten einer Regionalisierung dekadischer Prognosen durch Downscaling untersucht. Dies ist die Aufgabe von Modul C.

Regio_Predict ist das Koordinations-Projekt von MiKlip Modul C. Darüber hinaus leistet es auch einen wissenschaftlichen Beitrag zu MiKlip, der in Abschnitt II. näher dargestellt wird.

Die Aufgabe dekadische Vorhersagen zu regionalisieren kann grob in zwei Bereiche gegliedert werden.

Erstens: Die regionale Klima-Modellierung stellt mit einer räumlichen Auflösung von einigen Kilometern ein Bindeglied zwischen den Ergebnissen globaler Modelle mit einer Auflösung in der Größenordnung 100 km und der Skala, die für die Planung von Anpassungsmaßnahmen und für Impakt-Studien benötigt wird. Bei einer gegebenen Vorhersagegüte globaler Klimamodelle, werden geeignete Downscaling-Verfahren und Ensemble-Systeme benötigt um regionalisierte Klimainformationen für regionale Aussagen zu erhalten.

Zum Zweiten gibt es Prozesse und Wechselwirkungen auf der regionalen Skala, die einen großen Einfluss auf die globale Vorhersagbarkeit haben können, wie etwa kontinentale Zonen mit starker Wechselwirkung bezüglich der Bodenfeuchte, Gebiete mit starker Luftverschmutzung, arktische See-Eis Bereiche, oder bestimmte ozeanische frontale Zirkulationssysteme mit einer starker Variabilität der Wärme-Speicherkapazität.

Um belastbare Vorhersagen für relevante Zielregionen zu erhalten, befasst sich MiKlip Modul C mit den folgenden Forschungsfragen:

- Kann eine Vorhersagegüte auf der globalen Skala auf der regionalen Skala erhalten werden?
- Auf welche Weise kann man eine optimale regionale Vorhersagegüte erzielen?
- Was ist der Mehrwert regionaler Vorhersagen?

Für den zweiten genannten Aspekt lautet die Kernfrage der Untersuchungen:

- Welchen Einfluss hat die detailliertere Beschreibung der Prozesse in spezifischen Regionen auf die Vorhersagbarkeit auf der globalen Skala?

I.2. Voraussetzungen unter denen das Projekt durchgeführt wurde

Dekadische Klimaprognosen sind ein sehr junges Forschungsfeld, bei dem die ersten Publikationen noch keine 10 Jahre alt sind (Smith et al. 2007; Keenlyside et al. 2008; Pohlmann et al. 2009). In dem internationalen Modellvergleichs-Programm [CMIP5](#) wurden erstmals auch koordinierte Experimente zu globalen dekadischen Klimaprognosen durchgeführt. Die erste MiKlip Generation globaler dekadischer [Hindcasts](#) lieferte dazu einen Beitrag. Die Regionalisierung der globalen Klimasimulationen von CMIP5 ist das Ziel von [CORDEX](#), welches aber keinen Bereich für Klimaprognosen erhält. Auch über CORDEX hinaus sind keine Programme zur systematischen Regionalisierung dekadischer Klimaprognosen bekannt. MiKlip Modul C in dieser Hinsicht also das erste derartige Projekt und musste in verschiedenen Bereichen die Grundlagen für dieses Forschungsgebiet schaffen.

I.3. Planungen und Ablauf des Vorhabens

1. Übersicht

An MiKlip Modul-C sind 8 Projekten beteiligt, mit Schwerpunkten auf zwei kontinentale Regionen und Teile der umgebenden Ozeane. Die Zielregionen sind Europa und Afrika. Für beide Gebiete besteht ein großes Interesse an aussagekräftigen dekadischen Prognosen. Der Zentral-Amerikanisch/Atlantische Sektor ist die Region des Übergangs von tropischen Stürmen zu extratropischen Zyklonen, welche dann Europa beeinflussen können. Eine detailliertere Beschreibung der regionalen Prozesse dort bietet das Potential die Güte dekadischer Prognosen für Europa zu erhöhen.

MiKlip Modul C gliedert sich daher in drei Schwerpunkte (vgl. Abbildung 1):

1. Regionale dekadische Prognosen für Europa (Projekte [Regio_Predict](#), [DecReg](#), [LACEPS](#), [PRODEF](#) und [REDCLIP](#))
2. Regionale dekadische Prognosen für Afrika (Verbundprojekt [DEPARTURE](#))
3. Skalen-Wechselwirkung im Zentral-Amerikanisch Nordatlantischen Sektor (Verbundprojekt [MesoTel](#)) und in Afrika (Projekt [FLAGSHIP](#))

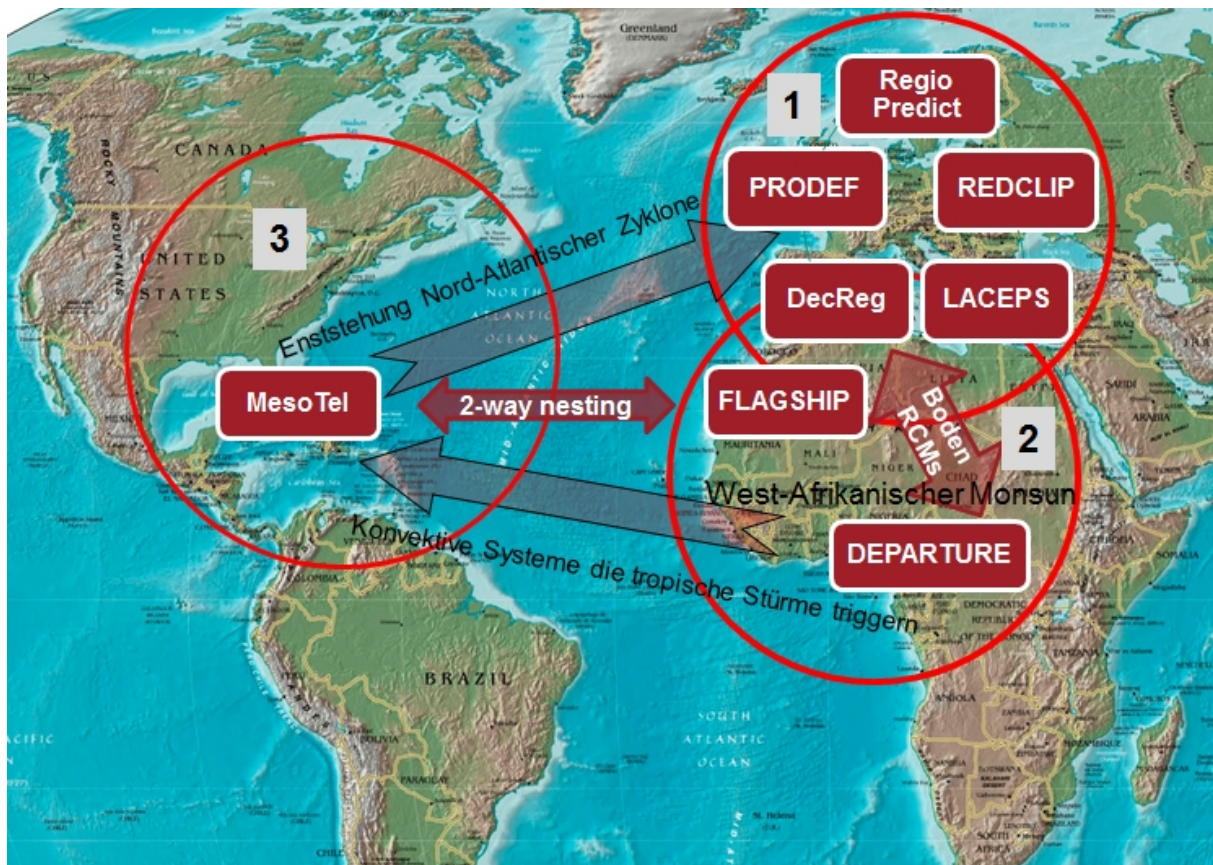


Abbildung 1: Projektübersicht und Fokus-Regionen in MiKlip Modul C.

Zur Durchführung dieser Forschungsaufgaben war die Erstellung systematischer Ensembles regionaler Klimamodelle notwendig. Die Durchführung dieser Experimente wurde im Hinblick auf dekadische Fragestellungen optimiert. Es wurden in Modul C mit bis zu drei Regionalen Klimamodellen (RCMs: [CCLM](#), [REMO](#), WRF) dekadische Simulationen in verschiedener Auflösung (50km/25km/11km/7km) für 2 MiKlip Generationen durchgeführt. Die Ergebnisse wurden dann im Hinblick auf ihre Vorhersagegüte und den Mehrwert gegenüber globalen dekadischen Prognosen analysiert.

2. Organisation und Zusammenarbeit in Modul C

Die Koordination von MiKlip Modul C ist eine viel-dimensionale Aufgabe mit sehr verschiedenen Facetten: Die Organisation der Zusammenarbeit innerhalb des Moduls, die Bereitstellung von gemeinsamen technischen Standards innerhalb des Moduls und Vertretung von Modul C innerhalb und außerhalb von MiKlip.

Modul- und Statusworkshops, MiKlip Steuergruppe

In der ersten Phase von MiKlip fanden fünf in der Regel 2-tägige Modul Treffen am KIT Karlsruhe statt. Bei denen der Stand der Projekte berichtet wurde und Entscheidungen für das weitere Vorgehen in Modul C getroffen wurden. Auch Teilnehmer aus anderen Modulen wurden beteiligt um uns gemeinsam mit dem Projektmanagement (Freja Vamborg), dem globalen Vorhersagesystem (Wolfgang Müller), oder in Bezug auf das Zentrale Evaluierungssystem CES von MiKlip (INTEGRATION Projekt,

Christopher Kadow, Sebastian Illing) zu informieren und abzustimmen. Hauptereignis des MiKlip Jahres ist das Statusseminar, welches Hauptereignis des MiKlip Jahres ist das Statusseminar. Das dritte MiKlip Statusseminar vom 12. Bis 14 Februar 2014 wurde vom Projekt in Karlsruhe organisiert. Die gemeinsamen Präsentationen von Modul C etwa bei den Statusseminaren wurden auch von Regio_Predict organisiert.

Hinzu kamen in der Regel zwei Treffen, sowie einige Telefonkonferenzen, der MiKlip Steuergruppe pro Jahr statt. Darüber hinaus gab es Treffen der „Sous Chefs“, bei denen praktische Fragen der Zusammenarbeit zwischen den Modulen von MiKlip abgestimmt wurden.

Projektübergreifende Treffen zu speziellen Themen

In Modul C fanden verschiedene weitere Projekt-übergreifende Treffen statt, etwa um gemeinsam die Methodik der Verifikation der regionalen Ensembles zu besprechen und eine gemeinsame Interpretation der Ergebnisse zu erarbeiten (vgl. Mieruch et al., 2014), sowie darum gemeinsame Veröffentlichungen vorzubereiten. Auch an diesen Treffen nahmen jeweils Vertreter von Regio_Predict teil und organisierten sie auch teilweise. Ein weiteres Ziel dieser Treffen war es den Austausch und Synergien zwischen den Schwerpunkten von Modul C: Downscaling dekadischer Simulationen für Europa, Downscaling für Afrika und Skalenwechselwirkung (Fokus-Region: Zentral Amerika/Nordatlantik) zu fördern. Der Austausch innerhalb dieser Schwerpunkte war naturgemäß wesentlich intensiver.

Regio_Predict vertritt Modul C auf in der Task Force „Standardisierung“, bei denen die MiKlip Datenstandards, in enger Anlehnung an internationale Vorgaben (CMOR, CMIP5, CORDEX), festgelegt wurden. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für ein Personen- oder Projekt-übergreifendes Arbeiten, was in MiKlip zum Beispiel über das CES erfolgt.

Regio_Predict repräsentierte Modul C nicht nur auf bei den Übersichtsvorträgen auf den Statusseminaren, sondern auch zum Beispiel bei vier Modul E (bzw. Modul E VECAP) Treffen um uns gegenseitig über die Modul-übergreifenden Themen von gemeinsamen Interesse auszutauschen.

Am 5.12.2013 fand beim DWD ein erstes Treffen mit Vertretern potentieller Nutzer von dekadischen Prognosen statt. Die Koordinatoren vertraten auch bei diesem Treffen die Ergebnisse von Modul C.

Berichte

Am Ende der Abschnitte ([Development Stages DS 1-3](#)) von MiKlip wurden Empfehlungsberichte erstellt, bei dem die Erkenntnisse der Projekte an die Steuergruppe übermittelt wurden, damit diese über die Konfiguration der nächsten MiKlip Ensemble Generation entscheiden konnte. Die Beiträge dazu wurden von den Koordinationsprojekten gesammelt, kondensiert und bewertet um sie an die Steuergruppe zu übermitteln. Auf eine entsprechende Weise wurde der Bericht für den Abbruch-Mei-

lenstein nach DS2 erstellt. Darüber hinaus wurde der Modul C Beitrag für das MiKlip Übersichtspaper im Bulletin of the American Meteorological Society (Marotzke et al., 2016) gestaltet.

Koordinierte Erzeugung und Analyse regionaler dekadischer Prognosen

Die Erzeugung großer homogener Ensembles durch verschiedene beteiligte Projekte und Institutionen erfordert genaue und umfangreiche Absprachen, an die sich alle Beteiligten zu halten haben.

So wurde mit den beteiligten Projekten eine gemeinsame Modellkonfiguration entwickelt. Diese umfasste eine genaue Definition des Modellgebiets und für CCLM darüber hinaus auch einheitliche externe Datensätze, Modell-Versionen und Setups. Darüber hinaus mussten die Verantwortlichkeiten der Teilnehmer für bestimmte Teile des Ensembles festgelegt und die Fortschritte dokumentiert werden.

Speziell wurde in Regio_Predict eine Initialisierungs-Strategie für die Bodenparameter entwickelt und getestet (Khodayar et al., 2014), die dann in Modul C für alle dekadischen Simulationen angewendet wurde.

Regio_Predict stellte alle notwendigen Spezifikationen bzw. Dateien auf dem MiKlip REDMINE System bzw. auf dem MiKlip-Server bereit.

In Modul C wurden projekt-übergreifend für die Fokus Region Europa regionale Ensembles zu zwei [MiKlip Generationen](#) der globalen [Hindcasts](#) durchgeführt –also „Vorhersagen“ für vergangene Zeiträume, da nur für die Vergangenheit Beobachtungen vorliegen, anhand derer die Prognosen bewertet werden können.

Im der ersten Phase wurden die Hindcasts des [MPI-ESM-LR baseline0 \(b0\)](#) Ensembles für das Downscaling verwendet (Abbildung 2). Der Zeitraum, der damit abgedeckt wurde reicht von 1961 – 2010.

Technisch war das Ziel hier das regionale Downscaling zu implementieren und zu testen. Die wichtigsten übergeordneten wissenschaftlichen Fragestellungen waren:

- Welche Eigenschaften haben regionale dekadische Hindcasts für Europa (Bias und Variabilität, alle Projekte des Schwerpunkts Europa)?
- Wie ist die Beziehung zwischen den globalen Antriebsdaten und Ergebnissen des Downscalings? Bleibt der [Skill](#) erhalten und gibt es einen Mehrwert durch die Regionalisierung (alle Europa-Projekte)?
- Was ist der Einfluss der Ensemble Größe auf die Vorhersagegüte (alle Europa-Projekte)?
- Wie groß ist der Einfluss der Auflösung des Regionalmodells - vor allem auf Extremwerte (z.B. Projekt DecReg)?

- Was ist der Mehrwert von Ensembles mit zwei RCMs (CCLM und REMO) gegenüber einem Ensemble mit einem einzelnen Modell (CCLM) (Projekte REDCLIP und Regio_Predict)?
- Bringt es einen Mehrwert das Anfangswert-Ensemble von MiKlip um eine Komponente mit Störungen der Modell-Physik zu erweitern (Projekt LACEPS)?

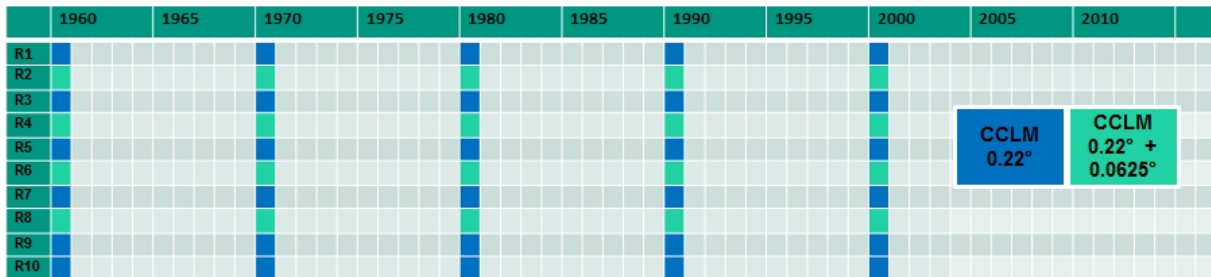


Abbildung 2: Ensemble Matrix für das dynamische Downscaling der Simulationen der MPI-ESM-LR b0 Generation (b0-EUR22). Jeder farbige Punkt stellt das Startjahr einer dekadischen Simulation dar. Alle gekennzeichneten (mit blauen und grünen Kästchen) Simulationen wurden mit CCLM in einer Auflösung von 0.22° simuliert (Projekte DecReg und LACEPS). Alle 10 Realisierungen der Dekade 2000 (01.01.2001 – 31.12.2010) wurden auch mit dem RCM REMO in derselben Auflösung simuliert (Projekt REDCLIP). Zusätzlich wurde ein Ensemble mit 4 Realisierungen mit höherer Auflösung 0.0525 (~7km) für Zentral-Europa erstellt. Ein analoges Ensemble mit derselben Konfiguration wurde mit Antrieb von MPI-ESM-LR b1 erstellt. (b1-EUR22; Projekte DecReg, LACEPS und PRODEF).

In der [zweiten Phase \(baseline1\)](#) wurden zwei regionale Ensembles mit verschiedener Auflösung (0.22° und 0.44°) erstellt, durch ein direktes dynamisches Downscaling der MPI-ESM-LR. Dabei diente das höher aufgelöste Ensemble zum einen zum Vergleich zum b0-Ensemble, sowie um eine Vergrößerung des ersten Ensembles von 10 auf 20 Member. Hier standen folgende Fragestellungen und Aufgaben im Vordergrund:

- Bringt die baseline1 Generation einen Mehrwert gegenüber baseline0 über Europa?

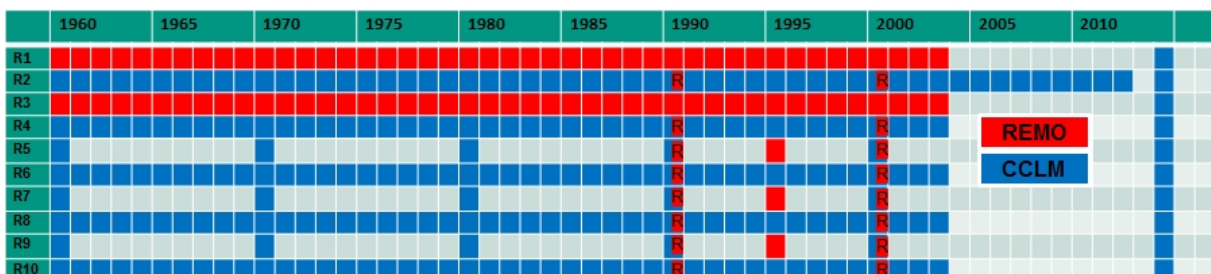


Abbildung 3: Ensemble Matrix für das dynamische Downscaling der Simulationen der MPI-ESM-LR b1 Generation mit CCLM und REMO (b1-EUR44; Projekte Regio_Predict, LACEPS und REDCLIP). Die Auflösung beträgt bei diesen Simulationen 0.44°.

Beim gröber aufgelösten Ensemble wurde eine deutlich höhere Zahl von dekadi-schen Simulationen (> 350 dekadi-sche Simulationen, siehe Abbildung 3) mit jährli-chen Startterminen durchgeführt. Hier standen folgende Fragen im Vordergrund:

- Wie robust sind regionale Klimaprognosen für Europa?
- Wie ist die regionale Abhängigkeit der Vorhersagegüte vom Vorhersage-Hori-zont?
- Lassen sich Klimaanomalien für Europa vorhersagen und wenn ja wie weit im Voraus?

Für die Dekade 2014 (1.1.2015 – 31.12.2024) wurden außerdem Prognosen mit 10 Realisierungen in den Auflösungen 0.22° und 0.44° auf der Basis der MPI-ESM-LR Prognosen erstellt.

Darüber hinaus wurden noch weitere Referenz- und Sensitivitäts-Experimente durchgeführt. So etwa ERA40/ERAInterim angetriebene Simulationen in den ver-schiedenen Konfigurationen, aus denen die Startbedingungen für den Boden abge-leitet wurden. Dazu kamen noch acht, den ganzen MiKlip Zeitraum abdeckende un-initialisierte Simulationen die von Regio_Predict als Referenz bereitgestellt wurden um den Mehrwert der Initialisierung für Europa bestimmen zu können. Außerdem stellten verschiedene Projekte Sensitivitätsexperimente zu alternativen Boden-Mo-dellen (DecReg) zur Verfügung, sowie Experimente zu Störung der Physikalischen Parametrisierungen (LACEPS).

Insgesamt wurden in Modul C etwa 5000 Simulationsjahre allein für Europa berech-net. Die Daten wurden in abgestimmter Weise (siehe nächster Abschnitt) auf dem MiKlip Server bereitgestellt.

Daten-Standards (Module C Archive Specifications, CMORlight, MiKlip Server)

Um eine gemeinsame Nutzung der großen Datenmengen, die in MiKlip anfallen, ge-währleisten zu können (z.B. im MiKlip CES), sind genaue Spezifikationen zu bestim-men. Die Rahmenbedingungen wurde in einer Task-Force gemeinsam mit Vertretern aus Modul D, E und C bestimmt und lehnen sich soweit wie möglich an die internati-onalen Standards an (Daten-Format NETCDF, gemäß CMOR Standards analog zu CMIP5 und CORDEX). Für die regionale Komponente wurden diese Spezifikationen im „Module C Archive Design“ ausgearbeitet und festgehalten, sowie auf dem MiKlip REDMINE allgemein bereitgestellt.

Die konkrete Umsetzung der Standards erfordert einen großen Aufwand. Zum Zeit-punkt der Erzeugung stand international noch kein praktikables Verfahren zur Um-wandlung der Modell Rohdaten in ein CMOR konformes Format zur Verfügung (CMORisierung“). Damit dies nicht zu Verzögerungen im Projekt führte, wurde in Re-gio_Predict ein flexibles, ausbaubares Programm entwickelt („CMORlight“), welches sukzessive die wesentlichen CMOR Spezifikationen umsetzt. Derzeit wird die Ver-sion 3.2 des Programms für alle regionalen Simulationen für die Bereitstellung der

Daten auf dem MiKlip Server verwendet. Auch über MiKlip hinaus findet dieses Programm Interesse und wird weiterentwickelt.

Die MiKlip Teilnehmer werden über das MiKlip REDMINE System über den aktuellen Stand und die anstehenden Simulationen informiert. Dort wurden Tabellen eingefügt, in denen die Verantwortlichen diese Informationen aktuell halten

Rechenzeitanträge DKRZ

Durch die Änderung der Vorgaben bei der Beantragung der Rechenzeit am DKRZ in Hamburg wurden die Projekte zunehmend dazu gedrängt, gemeinsame Anträge zu stellen. Regio_Predict übernahm dabei seit Ende 2013 die Führung bei den Rechenzeitanträgen und dem Management für das regionale Ensemble für Europa.

I.4. Wissenschaftlicher Stand an den Angeknüpft wurde

Siehe Abschnitt I.2. In technischer Hinsicht wurde an die in CMIP5 und CORDEX geschaffenen Methoden angeknüpft. So etwa bei der Definition der Modell-Gebiete, der Modell-Konfigurationen für die verschiedenen Modelle und Regionen, sowie bei den Datenstandards. Schutzrechte Anderer waren nicht betroffen. Es wurde die Literatur internationaler Fach-Journale herangezogen.

I.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Neben der in I.3. beschriebenen Zusammenarbeit innerhalb von MiKlip, sind vor allem die Mitwirkung in der [CLM-Community](#) und CORDEX zu nennen. Ein fachlicher Austausch fand bei den wissenschaftlichen Tagungen (Beiträge siehe unten) statt.

II Wissenschaftlich/Technische Ergebnisse von Regio_Predict

Der wissenschaftliche Schwerpunkt von Regio_Predict ist die Bestimmung und Optimierung der Güte dekadischer Prognosen für Europa. Das Projekt leistete spezifische wissenschaftliche Beiträge zu MiKlip Modul C, auf die im Weiteren eingegangen wird. Das Projekt hat das Ziel einer übergreifenden Analyse der Ergebnisse für Europa, auch im Hinblick auf eine optimale Strategie für regionale dekadische Prognosen. Da es eine enge Vernetzung und Zusammenarbeit in der gemeinsamen Analyse der Ergebnisse gibt, speziell für die Projekte mit Schwerpunkt Europa, wird hier in vielen Fällen Folgerungen aus den Ergebnissen aller beteiligten Projekte gezogen. Ergebnisse zum Schwerpunkt Afrika finden sich unter anderem in Paxian et al. (2016).

1. Einfluss der Initialisierung des Bodens

Die Bedeutung des Gedächtnisses des Bodens insbesondere über die Bodenfeuchte ist bisher nur unzureichend untersucht. In MiKlip befassen sich die Projekte PASTLAND aus Modul A mit einer Initialisierung des Bodens im globalen Model und in Modul C wurde an einem Assimilationsverfahren für die Bodenparameter in CCLM geforscht (Projekt DecReg für Europa und DEPARTURE für Afrika, Kothe et al., 2014; Tödter and Ahrens, 2015). In einer Diplom Arbeit (Sehlinger, 2012) und nachfolgenden Publikation (Khodayar et al., 2015) wurde in Regio_Predict Fragestellungen mit Bedeutung für die dekadischen Experimente untersucht:

- Wie lange spielt Initialisierung des Bodens eine Rolle unter verschiedenen Startbedingungen eine Rolle?
- Wie groß sind die Abweichungen, die durch eine schlechte Initialisierung entstehen können?
- Wie kann man in regionalen Klimasimulationen einen Initialisierungsschock und eine Modelldrift durch die Bodeninitialisierung vermeiden?

In einer Reihe von Sensitivitätsexperimenten mit einer Initialisierung in verschiedenen Jahreszeiten (Winter, Sommer, Herbst) wurden die Anfangsbedingungen im Boden über die gesamte Tiefe in Richtung feuchte oder trockene Bedingungen gestört.

Die Auswirkungen der Störungen hängen von der Art der Störung und der Auswerteregion ab. Die Auswirkungen trockener Bedingungen reichen dabei länger, als von unter feuchten Bedingungen. Eine optimale Initialisierung ist Mittelmeerraum, aber auch in Skandinavien, wo Bodenfrost einen Einfluss auf das Gedächtnis des Bodens hat, eine größere Rolle als etwa in Mittel-Europa. Der deutliche Einfluss der Störung der Evapotranspiration und des Niederschlags reicht je nach Bedingung und Region bis etwa ins zweite Jahr hinein. Die Störungen haben aber noch deutlich längere Auswirkungen auf den tiefen Boden, wo sie auch noch nach mehreren Jahren erkennbar sind (siehe Abbildung 4). Unter bestimmten Wettersituationen können diese Störungen immer noch einen gewissen Einfluss auf die Witterung in Europa haben (vgl. Khodayar et al., 2015).

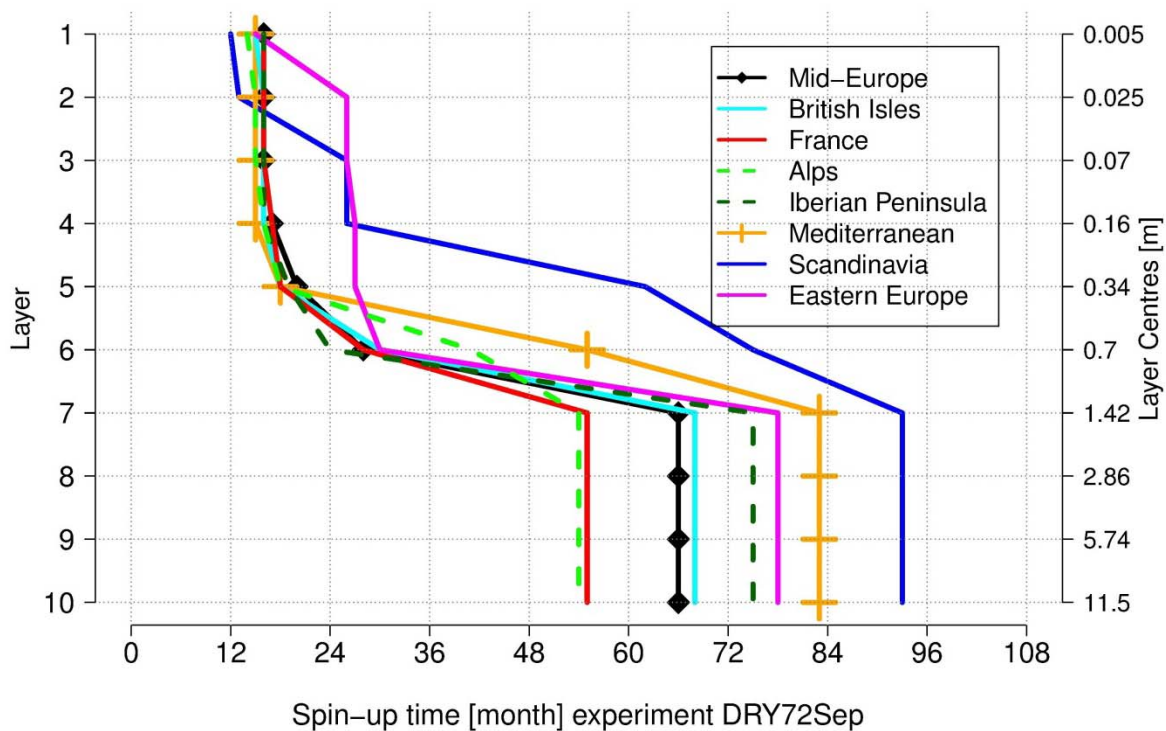


Abbildung 4: Einschwingzeit des Bodens in verschiedenen Tiefen für verschiedene Regionen in Europa für ein dekadisches Experiment mit gegenüber dem referenzlauf um 50% reduzierter Bodenfeuchte und einer Initialisierung im September 1972 (aus Khodayar et al., 2015).

Aus den Ergebnissen lässt sich schließen, dass eine Initialisierung im Winter vorteilhaft ist, wenn die Bedingungen im Boden feuchter sind. Potentielle Fehler wirken sich dann geringer aus. Die fehlenden flächendeckenden Beobachtungsdaten für die Bodenfeuchte, besonders in tieferen Schichten erschweren die Erzeugung geeigneter Anfangsbedingungen. Um aber auch den Einfluss längerfristigen Einfluss von unsicheren Startbedingungen in den regionalen MiKlip Ensembles zu minimieren, wurden langlaufende Referenzsimulationen ab 1958 mit Antrieb aus Re-Analysen (ERA40 und ERA Interim) erstellt, bei dem sich der Boden im Modell auf die analysierten atmosphärischen Bedingungen einstellen kann. Aus dieser Simulation wurde dann die Boden-Initialisierung aller Hindcast Simulationen genommen. Eine analoge Methode wurde in MiKlip baseline0 auch für den Ozean angewendet, bei der ein Assimilationslauf des Ozean-Modells mit atmosphärischem Antrieb aus Re-Analysen durchgeführt wurde.

2. Anpassung und Ergänzung eines Systems zur Bewertung der Vorhersagegüte regionaler dekadischer Prognosen

Zur Bestimmung der Güte von dekadischen Vorhersagen wurden zu Beginn in Abstimmung verschiedene Ansätze getestet, die dann zur Entwicklung des Zentralen Evaluierungssystems CES von MiKlip beitragen. Neben dem „Verification Framework“ (Goddard et al., 2013) etwa auch im Projekt VECAP (MiKlip Modul E; Stolzen-

berger et al., 2015). Der Fokus der Projekte im Evaluierungs-Modul von MiKlip ist allerdings die globale Skala. In Modul C wurden verschiedene Metriken auf ihre Eignung zur Bestimmung der Güte und des Mehrwerts in Bezug auf regionale Prognosen hin getestet und angepasst. Es wurden auch weitere potentielle Komponenten für ein Verifikations-System ergänzt, insbesondere in Bezug auf den Mehrwert der Regionalisierung (Uhlig, 2016).

Als Standard Beobachtungs-Referenz wurden meist die E-Obs Daten (Haylock et al., 2008) verwendet, da sie gegitterte in der Auflösung der regionalen Simulationen über den gesamten MiKlip-Zeitraum liefern. Zusätzlich wurden auch weitere Beobachtungen (z.B. Brinkmann and Bissolli, 2015) herangezogen. Allerdings lassen sich in solchen Datensätzen, die lange Zeiträume abdecken, oft Inhomogenitäten finden, die die Bestimmung der Vorhersagegüte erschweren.

Die Güte einer Vorhersage beinhaltet verschiedene Aspekte (Wilks, 2006). Ein Punkt, der durch objektive Größen beschrieben werden kann, ist die Qualität einer Vorhersage. Dabei wird die Vorhersage mit einer Referenz (e.g. Beobachtung) verglichen. Kategorien der Genauigkeiten sind unter anderem:

- Genauigkeit (Fehler zu einer Referenz)
- Zuverlässigkeit (Reliabilität)
- Diskriminierung.

Eine Quantifizierung kann unter anderem mittels sogenannter „[Skill Scores](#)“ durchgeführt werden. Dabei wird die Güte der Vorhersage mit derer einer Referenz verglichen. Daher ist ein Skill Score ein relatives Maß, das angibt ob die Vorhersage besser ist als eine Referenz. Als Referenz werden üblicherweise Daten genutzt, die eine bereits vorhandene oder kostengünstigere Alternative darstellen könnten. Dazu gehören un-initialisierte Klimäläufe oder auch klimatologische Mittelwerte. Aber auch ein Mehrwert der Regionalisierung kann so bestimmt werden. In diesem Fall stellen die globalen, dekadischen Klimaprognosen die Referenz. In jedem Fall ist eine Verbesserung gegenüber der Referenz gewünscht, die durch einen positiven Skill Score gekennzeichnet ist.

$$\text{Skill Score } SS = 1 - \frac{\text{Skill}_{\text{Vorhersage}}}{\text{Skill}_{\text{Referenz}}}$$

Die **Genauigkeit** (engl. [Accuracy](#)) ist der mittlere Zusammenhang zwischen einzelnen Vorhersagen und den entsprechenden Ereignissen. Größen zur Berechnung der Genauigkeit beinhalten u.a. den **Korrelationskoeffizient** und den [Mean Squared Error Skill Score MESS](#), der folgendermaßen bestimmt wird:

$$MSESS = 1 - \frac{MSE_{\text{Vorhersage}}}{MSE_{\text{Referenz}}}$$

mit

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_n^N (\bar{X}_i - O_i)^2$$

Mit \bar{X} als Ensemblemittelwert der Vorhersagen und O_i als Beobachtungswert.

Ist die Referenz das klimatologische Mittel, dann gilt:

$$MSESS(f, \bar{X}, O) = r_{f,o}^2 - \left[r_{f,o} - \left(\frac{s_o}{s_f} \right) \right]^2$$

Der erste Term ist die Korrelation zwischen der Vorhersage und der Beobachtung und der zweite Term der bedingte systematischer Fehler. Die Korrelation stellt den linearen Zusammenhang zwischen Vorhersage und Beobachtung dar, während der Syst. Fehler die Relative Größenordnung der Beobachtung bedingt durch die Vorhersage wiedergibt.

Als Referenz-Prognose für das regionale Ensemble wurden je nach Fragestellung die Klimatologie, un-initialisierte Klimasimulationen oder die globalen Hindcasts verwendet

Die **Zuverlässigkeit** (engl. [Reliability](#)) ist die bedingte Beziehung der Vorhersagen zur Beobachtung. Dabei wird die Konsistenz zwischen den vorhergesagten Wahrscheinlichkeiten und den Beobachtungen betrachtet. Die Statistik sortiert die Vorhersage/Beobachtung-Paare entsprechend der Vorhersage und bestimmt die bedingten Verteilungen der Beobachtungen.

Die Formel für den Ranked Probability Score RPS (vgl. Abbildung 5) lautet:

$$RPS = \sum_i^J (X_i - O_i)^2$$

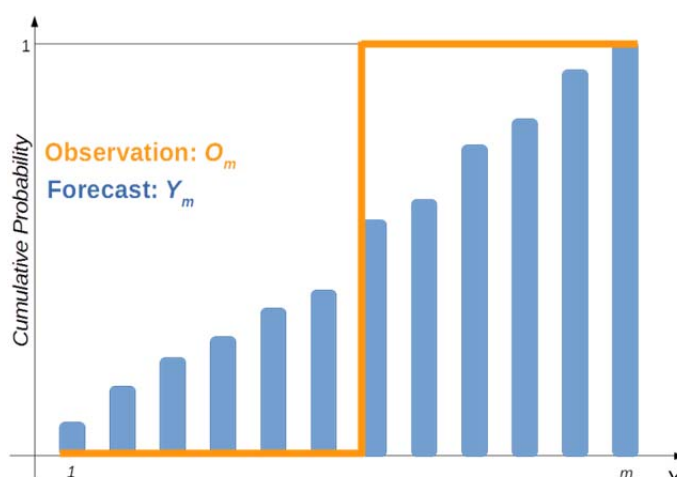


Abbildung 5: Konzept des *Ranked Probability Scores*

In der kontinuierlichen Form ergibt sich der **Continuous Ranked Probability Score CRPS**:

$$CRPS = \int_{-\infty}^{\infty} [F(y) - F_o(y)]^2 dy$$

Der Skill Score zum CRPS, dann CRPSS genannt, wird dann entsprechend der Formel oben formuliert.

Die **Diskriminierung** (engl. [Discrimination](#)) ist der Grad, zu dem die Vorhersagen richtig zwischen Ereignissen unterscheiden. Ein Größe, dies auszudrücken ist der **"Generalized Discrimination Score GDS"** (Weigel and Mason, 2011). Er ist die Wahrscheinlichkeit, dass zwei unterschiedliche Ereignisse durch die entsprechende Vorhersage richtig unterschieden werden (vgl. Abbildung 6).

Im Falle kontinuierlicher Vorhersagen lautet er wie folgend:

$$D = \frac{1}{2}(\tau + 1)$$

Dabei ist τ der Kendall Korrelationskoeffizient

$$\tau = \frac{4P}{n(n-1)} - 1$$

und P ist die Anzahl aller möglichen Ereignis-Kombinationen und n die Anzahl der Beobachtungen.

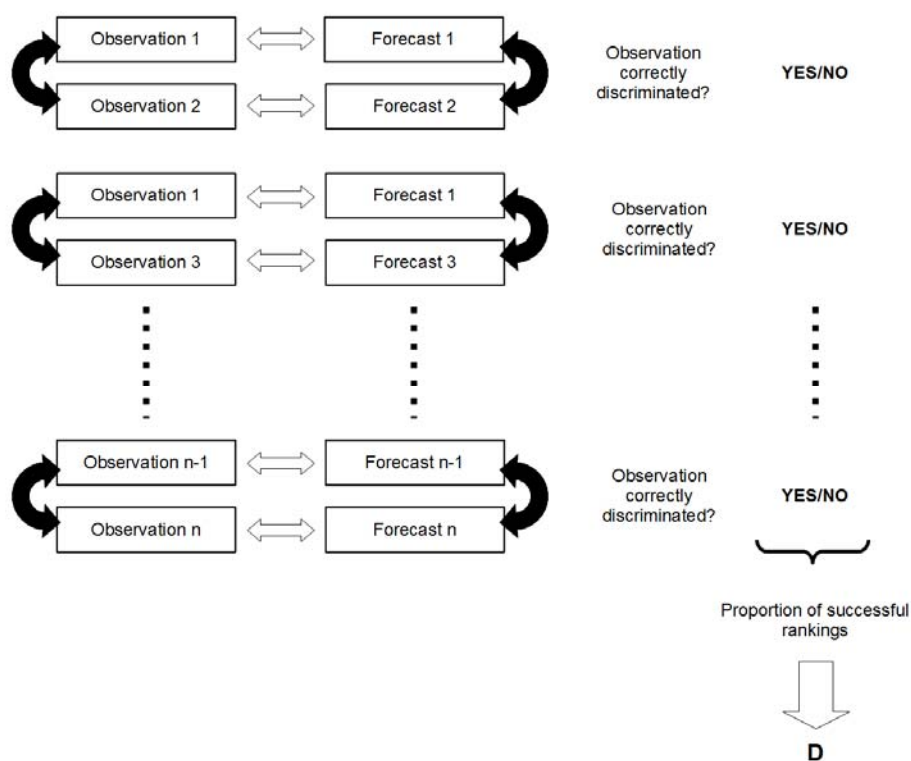


Abbildung 6: Konzept des Generalised Discrimination Scores.

Zur weiteren Quantifizierung der Güte und insbesondere des Mehrwerts (engl. **Added Value**) durch die Regionalisierung, ist das Konzept des “**Added Value Index (AVI)**” hilfreich (Kanamitsu and de Haan, 2011). Dabei wird der Mehrwert durch die Fläche bestimmt, auf der die Verbesserung durch die Regionalisierung auftritt.

$$AVI = \frac{1}{N} \sum_i^N (S_{regional} - S_{global} > 0)$$

Dabei ist S der Score an jedem Punkt.

Problematisch ist beim AVI, dass er nicht die absolute Verbesserung enthält, sondern nur betrachtet, ob die Differenz zwischen den Gütemaßen von Regional- und Globalmodell positiv ist.

Die Güte der dekadischen Vorhersagen ist räumlich nicht homogen. Die Muster variieren nach Variable, Jahreszeit, Modell und Ensemblegeneration. Die statistischen Verteilungen der Gütemaße sind sich hingegen ähnlich. Eine hohe Genauigkeit, z.B. beschrieben durch einen hohen (positiven) Korrelationskoeffizienten und MSESS geht dann zumeist mit einem entsprechend positiven CRPSS und GDS einher.

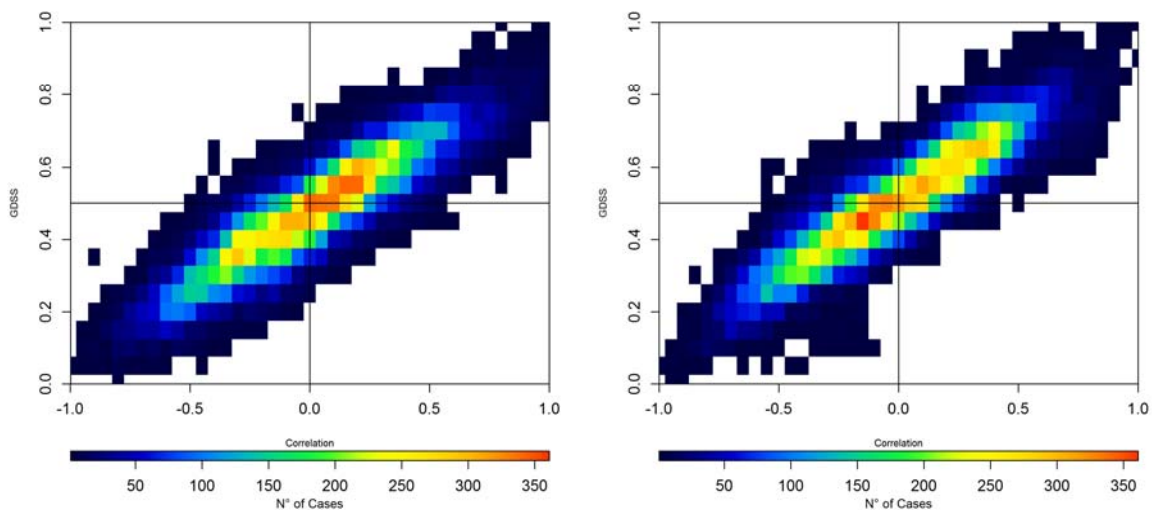


Abbildung 7: Zusammenhang zwischen Skill Scores: Y-Achse: Generalized Discrimination Score GDS, X-Achse: Korrelation, Farb-Code: Anzahl der (Land-) Gitterpunkte im Intervall. Niederschlags-Summe Winter (DJF) im Vergleich zu E-Obs Beobachtungen. Links Downscaling: b0_EUR22, rechts MPI-ESM-LR b0.

Abbildung 7 zeigt ein Beispiel für die Beziehung zwischen den Metriken GDS und der Korrelation. Beide Gütemaßen zeigen häufig ein ähnliches Verhalten, auch wenn sie unterschiedliche Aspekte der Qualität quantifizieren. Ein in etwa linearer Zusammenhang fand sich für alle Gütemaße und alle Modelle sowie Jahreszeiten. Die Stärke der Abhängigkeit zwischen den Maßen variiert, ebenso die Steigung Achse. Beide Größen beschreiben den Grad des Zusammenhangs zwischen zwei Merkmalen. Ein starker linearer Zusammenhang, wie er von einem Korrelationskoeffizienten be-

geschrieben wird, geht einher mit der Fähigkeit des Modells korrekt zwischen Ereignissen zu unterscheiden (GDSS).

Es ist ein gewisser Mehrwert des Downscaling zu erkennen, da bei CCLM (links) mehr Gitterpunkte im oberen rechten Quadranten und damit im positiven Bereich befinden als bei MPI-ESM (rechts).

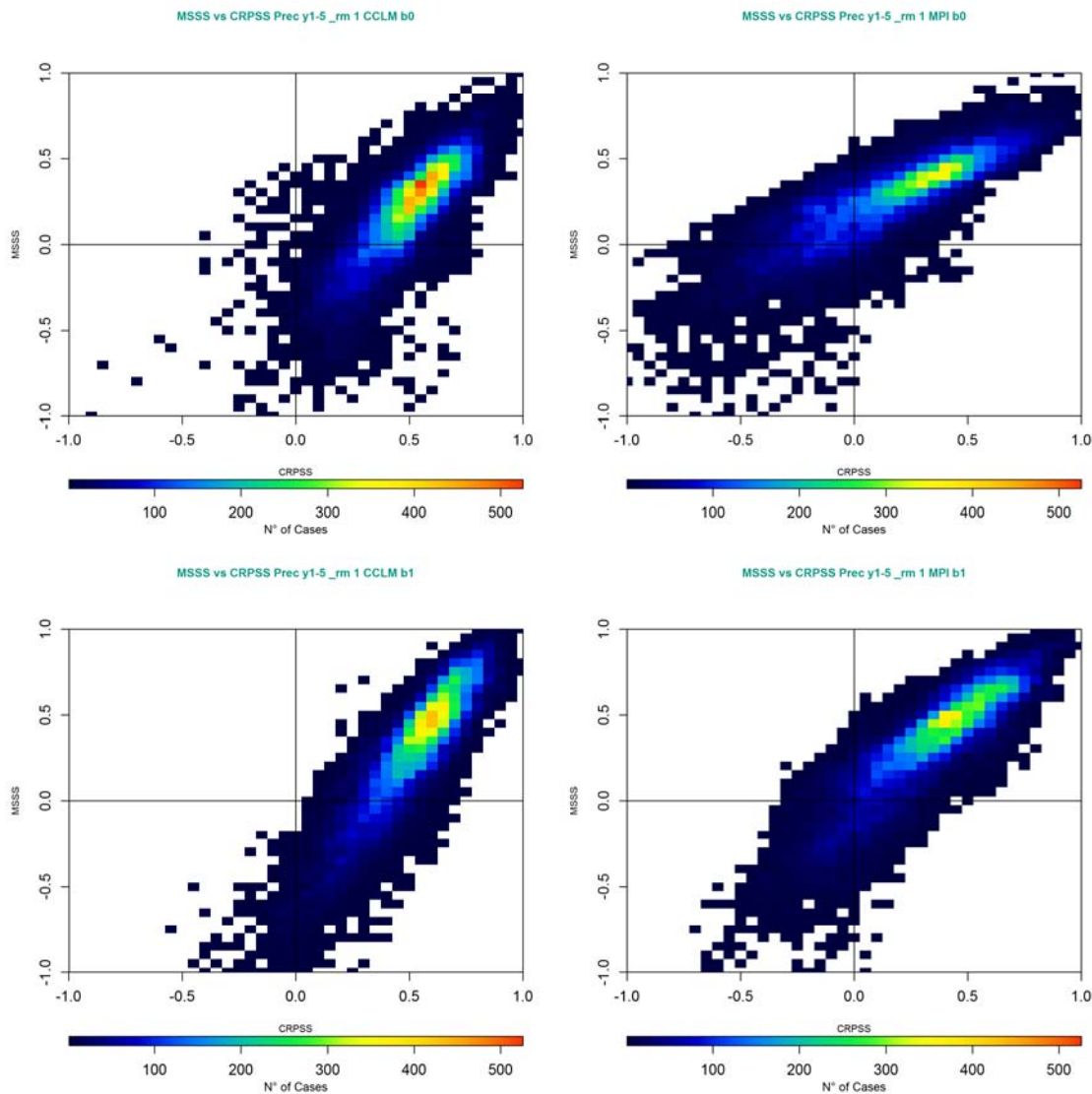


Abbildung 8: Zusammenhang zwischen Genauigkeit (MSESS, Y-Achse) und Zuverlässigkeit (CRPSS, X-Achse). Niederschlagssumme Winter (DJF) im Vergleich zu E-Obs, Vorhersagejahre 1-5. Links: Downscaling mit CCLM, rechts: MPI-ESM-LR, oben: Ensemble-Generation baseline0, unten: baseline1.

Im Gegensatz zu dem obigen Vergleich zwischen Korrelation und GDS sind hier die Achsen der Punktwolken gegenüber der 1. Winkelhalbierenden gekippt und verschoben. Bei vielen Variablen und Jahreszeiten lässt sich finden, dass der Winkel der Punktwolkenachse zwischen den Ensemblegenerationen eines Modells wenig ändert, nur gegebenenfalls linear verschoben wird und damit eine mittlere Verbesserung/Verschlechterung angibt. Eine Verlagerung des Schwerpunktes der Punktwolke

in den 1. Quadranten des Koordinatensystems zeigt ebenfalls eine mittlere Änderung an. Im obigen Beispiel ist der Fall. Das Downscaling (linke Spalte) führt besonders bei der Zuverlässigkeit in beiden Ensemble-Generationen zu einer Verbesserung gegenüber MPI-ESM. Diese Erhöhung der Zuverlässigkeit durch die Regionalisierung wurde in vielen Beispielen bestätigt und kann daher als generelles Beispiel für einen Mehrwert des Downscalings gelten. Weiterhin lässt sich auch für beide Modelle eine Verbesserung von Ensemble Generation baselin0 (oben) zu baseline1 (unten) feststellen.

3. Potentielle Vorhersagbarkeit Nutzerrelevanter Klimakenngrößen

Um nützliche Prognosen liefern zu können müssen verschiedene Vorbedingungen erfüllt sein. Die jeweilige Klimakenngröße muss ein Vorhersagepotential haben, etwa über die Beziehung zu einem vorhersagbaren Klima-Index wie etwa der [Atlantic Multidecadal Oscillation AMO](#). Diese potentielle Vorhersagbarkeit muss vom Prognose-system wiedergegeben werden und schließlich sollte die entsprechende Klimakenngröße wertvolle Klimainformationen für Nutzer liefern können.

Die Verifikation wird in der Regel für Größen wie die Mitteltemperatur und den mittleren Niederschlag durchgeführt. In Regio_Predict wurden weitere für Nutzer relevante Klimakenngrößen auf ihr Potential für dekadische Prognosen hin charakterisiert (Uhlig, 2016). Dabei wird auf Beobachtungsdaten oder Re-Analysen zurückgegriffen und nicht auf die Hindcasts. Bei den verwendeten Klimaindizes wurden unter anderem auf vordefinierte Parameter des „Expert Teams on Climate Change Detection Indices (ETCCDI, Karl et al., 1999) verwendet. Es wurden verschiedene Methoden und Aspekte kombiniert unter anderem Informations-Theoretische Ansätze.

Als Ergebnis ergibt sich ein höheres Vorhersagepotential für Temperatur-bezogene Größen als für Niederschlags-bezogene Klimaparameter. Besonders (moderate) sommerliche Extreme, wie etwa die Anzahl der Sommertage ($SU, T_{max} < 25^{\circ}C$) zeigt ein hohes Potential. Winterliche Extreme haben dagegen ein geringeres Potential (etwa Eis-tage mit $T_{max} < 0^{\circ}C$). Auch beim Niederschlag ist die potentielle Vorhersagbarkeit von moderaten Extremen (90. Perzentil des täglichen Niederschlags) höher als von Jahressummen oder höheren Extremen. Ein weiterer Bereich mit erhöhtem Potential für Vorhersagen sind Perioden-bezogene Klimaindizes, wie etwa die Länge der Wachstumsperiode.

Problematisch bei den international üblichen ETCCDI Indices ist, dass sie auf bestimmte Klimaregionen abgestimmt sind. Zum Beispiel sind Sommertage in Tropische Regionen die Regel, in polaren Breiten treten sie dagegen praktisch nie auf. Extrem-Indizes, die über Perzentile bestimmt werden, sind dagegen prinzipiell in allen Klimazonen einsetzbar.

4. Charakterisierung des Skills und Mehrwerts regionaler dekadischer Prognosen für Europa

Eine wichtige Anforderung an dekadische Prognosen ist es, die Entwicklung des Klimas in den nächsten Jahren besser wieder zu geben als es mit alternativen Methoden möglich ist. Häufig wird als Referenz der 30-jährige klimatologische Mittelwert verwendet, Alternativen sind etwa die Persistenz, die annimmt, dass das Klima der nächsten Periode mit dem der letzten übereinstimmt. Ein weitere mögliche Referenz sind Klima-Projektionen, die den natürlichen und anthropogenen Antrieb durch Treibhausgase berücksichtigen. Abbildung 9 verdeutlicht den Mehrwert initialisierter Hindcast für den Mittelmeerraum für 4-jährige Mittelwerte der Temperatur zwischen 1962 und 2008. Dargestellt sind die Ergebnisse des regionalen b1-EUR44 RCM Ensembles (rote Balken) und eines Ensembles aus un-initialisierten Simulationen mit demselben Modell. Die Beobachtungsdaten aus E-Obs zeigen eine kühle Phase in den 70er Jahren und dann 2 Perioden mit starken Anstiegen in den 80ern und besonders Mitte der 90er Jahre. Der klimatologische Mittelwert wäre unter solchen Bedingungen eine ungeeignete Vorhersagegröße und auch die Persistenz würde falsche Prognosen in den Trendphasen liefern. Die un-initialisierten Klimasimulationen geben den generellen Trend der Temperatur-Entwicklung zwar wieder sind aber bei den Schwankungen oft außer Phase. Gegenüber diesen Referenzen zeigen die regionalen dekadischen Hindcasts besonders in der zweiten Hälfte des Untersuchungszeitraums einen deutlichen Mehrwert. Zwar wird der Anstieg der Temperaturen bis Mitte der 60er Jahre nicht gut wiedergegeben aber die Anstiegsphasen in den letzten Jahrzehnten werden mit dem Vorhersagesystem gut nachvollzogen.

Die Bestimmung des Mehrwerts regionaler dekadischer Prognosen umfasst ein weites Spektrum von Aspekten. Es konnte in vielen Studien gezeigt werden (unter vielen anderen Feldmann et al., 2008), dass es durch ein regionales Downscaling möglich ist die regionalen Einflüsse auf Klimakenngrößen besser wiederzugeben als mit grob aufgelösten globalen Modellen. Die generelle zeitliche Entwicklung in regionalen Simulationen wird dagegen wesentlich vom antreibenden Modell bestimmt. Wesentliche Einflüsse liegen außerhalb des Modellgebiets der RCMs, zum Beispiel die Entwicklungsgebiete und Zugbahnen von Tiefdruckgebieten, die Europa beeinflussen (Dieses Problem wurde im Modul C Projekt [MesoTel](#) angegangen).

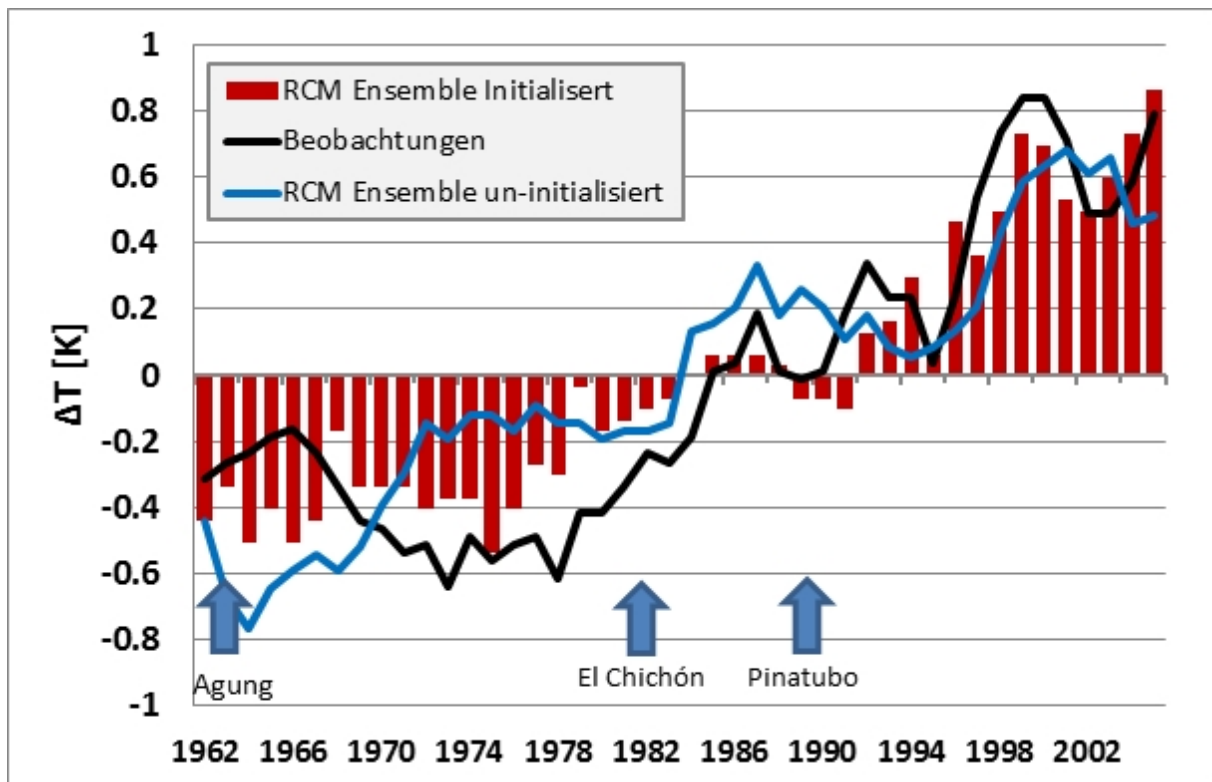


Abbildung 9: Mehrwert durch Initialisierung: Entwicklung der Jahresmitteltemperatur in Mittelmeerraum 1962 - 2008, 4-jährige gleitende Mittelwerte der Temperatur Anomalien. Schwarz: Beobachtungen (E-Obs); blau: Ensemble von Klima Projektionen mit COSMO-CLM und un-initialisiertem Antrieb; rote Balken RCM Ensemble von Klimavorhersagen mit initialisiertem Antrieb, Mittel über Vorhersagejahre 2-5 (Hindcasts, sonst 4-jährige gleitende Mittel). Die Pfeile zeigen den Zeitraum großer Vulkan-Ausbrüche (Agung 1963, El Chichón 1983, Pinatubo 1991). Aus: Kottmeier und Feldmann (2016).

Es ist daher davon auszugehen, dass sich die relativen Klima-Anomalien von mehrjährigen zeitlichen Mittelwerten, über große Regionen betrachtet, nur gering zwischen RCM und GCM unterscheiden und damit auch eine vergleichbare Vorhersagbarkeit zu erwarten ist. Abbildung 10 zeigt einen Vergleich der Vorhersagegüte für die Jahresmittel Temperatur der Vorhersagejahre 2-5 in den globalen und regionalen MiKlip Hindcasts (baseline1) für Europa. Die generelle Verteilung in beiden Ensembles ist vergleichbar, mit höheren Skill-Scores im Westen und Süden Europas und einer Abnahme in Richtung Norden und Osten. Im Westen und Süden ist der Einfluss des Atlantiks als wesentlichen Treiber dekadischer Schwankungen größer als im Osten des Kontinents. Gemittelt über die gesamte Landfläche ist der Skill des regionalen Ensembles nur geringfügig höher als der des regionalen Ensembles, obwohl sich durch die Regionalisierung topographische Einflüsse deutlicher abzeichnen. Regionen mit extrem schlechten Skill Scores (dunkelblaue Gitterpunkte) auf dem Balkan, im Baltikum oder in Südfrankreich sind

oft Gebiete mit inhomogenen Daten in den als Beobachtungsreferenz verwendeten E-Obs Daten.

Trotz dieser scheinbar geringen Unterschiede liefert die Regionalisierung einen klaren Mehrwert. Abbildung 11 zeigt die Häufigkeitsverteilung des täglichen Niederschlags der globalen und regionalen Ensembles. Das Regionalmodell ist in der Lage die Verteilung über einen weiten Intensitätsbereich bis hin zu Extrem-Niederschlägen gut wiederzugeben. Das Globalmodell ist dagegen aufgrund seiner groben Auflösung nicht in der Lage Extreme mit sehr hoher Intensität wiederzugeben. Die Zuverlässigkeit der regionalisierten Ergebnisse ist also deutlich höher

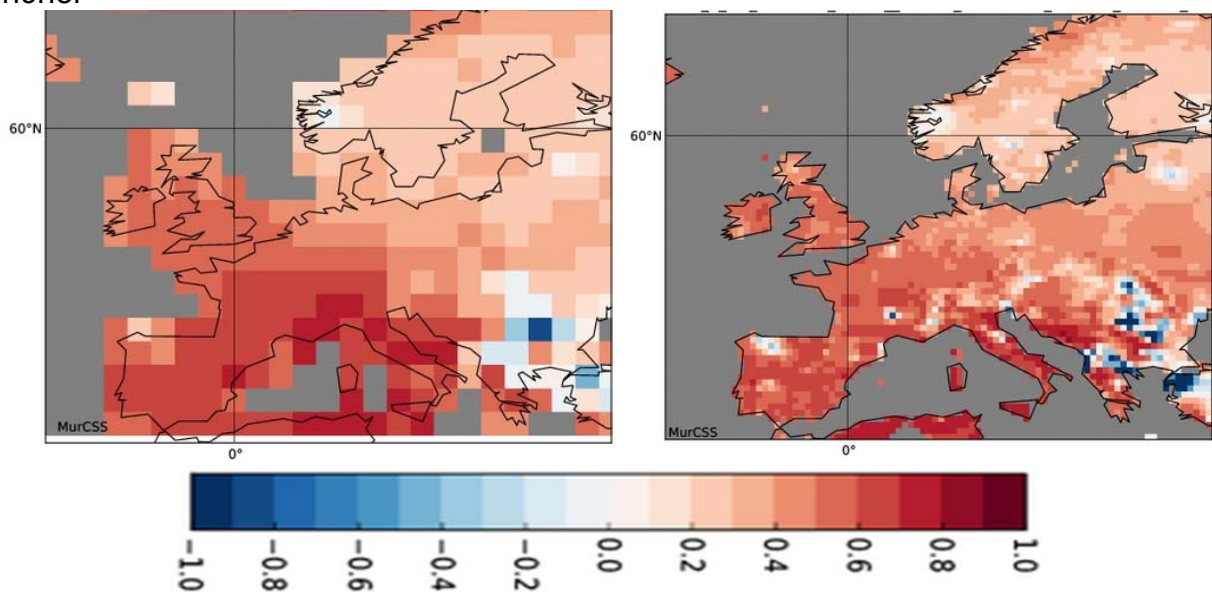


Abbildung 10: Vorhersagegüte MSESS des globalen (links) und regionalen Hindcast Skill des MiKlip baseline1 Ensemble - MSESS für die bodennahe Temperatur, Startjahre 1961 – 2003, Vorhersagehorizont Jahr 2-5, im Vergleich mit E-Obs Beobachtungen Links MPI-ESM-LR baseline1 Ensemble, rechts: das regionale 0.44° Ensemble (b1-EUR44 mit CCLM+REMO), aus Marotzke et al. (2016), erstellt mit MiKlip CES

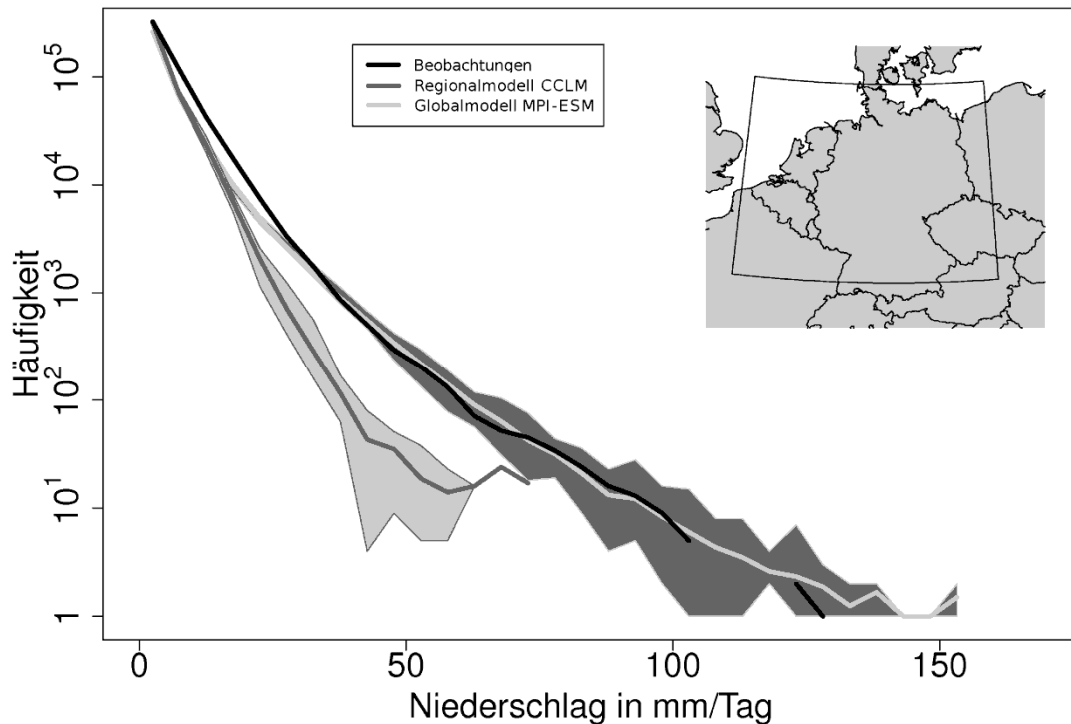


Abbildung 11: Häufigkeitsverteilung des täglichen Niederschlags in Mitteleuropa (siehe Kartenausschnitt oben rechts). Schwarz. E-Obs Beobachtungen, Dunkelgrau mit hellgrauem Schwankungsbereich: MPI-ESM b0 Ensemble, hellgrau mit dunkelgrauem Schwankungsbereich: CCLM b0 Ensemble. Aus: Kottmeier und Feldmann (2016).

Die Vorhersagegüte über Europa schwankt je nach Klima Parameter, Region, Jahreszeit und [Vorhersagehorizont](#). Verschiedene Mechanismen tragen dazu unterschiedlich stark bei. In den ersten Jahren einer Prognose kommt der Vorhersageskill vor allem aus der Initialisierung des Ensembles, in der zweiten Hälfte dagegen stärker - vor allem bei der Temperatur - durch den Klimatrend. Abbildung 12 zeigt den Verlauf der Vorhersagegüte für verschiedene europäische Regionen in Abhängigkeit vom Vorhersagehorizont. Der Skill ist generell höher in West und Mitteleuropa als in Nord und Ost Europa. In Regionen wie Spanien und den Britischen Inseln spielt die Initialisierung die größere Rolle für den Skill in Ost Europa trägt der Klimatrend stärker bei. Es ist daher notwendig dekadische Prognosen regional differenziert zu betrachten.

Auch die Jahreszeitliche Verteilung der Vorhersagegüte variiert von Region zu Region (Abbildung 13). Im Allgemeinen wird der höchste Skill bei Jahreswerten erreicht. In Südeuropa ist die höchste Vorhersagegüte im Sommer zu finden. In West Europa tendenziell im Frühjahr, sowie im Bereich der Britischen Inseln, Frankreichs oder Skandinaviens im Herbst.

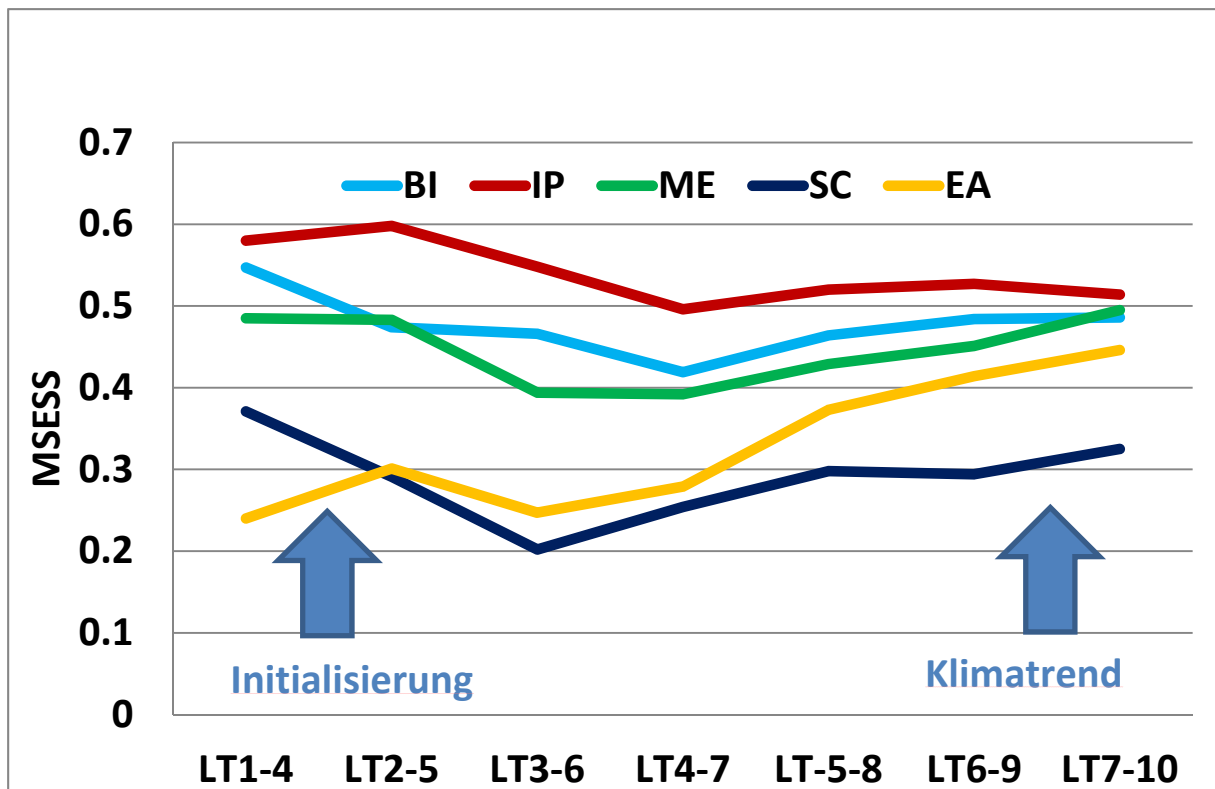


Abbildung 12: Vorhersagegüte MESS des regionalen b1-EUR44 Ensembles für die Jahresmitteltemperatur (Startjahr 1961 – 2008) gegenüber E-Obs Daten für verschiedene Vorhersagehorizonte und Regionen. X-Achse: LT1-4 bedeutet, dass Werte aus den ersten 4 Jahren der Vorhersage berücksichtigt werden, LT7-10 verwendet die Jahre 7-10. Regionen: BI - Britische Inseln, IP Spanische Halbinsel, ME – Mitteleuropa, SC – Skandinavien, EA – Ost Europa (Regionen vgl. Abb. 14).

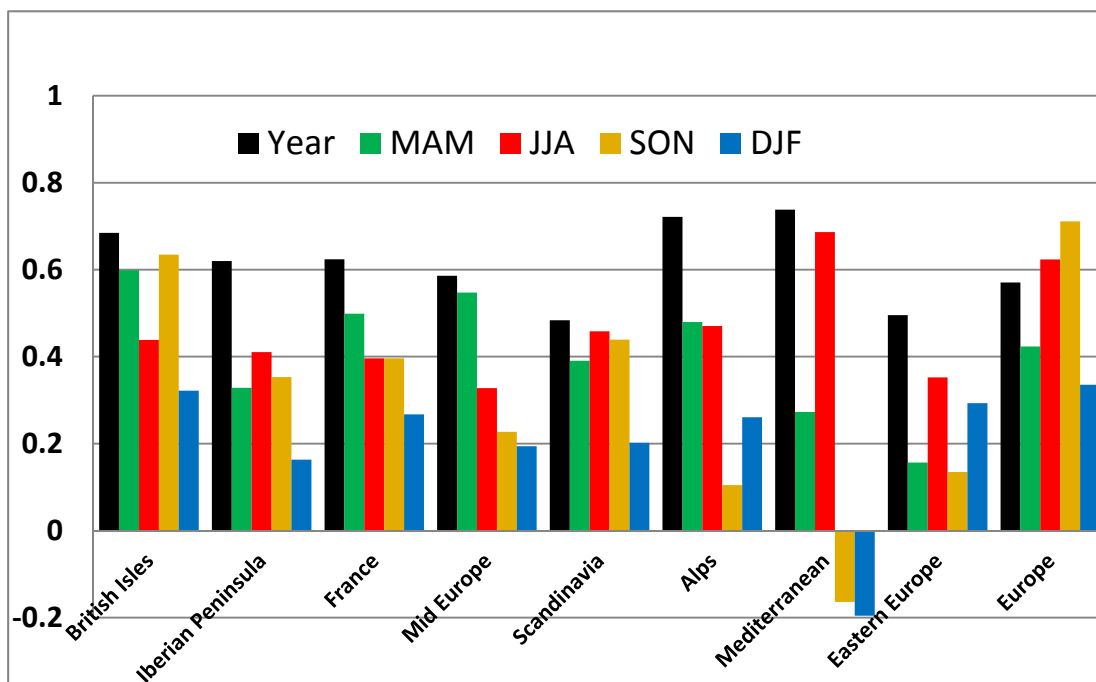


Abbildung 13: Skill des regionalen CCLM baseline0 Ensemble: MESS 2-m Temperatur 4-Jahres Mittelwerte – Regionaler und saisonaler Skill 1961 - 2010.

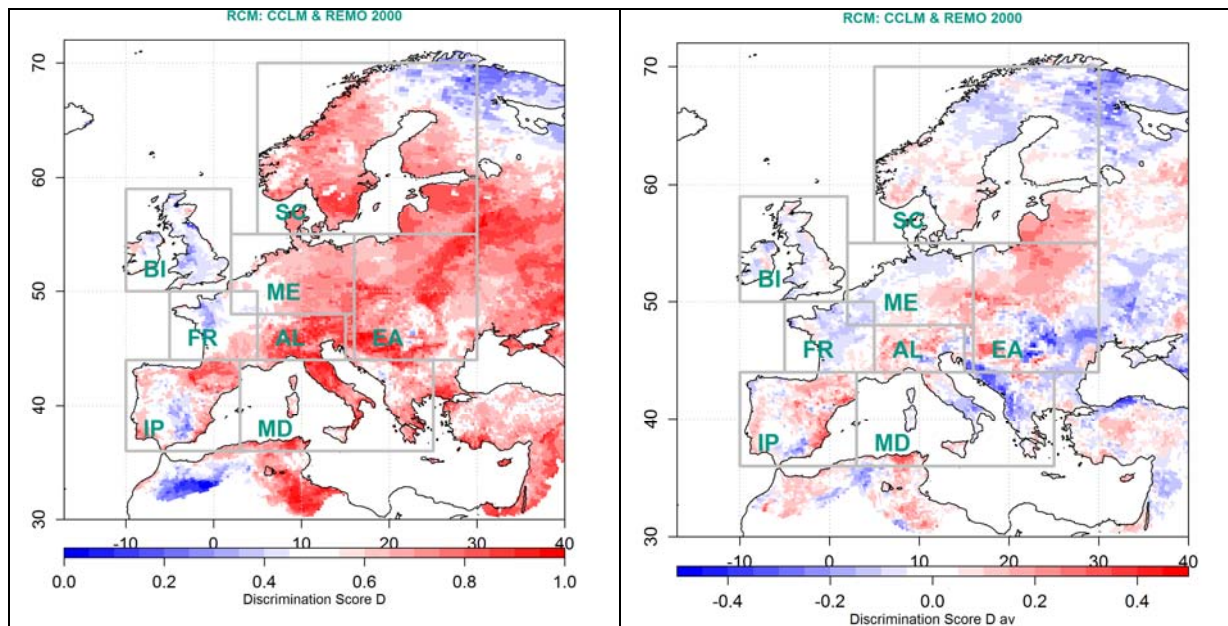


Abbildung 14: Jahresmittel 2m-Temperatur (de-trended), 5-jährige Filterung decadal2000 - Regional b0-EUR22 (REMO + CCLM) — links: General Discrimination Score GDSS, rote Farben zeigen einen positiven Skill – rechts: Differenz zu MPI-ESM-LR; rot bedeutet eine Verbesserung des Skills durch das RCM Ensemble; weiß bedeutet Erhaltung des Skills; blau einen höheren Skill des GCMs. Perfekter Skill = 1, positiver Skill bei GDSS > 0.5. Die Rechtecke kennzeichnen die sogenannten PRUDENCE-Regionen (vgl. Abb. 12, 13). Auf ca. 2/3 der Fläche wird der Skill durch die Regionalisierung verbessert oder bleibt zumindest erhalten.

Klimaextremindex	Variable		Mittel über Vorhersagejahre					
			2-6	2-5	2-9	3-8	6-9	6-10
95. Perzentil Sommer (JJA)	Niederschlag	% Skill >0	58.5	58.0	58.2	53.0	61.0	62.9
		% Mehrwert	52.5	50.1	50.1	49.4	48.4	45.4
5. Perzentil Winter (DJF)	Niederschlag	% Skill >0	45.2	52.8	52.7	43.9	59.9	62.6
		% Mehrwert	48.2	51.0	44.8	42.0	50.4	48.4
95. Perzentil Sommer (JJA)	Temperatur Tagesmaximum	% Skill >0	66.0	59.1	49.2	51.1	51.5	47.3
		% Mehrwert	59.9	49.1	39.5	43.9	40.8	37.3
5. Perzentil Winter (DJF)	Temperatur Tagesmaximum	% Skill >0	21.8	30.7	18.6	20.5	36.2	41.3
		% Mehrwert	48.9	46.5	44.1	42.1	44.0	47.9
SU – Sommertage $T_{max} > 25^\circ$	Temperatur Tagesmaximum	% Skill >0	53.9	63.2	57.1	39.5	57.7	58.0
		% Mehrwert	54.8	47.9	40.5	38.6	39.3	29.8
95. Perzentil Sommer (JJA)	Temperatur Tagesminimum	% Skill >0	49.4	51.9	46.4	44.5	62.6	62.1
		% Mehrwert	39.4	37.0	37.4	41.1	37.1	37.6
5. Perzentil Winter (DJF)	Temperatur Tagesminimum	% Skill >0	41.7	49.2	26.9	28.8	45.4	46.1
		% Mehrwert	64.6	66.2	68.0	59.1	60.5	58.9
TR Tropen Nächte	Temperatur Tagesminimum	% Skill >0	55.4	74.6	61.7	41.0	87.9	90.8
		% Mehrwert	53.5	54.1	45.9	46.6	49.7	49.5
GSL - Länge Wachs-	Temperatur	% Skill >0	55.5	58.3	49.6	50.	60.5	63.4

tumsperiode		% Mehrwert	56.7	55.0	63.0	66.1	63.8	62.9
TQI - Index für Zeckenaktivität	Temperatur, Niederschlag	% Skill >0	57.8	58.0	54.1	49.0	59.9	69.4
		% Mehrwert	52.8	52.7	56.8	53.7	56.5	63.3

Tabelle 1: Güte der der Klimaextremindizes aus dem b1-EUR44 CCLM Ensemble, dargestellt als der Anteil der Gitterpunkte im Untersuchungsgebiet, die positive Korrelationen mit den E-Obs-Beobachtungen aufweisen in ungeraden Zeilen und der Mehrwert durch Regionalisierung in den geraden Zeilen („av“). Der Anteil der Gitterpunkte an denen die Korrelation zwischen CCLM und E-OBS höher ist als die zwischen MPI-ESM und E-OBS ist hier der Mehrwert. Als Grundlagen dienen jährlich initialisierte, dekadische Läufe von 1961 – 2010.

	y2-6	y2-5	y2-9	y3-8	y6-9	y6-10
CRPSS	90.2	87	95.1	95	95	95.4
av	47.9	40.5	29.3	32.7	22.6	22.5
MSSS	93.6	92.6	95.7	95.4	96.6	96.3
av	63	53.7	30	38.5	32.7	30.7
GDS	98.9	98.8	99.3	99.5	99.9	99.8
av	55.3	50.4	32.7	36.6	28	20.4
COR	99.2	99.3	99.5	99.1	99.8	99.8
av	66.4	48.7	21.5	28.2	16.4	16.5

Tabelle 2: Vorhersagegüte der Temperatur des jährlich initialisierten b1-EUR44 CCLM Ensembles gegenüber E-OBS Beobachtungen in Abhängigkeit vom Vorhersagehorizont, dargestellt als der Anteil der Gitterpunkte im Untersuchungsgebiet, an denen das jeweilige Gütemaß (vergleiche Abschnitt II.3) positiv ist. Der Mehrwert ist dann der Anteil der Gitterpunkte an denen der Skill höher ist als der des antreibenden Globalmodells MPI-ESM. Referenz-Vorhersage für MSSS und CRPSS ist hierbei der klimatologische Mittelwert.

	y2-6	y2-5	y2-9	y3-8	y6-9	y6-10
CRPSS	10.4	8.2	14.7	11.7	12	16.4
av	37.5	34.8	39.8	38.4	39.2	43.1
MSSS	20.6	17.3	25.7	21.4	21.4	27.3
av	32.8	28.5	33.2	31.7	33	37.7
GDSS	69.3	66.7	68.1	62.4	67.1	68.4
av	45.4	44	40.8	36.9	41.3	41.7
COR	69.3	66.4	68.4	63	68.1	67.5
av	44.3	42.4	39.3	37.1	43.9	43.3

Tabelle 3: Wie Tabelle 2, aber für Niederschlag.

Auch für andere Nutzer-relevante Parameter wie Windstürme und das Windenergie-Potential wurden Skill und Mehrwert durch eine Regionalisierung gefunden (Projekt PRODEF; Reyers et al, 2014, Moemken et al., 2016, Haas et al., 2014a,b, Hueging et al., 2013). Ein Skill wurde vor allem für kurze Vorhersagedauern (Jahr 2-4) gefunden. Auch für die Wind-bezogenen Klimaparameter verbessert sich die Verlässlichkeit der Ergebnisse durch Regionalisierung gegenüber dem antreibenden Modell (Moemken et al., 2016). Ein Vergleich des dabei verwendeten statistisch-dynamische Downscalings von CCLM mit dem rein dynamischen Downscaling,

welches in den anderen Projekten verwendet wurde findet sich unter anderem bei Reyers et al. (2014).

5. Analysen zur Optimierung des regionalen Ensembles

In Modul C wurden in verschiedenen Projekten Experimente durchgeführt um Optionen für die optimale Gestaltung der regionalen Ensembles zu finden. Die Experimente lassen sich grob in folgende Kategorien einteilen

- Bessere Repräsentation von Prozessen und dadurch Reduktion des Bias (z.B. durch den Einsatz alternativer Bodenmodelle (DecReg, DEPARTURE)
- Durch verbesserte Initialisierung des Bodens (DecReg, DEPARTURE)
- Optimierung der Spannbreite des Ensembles (z.B. LACEPS, REDCLIP)

Hier soll hauptsächlich auf zwei Projekt-übergreifende Aspekte eingegangen werden, die für Europa getestet wurden.

a) Multi-RCM gegenüber CCLM Ensemble

Der erste Aspekt betrifft die Verwendung eines oder mehrerer RCMs. Während für Afrika drei RCMs zum Einsatz kamen wurden für Europa zahlreiche Simulationen mit zwei RCMs (CCLM und REMO) durchgeführt. Aus der Literatur ist bekannt, dass sogenannte Multi-Modell Ensembles vorteilhaft sowohl für Vorhersagen (z.B. Doblas-Reyes et al., 2013) als auch für Klimaprojektionen sind. Der technische Aufwand für ein Prognosesystem steigt aber bei Verwendung mehrerer Modelle und ein einheitliches System wird bevorzugt. So ist die Strategie in MiKlip mit dem MPI-ESM nur ein globales System zu verwenden und dies in internationale Vergleiche (zum Beispiel im Rahmen von CMIP oder dem EU FP7 Projekt SPECS) einzubringen. Für regionale Modellierung gibt es noch keine weiteren Aktivitäten wie in MiKlip Modul C. Zum Test des Mehrwerts ein Ensemble mit zwei RCMs anstatt mit einem zu bestücken sind zwei Sätze von Simulationen geeignet:

- Für baseline0 (b0-EUR22) stehen Experimente mit beiden RCMs zur Verfügung, die dieselben Antriebsdaten verwenden – Dekade 2000 10 Realisierung, Dekaden 1960, 1970 1980, 1990 jeweils 2 Realisierungen.
- Bei b1-EUR44 wurden jährlich gestartet dekadische Hindcast für die Realisierungen R1 und R3 mit REMO und die Realisierungen R2, R4, R5, R8, R10 erstellt. Der Vergleich erfolgt hier über den Mehrwert gegenüber dem globalen Modell.

Beim Vergleich der Ensembles für die Dekade 2000 mit ihren 10 je Realisierungen zeigen CCLM und REMO in unterschiedliche Regionen einen Mehrwert. Als Beispiel ist in Abbildung 15 der MSESS für den 5-jahres Mittelwert der Temperatur dargestellt. Während CCLM für diese Dekade 2000 besonders in Mittel- und Osteuropa einen erhöhten Skill hat ist dies bei REMO in Skandinavien und Teilen Spaniens und Südfrankreich höher. Nimmt man beide zusammen gleichen sich Stärken und

Schwächen aus, so dass das Gesamt-Ensemble für das gesamte Untersuchungsgebiet einen leicht höheren Skill zeigt, als die Ensembles der einzelnen Modelle.

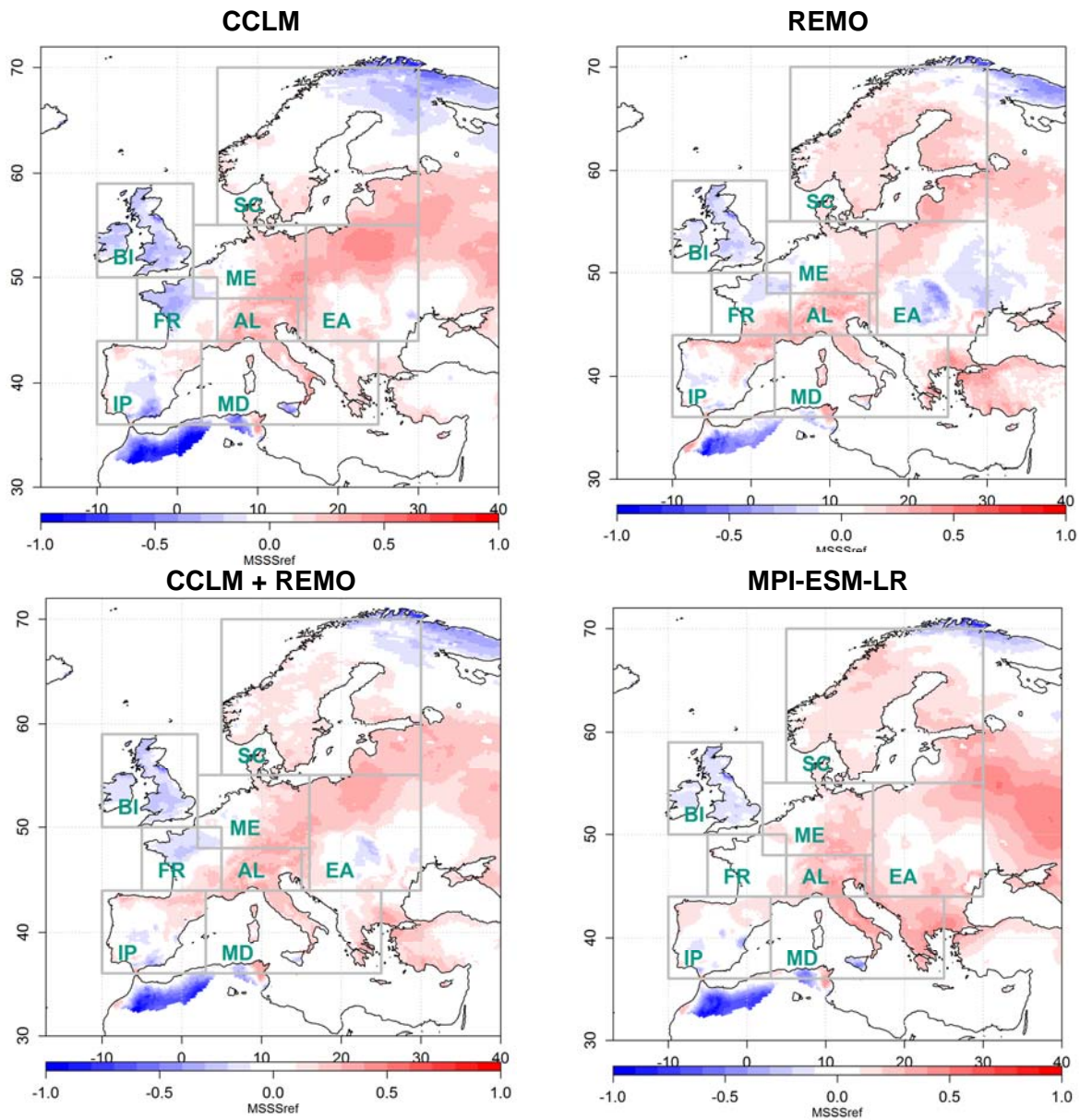


Abbildung 15: Vergleich Einzel-Modell-Ensembles mit Multimodell Ensemble (b0). MESS 5-jähriges Jahresmittel der bodennahen Temperatur im Vergleich mit E-Obs Beobachtungen für die Dekade 2000 (je 10 Ensemble-Mitglieder). Links oben: CCLM, rechts oben: REMO, links unten CCLM+REMO, rechts unten: MPI-ESM-LR

Analysiert man die Ergebnisse des b1-EUR44 Ensembles ergeben sich vergleichbare Erkenntnisse. Da mit REMO und CCLM verschiedene Realisierungen simuliert wurden, lassen sich die Ergebnisse nicht direkt vergleichen, sondern nur über den Mehrwert zu den jeweiligen Antriebsdaten des MPI-ESM. Abbildung 16 zeigt die Differenz dieses Mehrwerts zwischen dem kombinierten (CCLM+REMO; 7 Realisierungen von Dekade 1960 – 2003) und dem CCLM Ensemble (5 Realisierungen). Bei roten Farben zeigt das kombinierte Ensemble einen besseren Mehrwert als CCLM

alleine. Dies ist vor allem rund um das Mittelmeer der Fall. In Mitteleuropa ist dagegen kaum ein Mehrwert festzustellen.

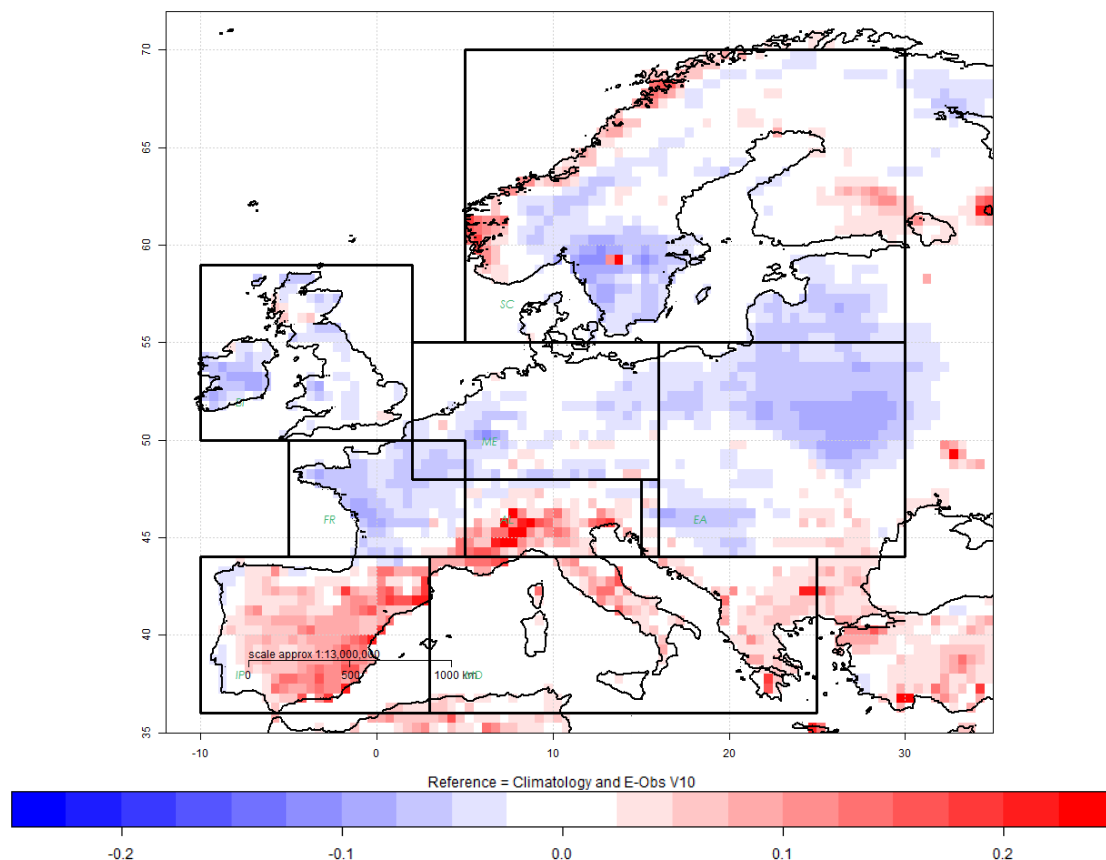


Abbildung 16: Mehrwert Multimodell gegenüber CCLM Ensemble. Downscaling des MPI-ESM-LR baseline1 Ensembles. MESS Temperatur Vorhersagehorizont Jahr 2-5; Startjahre 1960-2003. Bei roten Farben zeigt das kombinierte Ensemble einen Mehrwert gegenüber dem CCLM Ensemble.

Als Fazit ist zu ziehen, dass ein Multimodell-Ensemble zwar Vorteile bringt, dieser aber in vielen Regionen nicht so hoch ausfällt, dass er nicht durch ein um weitere Realisierungen vergrößertes CCLM Ensemble kompensieren ließe.

b) Mehrwert durch Erhöhung der Auflösung

Bei der Wahl der optimalen Auflösung des regionalen Ensembles geht es um die Abwägung, zwischen dem erwarteten Mehrwert durch die höhere Auflösung und dem Aufwand die Durchführung der Simulation. Bei einer Verdoppelung der Auflösung wird etwa die acht-fache Rechenzeit und der vierfache Speicherplatz benötigt, wenn dasselbe Modellgebiet abgedeckt werden soll. Als Standard-Auflösung wurde in Miklip 0.22° ($\sim 25\text{km}$) festgelegt. Mit dieser Auflösung wurden sowohl für baseline0 als auch für baseline1 Simulationen erstellt. Um für baseline1 die weiter oben genannten Fragestellungen zum Vorhersagehorizont der Hindcasts beantworten zu können, war es notwendig eine Vielzahl von Startjahren zu simulieren. Um diese deutlich erhöhte Zahl von Simulationen bei gegebener Rechenzeit bewältigen zu

können, wurde für das b1-EUR44 Ensemble die Auflösung auf 0.44° (~50km) reduziert. Um den Effekt der Auflösung auf die Vorhersagegüte zu bestimmen standen Hindcasts für 5 Startjahre mit je 8 Realisierungen mit übereinstimmenden Antriebsdaten zur Verfügung.

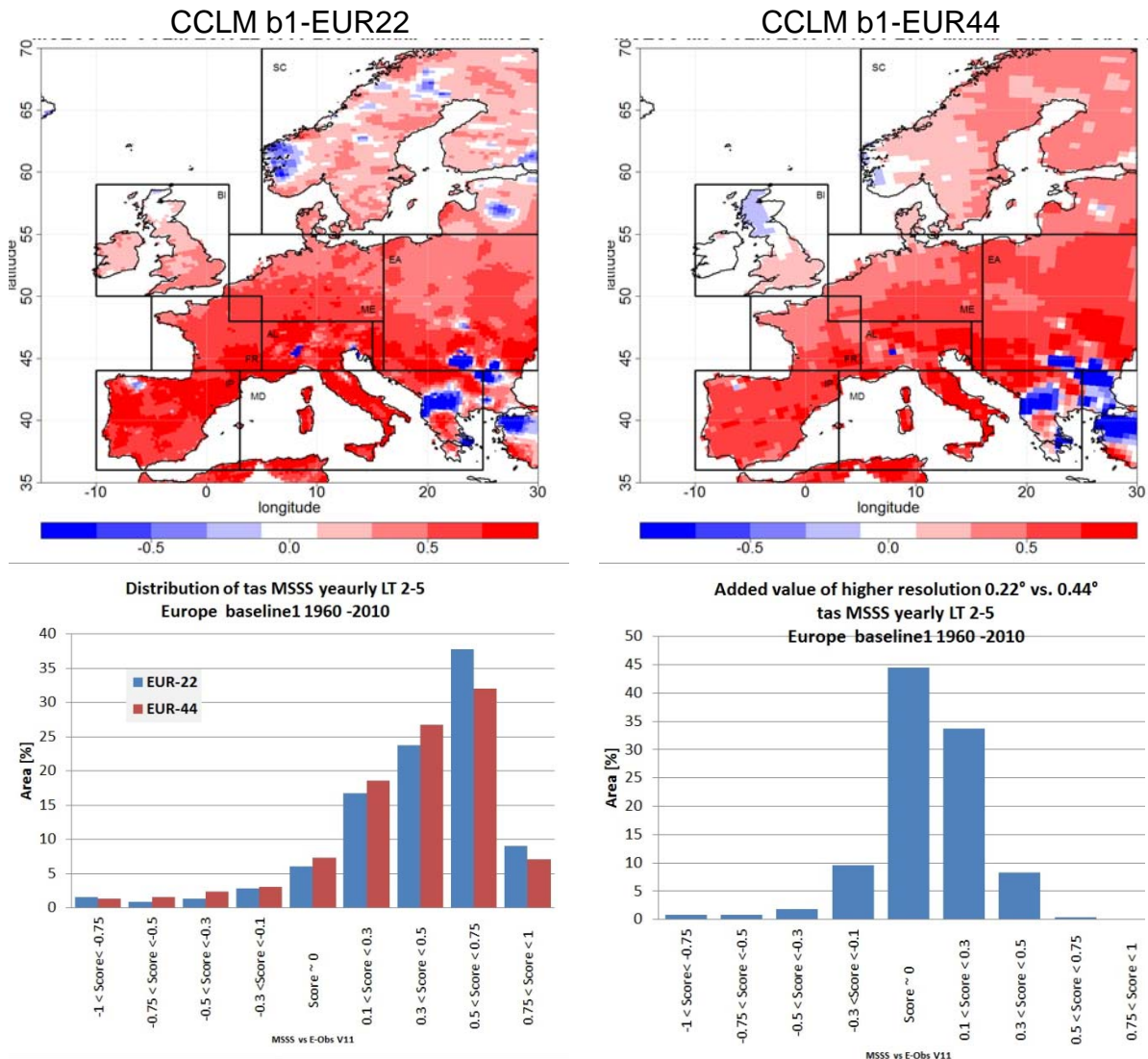


Abbildung 17: Mehrwert einer Erhöhung der Auflösung der Hindcasts mit CCLM von 0.44° auf 0.22°. MSESS der Temperatur Jahr 2-5 im Vergleich zu E-Obs Beobachtungen. Links oben: CCLM-EUR-22, rechts oben: CCLM b1-EUR44, links unten Verteilung der Skill Scores auf den Wertebereich (je weiter rechts, desto besser), blau: CCLM mit 0.22° Auflösung, rot 0.44° Auflösung. Rechts unten: Verteilung des Mehrwerts: MSESS b1-EUR22 – b1-EUR44.

Abbildung 17 zeigt die Ergebnisse des Vergleichs. Wie erwartet liegt der Skill des Ensembles mit höherer Auflösung besonders dort höher wo komplexe Topographie vorherrscht, z.B. Im Bereich der Alpen bis zum Schwarzen Meer. Generell finden sich mehr Gitterpunkte im Bereich hoher bis sehr hohem Skills. Blaue Bereiche mit stark negativem Skill sind vermutlich weitgehend auf inhomogene Beobachtungs-Daten zurückzuführen.

6. Fazit

In Regio_Predict wurde in enger Zusammenarbeit mit den anderen Modul C Projekten die Grundlagen für ein regionales Ensemble-Vorhersagesystem auf der dekadischen Zeitskala gelegt. Dazu waren vielfältige Entwicklungen im Bereich der Modellierungs-Strategie sowie bei der Analyse und Bewertung der Ergebnisse notwendig.

Es wurden projekt-übergreifend mehrere Ensemble Generationen dekadischer Hindcasts erzeugt und analysiert. Damit konnte die Durchführbarkeit gezeigt werden. Die dabei entstandenen Daten stehen in standardisierter Form auf dem MiKlip Server allen Beteiligten für weitere Auswertungen zur Verfügung.

Die Ensembles sowie weitere Referenz- und Sensitivitäts-Simulationen halfen dabei ein optimiertes regionales Ensemble-System für die zweite Phase von MiKlip zu definieren. Dies wird mit CCLM nur noch ein Regionalmodell enthalten. Die schnellere Rechnerumgebung ermöglicht es jetzt die für eine robuste Bewertung der Vorhersagegüte notwendigen umfangreichen Simulationen, mit jährlich initialisierten und einer dem Globalmodell entsprechenden Anzahl von Realisierungen in der höheren Auflösung (25 km) durchzuführen.

Es konnte gezeigt werden, dass die Regionalisierung dekadischer Prognosen die generelle Vorhersagegüte mindestens erhält. In vielen wichtigen Aspekten konnte ein Mehrwert nachgewiesen werden.

Aus den Arbeiten haben sich weitergehende vielversprechende Ansätze und Fragestellungen ergeben, die in einer zweiten Projektphase untersucht werden sollen. Dazu gehört eine eingehendere Untersuchung der komplexen Mechanismen, die zu einer Vorhersagegüte führen und tiefere Untersuchungen, welche Nutzer-relevante Klimainformation man für Europa gewinnen kann.

Publikationen und weitere Arbeiten aus Regio_Predict/ Modul C

- Sehlinger, A., 2012: Charakterisierung des Einflusses der Initialisierung des Bodens auf mittelfristige Trends im Untergrund und in der Atmosphäre, Diplomarbeit, KIT Karlsruhe, Institute of Meteorology and Climate Research IMK-TRO, 101pp. http://www.imk-tro.kit.edu/download_spezial/Diplomarbeit_Sehlinger.pdf
- Lettenbauer, A., 2013: Verifikation globaler dekadischer Klimaprognosen aus dem CMIP5 Projekt. Seminar-Thesis, KIT Karlsruhe, Institute of Meteorology and Climate Research IMK-TRO, 59pp.
- Uhlig, M. (2016): Regional decadal climate predictions for Europe – Feasibility & Skill. Dissertation. KIT Karlsruhe, Institute of Meteorology and Climate Research IMK-TRO.
- Khodayar, S., Sehlinger, A., Feldmann, H., Kottmeier, Ch. (2015): Sensitivity of soil moisture initialization for decadal predictions under different regional climatic conditions in Europe. *Int. J. Climatol.*, 35, 1899-1915.
- Mieruch, S., Feldmann, H., Schädler, G., Lenz, C.-J., Kothe, S., Kottmeier, Ch. (2014): The regional MiKlip decadal forecast ensemble for Europe: the added value of downscaling. *Geosci. Model Dev.*, 7, 2983-2999.
- Kottmeier, Ch., Feldmann, H. (2016): Regional decadal predictions and seamless prediction. Eingereicht bei PROMET.
- Marotzke, J., Müller, W.A., Vamborg, F.S.E., Becker, P., Cubasch, U., Feldmann, H., Kaspar, F., Kottmeier, Ch., Marini, C., Polkova, I., Prömmel, K., Rust, H.W., Stammer, D., Ulbrich, U., Kadow, Ch., Köhl, A., Kröger, J., Kruschke, T., Pinto, J.G., Pohlmann, H., Reyers, M., Schröder, M., Sienz, F., Timmreck, C., Ziese, M. (2016): MiKlip - a National Research Project on Decadal Climate Prediction. *Bulletin of the American Meteorological Society*, akzeptiert.
- Panitz, H.-J., Fosser, G., Sasse, R., Sehlinger, A., Feldmann, H., Schädler, G. (2013): Near Future Regional Climate Change for Germany and Africa. In: *High Performance Computing in Science and Engineering '12* [W. E. Nagel, D. Kröner, M. Resch (Eds.)]. DOI 10.1007/978-3-642-33374-3, Springer Berlin Heidelberg New York.
- Panitz, H.-J., G. Fosser, R. Sasse, K. Sedlmeier, S. Mieruch, M. Breil, H. Feldmann, and G. Schädler (2013): High Resolution Climate Modelling with the CCLM Regional Model. In: *High Performance Computing in Science and Engineering '13* [W. E. Nagel, D. Kröner, M. Resch (Eds.)], 513-527, DOI 10.1007/978-3-319-02165-2, Springer International Publishing.
- Panitz, H.-J., Schädler, G., Breil, M., Mieruch, S., Feldmann, H., Sedlmeier, K., Laube, N., Uhlig, M. (2015): High Resolution Climate Modelling with the CCLM Regional Model for Europe and Africa. in: *High Performance Computing in Science and Engineering '14*, [Nagel, W.E., Kröner, D., Resch, M. Eds.], 561-574, DOI 10.1007/978-3-319-10810-0, Springer International Publishing.

- Panitz, H.-J., Schädler, G., Breil, M., Mieruch, S., Feldmann, H., Sedlmeier, K., Laube, N., Uhlig, M. (2016): Application of the regional climate model CCLM for studies on urban climate change in Stuttgart and decadal climate prediction in Europe and Africa. in: High Performance Computing in Science and Engineering '15, [Nagel, W.E., Kröner, D., Resch, M. Eds.], 593-636, DOI 10.1007/978-3-319-24633-0, Springer International Publishing.
- Brinkmann, S., Bissolli, P. (2015): DecReg/MiKlip gridded fields of near-surface 2m temperature and 10m wind speed for the period 2001-2010. - v001, DWD Climate Data Center.
- Krähenmann, S., Bissolli, P., Rapp, J., Ahrens, B. (2013): Spatial gridding of daily maximum and minimum temperatures in Europe. *Meteor. Atmos. Phys.*, Vol. 120 (1), pp. 87-105.
- Kothe, S., Panitz, H.-J., Ahrens, B. (2014): Analysis of the radiation budget in regional climate simulations with COSMO-CLM for Africa. *Met. Z.*, Vol. 23 (2), pp. 123 – 141.
- Tödter, J., Ahrens, B. (2015): A Second-Order Exact Ensemble Square Root Filter for Nonlinear Data Assimilation. *Mon. Wea. Rev.*, DOI: 10.1175/MWR-D-14-00108.1.
- Haas, R., Pinto, J.G., Born, K. (2014a): Can dynamically downscaled windstorm footprints be improved by observations through a probabilistic approach? *J. Geophys. Res. Atmos.*, Vol. 119 (2), pp. 713–725.
- Haas, R., Reyers, M., Pinto, J.G. (2014b): Decadal predictability of regional-scale peak winds over Europe based on MPI-ESM-LR. *Met. Z.*, DOI: 10.1127/metz/2015/0583.
- Hueging, H., Haas, R., Born, K., Jacob, D., Pinto, J.G. (2013): Regional Changes in Wind Energy Potential over Europe Using Regional Climate Model Ensemble Projections. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, Vol. 52, pp. 903–917.
- Reyers, M., Pinto, J.G., Moemken, J. (2014): Statistical-dynamical downscaling for wind energy potentials – Evaluation and applications to decadal hindcasts and climate change projections. *Int. J. Climatol.*, Vol. 35 (2), pp. 229–244.
- Paxian, A., Sein, D., Panitz, H.-J., Warscher, M., Breil, M., Engel, T., Tödter, J., Krause, A., Cabos Narvaez, W. D., Fink, A. H., Ahrens, B., Kunstmann, H., Jacob, D., Paeth, H. (2016): Bias reduction in decadal predictions of West African monsoon rainfall using regional climate models. *J. Geophys. Res. Atmos.*, Vol. 121 (4), pp. 1715–1735.
- Moemken, J., Reyers, M., Buldmann, B., Pinto, J.G. (2016): Decadal predictability of regional scale wind speed and wind energy potentials over Central Europe. *Tellus A*, Vol. 68 (29199)
- Reyers et al. (2016): The potential for decadal predictability of temperature, wind speed, and precipitation over Europe in the MiKlip system. In Vorbereitung.
- Feldmann et al. (2016): A regional decadal prediction system for Europe: Skill and sensitivity. In Vorbereitung

Tagungsbeiträge (Regio_Predict, ohne MiKlip interne Beiträge):

- Feldmann, H., Sehlinger, A., Panitz, J.-J., Schädler, G. (2012): Untersuchung von Trocken- und Feuchtperioden in Europa mit einem regionalen Klimamodell. Deutsche Klimatagung, 09.10.2012- 12.10.2012, Freiburg, Vortrag
- Feldmann, H., Mieruch, S., Lenz, C.-J., Sieck, K., Kottmeier, Ch. (2013): Regional decadal prediction for Europe: First results. Geophysical Research Abstracts Vol. 15, EGU2013-3841, 2013, EGU General Assembly 2013, Vienna/Austria, Vortrag.
- Feldmann, H., Mieruch, S., Uhlig, M., Lenz, C.-J., Sieck, K., Kottmeier, Ch. (2013): Decadal predictions for Europe: Regional downscaling of the MiKlip decadal experiments. International workshop on seasonal to decadal prediction, 13 May - 16 May 2013, Toulouse/France, Vortrag.
- Lenz, C.-J., Früh, B., Feldmann, H., Schädler, G., Mieruch, S., Kothe, S., Davary-Adalatpanah, F., Becker, P., Kottmeier, Ch. (2013): Development of a limited-area climate ensemble prediction system for decadal forecasts. COSMO/CLM User Seminar 2013, Offenbach, Vortrag.
- Uhlig, M., Feldmann, H., Mieruch, S., Kottmeier, Ch. (2013): Regional decadal predictions for Europe: Skill and added value. EMS Annual Meeting Abstracts, Vol. 10, EMS2013-195, 2013 EMS 2013, Reading, 9.-13. September 2013, Vortrag.
- Feldmann, H., Uhlig, M., Mieruch, S., Lenz, C.-J., Schädler, G., Kottmeier, Ch. (2013): Decadal predictions for Europe: Regional downscaling of the MiKlip decadal experiments. CLM Assembly, 17 Aug - 30 Aug 2013, Zürich/Suisse, Vortrag.
- Kottmeier, Ch. (2013): Klimavorhersage – Regionalisierung der globalen dekadischen Prognosen. MiKlip Nutzer Treffen, Offenbach/Main, 5.12.2013, Vortrag.
- Mieruch, S., G. Schädler, H. Feldmann, C.-J. Lenz, S.Kothe, C. Kottmeier (2013): Assessing decadal predictability . AGU, 2013, San Francisco , Poster.
- Uhlig, M., Feldmann, H., Mieruch, S. (2014): Regionalized Decadal Hindcasts for Europe: Skill & Added Value, COSMO/CLM User Seminar, Offenbach, Poster.
- Uhlig, M., Feldmann, H., Mieruch, S., Kottmeier, Ch. (2014): Skill and Added Value of Regionalized Decadal Hindcasts for Europe, Geophysical Research Abstracts Vol. 16, EGU2014-5130, 2014, EGU General Assembly 2014, Vienna/Austria, Poster.
- Uhlig, M. (2014): Potential Predictability of Decadal Climate Variability Using Relative Entropy. Data analysis and modeling in Earth sciences DAMES2014 6. - 8.10. 2014, Vortrag.
- Feldmann, H., Uhlig, M., Mieruch, S., Schädler, G., Kottmeier, Ch. (2014): Regional decadal predictability and predictive skill from an RCM ensemble. CLM Assembly, Frankfurt am Main, Sep. 2 – Sep. 5, 2014, Poster.
- Feldmann, H. (2014): Regional downscaling of decadal predictions. AGU fall meeting, 15 Dec - 19 Dec 2014, San Francisco/USA, eingeladener Vortrag

Mieruch, S., G. Schädler, H. Feldmann (2014): Decadal prediction of European Soil Moisture. AGU, 2014, San Francisco, Poster

Feldmann, H. (2015): Decadal climate predictions: overview of the German MiKlip project, CLM Assembly, Luxemburg, 29.09. - 02.10.2015, eingeladener Vortrag.

Glossar

Begriff	Erläuterung
CMIP5	<i>Coupled Model Intercomparison Project Phase 5:</i> Projekt in dem globale Klimasimulationen für den 5. IPCC Sachstandsbericht erstellt wurden. CMIP5 enthält erstmals auch einen Teilbereich für dekadische Klimaprognosen, in die auch die ersten MiKlip Simulationen einfließen
CORDEX	<i>Coordinated Downscaling Experiment:</i> Project in dem auf koordinierte Weise regionales Downscaling globaler Klimasimulationen im Rahmen des IPCC Prozesses durchgeführt werden.
MiKlip Development Stages	Das MiKlip Projekt war in drei Entwicklungs-Phasen unterteilt, DS1 und DS2 dauerten je 18 Monate, DS3 12 Monate
MPI-ESM	Global-Modell im dekadischen MiKlip System. Besteht aus dem Atmosphären-Modell ECHAM6 (Stevens et al, 2013) gekoppelt mit dem Ozean-Modell MPI-OM (Junglaus et al., 2013) und dem Land-Oberflächen-Modell JSBACH (Hagemann et al., 2013)
MPI-ESM-LR	Low Resolution Version des MPI-ESM mit der horizontalen Auflösung T63 [$\sim 1.875^\circ$] = Version des MPI-ESM, welche in allen MiKlip Ensemble Generationen verwendet wurde
MPI-ESM-MR	Medium Resolution MPI-ESM – hat des selbe horizontale Auflösung wie LR in der Atmosphäre, aber mit erhöhter Vertikal-Auflösung und verfeinerter Auflösung im Ozean
Hindcast	Modellsimulationen unter Vorhersagebedingungen für vergangene Zeiträume (retrospektive Vorhersagen) sind die Hauptquelle um die erwartete Güte von Vorhersagen abschätzen zu können, indem man sie mit Beobachtungen vergleicht. Der typische Zeitraum der MiKlip Hindcasts startet 1960 und reicht bis an die Gegenwart (vgl. Abbildung 3)
Full-Field Initialisierung	Die Startbedingungen von Prognosen werden aus Beobachtungen abgeleitet.
Anomalie Initialisierung	Bei einer Anomalie Initialisierung werden nicht die beobachteten Bedingungen direkt im Modell verwendet, sondern dem Modell die Abweichungen zum klimatologischen Zustand aufgeprägt.
baseline0 (b0)	Erste Ensemble Generation von MiKlip (entspricht den für CMIP5 bereitgestellten Daten). Mit einfacher Anomalie Initialisierung (Matei et al., 2012) LR und MR Version
baseline1 (b1)	2. Ensemble Generation, mit verbesserter Initialisierung (Pohlmann et al., 2013, Matei et al., 2012). LR (10 Ensemble Mitglieder) und (MR 5 Ensemble Mitglieder) bei jährlichen Startwerten ab

	1960
prototype	3. Ensemble Generation mit 2x15 Ensemble Mitgliedern in der LR Konfiguration, Full Field Initialisierung
GCM	Globales Klimamodell (in MiKlip das MPI-ESM), auch gekoppeltes Klimamodell oder Erdsystemmodell ESM
RCM	Regionales Klimamodell
COSMO-CLM (CCLM)	Regionales Klimamodell (Rockel et al., 2008) – Standard RCM in MiKlip Modul C http://www.clm-community.eu/
REMO	Alternatives RCM in den Modul C Europa Ensembles
Modul C Projekte	<ul style="list-style-type: none"> • Regio_Predict: Koordination des Moduls C „Regionalisierung“ (KIT, IMK-TRO), Koordination und Focus Europa • DecReg: Regional Decadal Predictability (Verbundprojekt: <u>IMK-TRO</u>, DWD, Uni Frankfurt, Uni Mainz), Europa • LACEPS: A Limited-Area Climate Ensemble Prediction System, (DWD), Europa • REDCLIP: Regional Decadal Climate Prediction for Europe, (MPI-M Hamburg), Europa • PRODEF: Probabilistic Decadal Forecasts for Central and Western Europe (Uni Köln), Europa • DEPARTURE: Dekadische Klimavorhersage in der Westafrikanischen Monsunregion und in der Zyklogeneseregion des tropischen Atlantiks (Verbundprojekt: <u>Uni Würzburg</u>, KIT IMK-TRO und IMK-IFU, Uni Köln, Uni Frankfurt, MPI-M Hamburg), Afrika • FLAGSHIP: Feedback of a limited area model to the global scale implemented for decadal climate hind-casts and projections (<u>Uni Mainz</u>), 2-Wege Nesting, Afrika • MesoTel: Mesoskalige Entwicklung von Stürmen auf der Nordhemisphäre, Telekonnexionen und die inter-annuelle Klimavorhersage (Verbundprojekt: <u>BTU Cottbus</u>, FU Berlin), 2-Wege Nesting, Zentral Amerika/Nord Atlantik
Regionale Ensemble-generationen (Europa)	<ul style="list-style-type: none"> • b0-EUR22: Downscaling von MPI-ESM-LR b0, Auflösung 0.22° • b1-EUR22: Downscaling von MPI-ESM-LR b1, Auflösung 0.22° • b1-EUR44: Downscaling von MPI-ESM-LR b1, Auflösung 0.44°, jährliche Startwerte • pr-EUR22: Downscaling von MPI-ESM-LR prototype, Auflösung 0.22°
Skill	Vorhersagegüte
Skill Score	Metrik zur Bestimmung der Vorhersagegüte – in der

	Regel: perfekte Güte $SS = 1$; 0 = keine Verbesserung gegenüber Referenz, <0 = Prognose ist schlechter als die Referenz
Accuracy	Genauigkeit, der Vorhersagen, generelle Übereinstimmung mit den Beobachtungen
Reliability	Verlässlichkeit der Prognosen, Beantwortet die Frage, ob die Vorhersagen die Wahrscheinlichkeiten der beobachteten Klimaentwicklungen richtig wiedergeben und ob das Ensemble den Unsicherheitsbereich hinreichend abdeckt.
Discrimination	Diskriminierung – Gibt die Antwort auf die Frage, ob bei unterschiedlichen Entwicklungen des Klimas, das Ensemble auch unterschiedliche Prognosen liefert.
Added Value	Mehrwert einer alternativen Methode. In Modul C in der Regel Mehrwert der regionalisierten Ergebnisse gegenüber dem globalen Ensemble
MSESS	Mean Square Error Skill Score, = Mittlerer quadratischer Fehler des Ensemble Mittelwerts gegenüber einer Referenz-Prognose (z.B. zum klimatologischen Mittelwert, un-initialisierten Klimasimulationen, oder des Regional Modells gegenüber dem Global Modell
Vorhersagehorizont	English: Lead-time. Zeitfenster für die die Vorhersagen analysiert werden. Die Güte der Vorhersagen ist zeitabhängig. Daher werden zeitliche Ausschnitte der Prognosen betrachtet. Ein im Bereich der dekadischen Prognosen ist beispielsweise ein üblicher Wert, den Mittelwert über die Simulationsjahre 2-5 zu betrachten
AMO/AMV	<i>Atlantic Multidecadal Oscillation/Variability</i> . Index der Trend-bereinigten Meeresoberflächen-Temperatur im Nord Atlantik. Führender Variabilitätsmodus auf der dekadischen Zeitskala, mit einer Frequenz von ca. 50-70 Jahren

Literatur

- Doblas-Reyes, F. J. et al., 2013: Initialized near-term regional climate change prediction. *Nat. Communications*. 4:1715 doi: 10.1038/ncomms2704
- Feldmann, H., Früh, B., Schädler, G., Panitz, H.J., Keuler, K., Jacob, D., Lorenz, P. (2008): Evaluation of the Precipitation for South-western Germany from High Resolution Simulations with Regional Climate Models. *Meteorol. Z.*, 17 (4), 455-465.
- Goddard, L., A. Kumar, A. Solomon, D. Smith, G. Boer, P. Gonzalez, V. Kharin, W. Merryfield, C. Deser, S. J. Mason, B. P. Kirtman, R. Msadek, R. Sutton, E. Hawkins, T. Fricker, G. Hegerl, C. A. T. Ferro, D. B. Stephenson, G. A. Meehl, T. Stockdale, R. Burgman, A. M. Greene, Y. Kushnir, M. Newman, J. Carton, I. Fukumori, and T. Delworth (2013), A verification framework for interannual-to-decadal prediction experiments, *Clim. Dyn.*, 40, 245-272.
- Hagemann, S., Loew, A., Andersson, A. (2013). Combined evaluation of MPI-ESM land surface water and energy fluxes.
- Haylock, M. R., Hofstra, N., Klein Tank, A. M. G., Klok, E. J., Jones, P. D., New, M. (2008): A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950-2006, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113, D20 119, 2008.
- Jacob, D., 2001: A note to the simulation of the annual and inter-annual variability of the water budget over the Baltic Sea drainage basin. *Met. Atmos. Phys.*, **77**, 61-73.
- Jungclaus, J., Fischer, N., Haak, H., Lohmann, K., Marotzke, J., Matei, D., Mikolajewicz, U., Notz, D. & von Storch, J.-S. (2013). Characteristics of the ocean simulations in MPIOM, the ocean component of the MPI Earth System Model. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 5, 422-446 , doi:10.1002/jame.20023.
- Kanamitsu, M., and L. DeHaan (2011), The added value Index: A new metric to quantify the added value of regional models, *J. Geophys. Res.*, 116, D11,106.
- Karl, T. R., Nicholls, N., Ghazi, A. (1999), CLIVAR/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes: Workshop summary. *Climatic Change*, 42, 3-7.
- Keenlyside, N. S., Latif, M., Jungclaus, J., Kornbluh, L., Roeckner, E. (2008): Advancing decadal-scale climate prediction in the North Atlantic sector. *Nature*, **453**, 84-88.
- Matei, D., H. Pohlmann, J. Jungclaus, W. Müller, H. Haak, and J. Marotzke, 2012: Two tales of initializing decadal climate prediction experiments with the ECHAM5/MPI-OM model. *J. Climate*, **25**, 8502-8523.
- Pohlmann, H., Jungclaus, J. H. , Köhl, A., Stammer, D., Marotzke, J. (2009): Initializing decadal climate predictions with the GECCO oceanic synthesis: Effects on the North Atlantic. *J. Climate*, **22**, 3926–3938.

- Pohlmann, H., W. A. Müller, K. Kulkarni, M. Kameswarrao, D. Matei, F. S. E. Vamborg, C., Kadow, S. Illing, and J. Marotzke, 2013: Improved forecast skill in the tropics in the new MiKlip decadal climate predictions. *Geophys. Res. Lett.*, **40**, 5798-5802.
- Rockel, B., A. Will, and A. Hense, 2008: The regional climate model COSMO-CLM (CCLM). *Meteor. Zeitschr.*, **17**, 347-348.
- Smith, D. M., Cusack, S., Colman, A. W., Folland, C. K., Harris, G. R., Murphy, J. M. (2007): Improved surface temperature prediction for the coming decade from a global climate model. *Science*, **317**, 796-799.
- Stevens, B., Giorgetta, M., Esch, M., Mauritsen, T., Crueger, T., Rast, S., Salzmann, M., Schmidt, H., Bader, J., Block, K., Brokopf, R., Fast, I., Kinne, S., Kornblueh, L., Lohmann, U., Pincus, R., Reichler, T. & Roeckner, E. (2013). Atmospheric component of the MPI-M Earth System Model: ECHAM6. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 5, 146-172, doi:10.1002/jame.20015.
- Stolzenberger, S., Glowienka-Hense, R., Spangehl, T., Schröder, M., Mazurkiewicz, A., Hense, A. (2015): Revealing skill of the MiKlip decadal prediction system by three-dimensional probabilistic evaluation, *Meteorologische Zeitschrift*, p. NA, doi:10.1127/metz/2015/0606.
- Weigel, A. P., Mason, S. J. (2011), The Generalized Discrimination Score for Ensemble. Forecasts, *Mon. Weather Rev.*, 139, 3069-3074.
- Wilks, D. S. (2006): *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, 2nd Edition, Academic Press.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN geplant	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel MiKlip Regio_Predict: Koordination des Moduls C „Regionalisierung“	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Hendrik Feldmann Marianne Uhlig Christoph Kottmeier	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.12.2015
	6. Veröffentlichungsdatum 30.06.2016
	7. Form der Publikation Bericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) <i>Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMK-TRO), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Postfach 3640, 76021 Karlsruhe</i>	9. Ber. Nr. Durchführende Institution --
	10. Förderkennzeichen 01 LP 1150 A
	11. Seitenzahl 38
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 42
	14. Tabellen 3
	15. Abbildungen 17
16. Zusätzliche Angaben --	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) --	
18. Kurzfassung In Regio_Predict wurde in enger Zusammenarbeit mit den anderen Modul C Projekten die Grundlagen für ein regionales Ensemble-Vorhersagesystem auf der dekadischen Zeitskala gelegt. Dazu waren vielfältige Entwicklungen im Bereich der Modellierungs-Strategie sowie bei der Analyse und Bewertung der Ergebnisse notwendig, da die Regionalisierung dekadischer Prognosen hier erstmals systematisch angegangen wurde. Es wurden projekt-übergreifend mehrere Ensemble Generationen dekadischer Hindcasts erzeugt und analysiert. Damit konnte die Durchführbarkeit gezeigt werden. Die dabei entstandenen Daten stehen in standardisierter Form auf dem MiKlip Server allen Beteiligten für weitere Auswertungen zur Verfügung. Die Ensembles sowie weitere Referenz- und Sensitivitäts-Simulationen halfen dabei ein optimiertes regionales Ensemble-System für die zweite Phase von MiKlip zu definieren. Dies wird mit CCLM nur noch ein Regionalmodell enthalten. Die schnellere Rechnerumgebung ermöglicht es jetzt die für eine robuste Bewertung der Vorhersagegüte notwendigen umfangreichen Simulationen, mit jährlich initialisierten und einer dem Globalmodell entsprechenden Anzahl von Realisierungen in der höheren Auflösung (25 km) durchzuführen. Es konnte gezeigt werden, dass die Regionalisierung dekadischer Prognosen die generelle Vorhersagegüte des globalen Systems mindestens erhält. In vielen wichtigen Aspekten konnte ein Mehrwert nachgewiesen werden.	
19. Schlagwörter Dekadische Vorhersagen, regionale Klimaprognose, dynamisches Downscaling	
20. Verlag --	21. Preis --

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN planned	2. type of document (e.g. report, publication) Final Report
3. title MiKlip Regio_Predict – Coordination of Module C „Regionalization“	
4. author(s) (family name, first name(s)) Hendrik Feldmann Marianne Uhlig Christoph Kottmeier	5. end of project 2015/12/31
	6. publication date 2016/06/30
	7. form of publication Report
8. performing organization(s) (name, address) <i>Institute for Meteorology and Climate Research (IMK-TRO), Karlsruhe Institute of Technology (KIT), POB 3640, 76021 Karlsruhe, Germany</i>	9. originator's report no. --
	10. reference no. 01 LP 1150 A
	11. no. of pages 38
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references 42
	14. no. of tables 3
	15. no. of figures 17
16. supplementary notes --	
17. presented at (title, place, date) --	
18. abstract <p>Regio_Predict provided the basis for a regional ensemble prediction system for decadal time-scale in close cooperation with the other projects from MiKlip Module C. Various developments with respect to the modeling strategy, to the analysis and the assessment had to be done, because the regionalization of decadal predictions has been attempted here for the first time. Several ensemble generations of decadal hindcasts have been created in close cooperation between the projects. The feasibility of such an effort could be demonstrated. The data were provided in a standardized format to the MiKlip server for further studies by all participants.</p> <p>The ensembles and additional reference and sensitivity studies were used to optimize the regional ensemble system for a second phase of MiKlip. This system will consist of just one RCM, namely CCLM. The improved computing environment enables then to perform the large amount of simulations (annual starting dates times the number of realizations provided by the MiKlip GCM) to be able to derive an robust assessment of the hindcast skill in a high resolution version /25 km).</p> <p>It could be shown, that the regionalization of decadal predictions at least maintains the skill inherited from the global system. For many important aspects an added value could be demonstrated.</p>	
19. keywords Decadal Prediction, Regional Climate Prediction, Dynamical Downscaling	
20. publisher --	21. price --