

Project: **124**

Project title: **Quantification of Uncertainties in Regional Climate Simulations**

Principal investigator: **Klaus Keuler**

Report period: **2021-01-01 to 2021-12-31**

Die im Projekt RegIKlim vertretenen Modellregionen, die verschiedene Regionen in ganz Deutschland abdecken, benötigen sehr hochaufgelöste (räumliche und zeitliche) Klimainformationen, um die Auswirkungen des Klimawandels auf lokaler Ebene abschätzen zu können. Um den Bedarf des Projekts zu decken, wird eine spezielle Downscaling-Strategie angewendet.

Um die finale Auflösung von 3 km mittels dynamischen Downscaling zu erreichen, wurde eine Zwischennestungsstufe festgelegt, um den Sprung in der horizontalen Auflösung zwischen dem antreibenden globalen Zirkulationsmodell und dem regionalen Klimamodell gering zu halten. Um ebenfalls zur Erweiterung des Euro-CORDEX Ensembles beizutragen, wurde eine Europa-Domain mit 12 km Auflösung gewählt. ICON-CLM bietet auch die Möglichkeit einer dynamisch gekoppelten Zwei-Wege-Nestung. Allerdings ist dabei in der aktuellen Version nur eine Halbierung des Rechengitters - also Verdopplung der Auflösung - zwischen den Nestungsstufen möglich. Somit wurde ebenfalls ein Gitter mit 6 km Auflösung festgelegt.

Tabelle 1: Ausgewählte Modellgebiete der einzelnen Simulationsstufen.

Modellgebiet	Auflösungsstufe	Gitterzellen
Europa	R13B05, 12 km	199920 x 60
Zentraleuropa	R13B06, 6 km	205152 x 60
Deutschland	R13B07, 3 km	162452 x 65

Basierend auf den 12, 6 und 3 km Gittern wurden verschiedene Testsimulationen durchgeführt, um **(a)** die Resultate der 3 km Simulation angetrieben mit unterschiedlichen Randdaten analysieren zu können, **(b)** die Laufzeitumgebung SPICE zu testen, **(c)** die Performance auf MISTRAL abschätzen zu können und um **(d)** mögliche Bugs im ICON-CLM zu ermitteln.

(a) Es wurden 3 verschiedene Testsimulationen mit einstufiger und zweistufiger Nestung über die Ein-Wege-Kopplung durchgeführt. Hierbei wurde die 3 km Simulation mit den ICON-Ausgaben der 12 und 6 km Simulationen sowie mit GCM Daten (ERA5) angetrieben:

Testsimulationen:

1. GCM → ICON-CLM 12 km → ICON-CLM 3 km
2. GCM → ICON-CLM 12 km → ICON-CLM 6 km → ICON-CLM 3 km
3. GCM → ICON-CLM 3 km

Als Beispiel werden in Abb. 1 die Differenzen in der 2m-Temperatur basierend auf den oben genannten Testsimulationen gezeigt. Die linke (rechte) Abb. zeigt die 2m-Temperaturdifferenz zwischen der Testsimulation 2 und 1 (2 und 3). Man sieht, dass der direkte Antrieb der 3 km Simulation durch ERA5 Reanalysedaten zu niedrigeren 2m-Temperaturen führt (positive Differenzen - Abb. 1 rechts) als der indirekte Antrieb über die zwei ICON Zwischennestungsstufen mit 12 und 6 km Auflösung. Hingegen ist der Unterschied in der resultierenden 2m-Temperatur wesentlich geringer (Abb. 1 links) und damit unabhängiger davon, ob man ein oder zwei Zwischennestungsstufen zum Antrieb der 3 km Simulation verwendet. Dennoch werden lokal auch Differenzen von bis zu +/-8 K in der Momentantemperatur erreicht.

(b) Zur Durchführung von Klimasimulationen mit dem ICON-CLM auf MISTRAL wird eine Laufzeitumgebung (SPICE - Starter Package for ICON-CLM Experiments) verwendet. SPICE

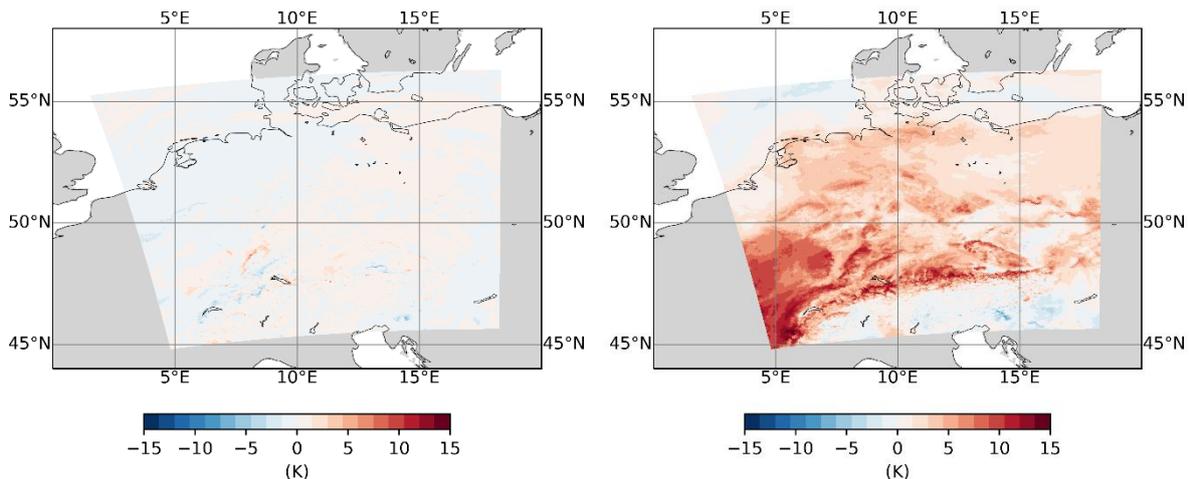


Abbildung 1: Differenzen der 2m-Temperatur zwischen den Testsimulationen 2 und 1 (links) bzw. 2 und 3 (rechts) für den 28. Januar 1979 um 12 Uhr.

steuert (i) das Präprozessieren der Randdaten (z.B. ERA5), die in das regionale Klimamodell ICON-CLM assimiliert werden, (ii) die Konfiguration und Ausführung der Klimasimulation, (iii) (iii) das Postprozessieren des originalen Modelloutputs inkl. der Projektion der Ergebnisfelder vom ICON-Gitter auf ein reguläres lat-lon Gitter und (iv) die Archivierung der Simulationsergebnisse. Die SPICE-Umgebung (entwickelt vom Helmholtz Zentrum Hereon) wurde an das ICON-CLM angepasst und ausgiebig getestet, insbesondere das Präprozessieren. Es wurde geprüft, ob (i) die Assimilationsdaten korrekt dem ICON-CLM-Gitter und damit den jeweiligen Land- und Wasserdreieckszellen zugeordnet wurden und (ii) die fehlenden Eingangsgrößen wie der Bodenfeuchteindex korrekt berechnet wurden. In Bezug auf das Postprozessieren wurden verschiedene cdo-Befehle getestet, um zu ermitteln, welcher am besten geeignet ist, die ICON-CLM-Daten auf ein reguläres Gitter zu transformieren. Normalerweise können die ICON-CLM Ausgaben bereits intern auf ein reguläres Gitter transformiert werden, jedoch ist das bei über das Ausgabeintervall summierten und gemittelten Größen aktuell nicht möglich.

(c) Die Klimasimulationen mit dem ICON-CLM sind sehr rechenintensiv. Die genehmigte Rechenzeit auf dem DKRZ-Server ist jedoch begrenzt, so dass ein Kompromiss zwischen Rechenzeit und den eingesetzten Ressourcen gefunden werden muss. Zu diesem Zweck wurden Testsimulationen auf dem 12, 6 und 3 km-Gitter durchgeführt, um herauszufinden, wie teuer die anstehenden Klimasimulationen werden (siehe Tab. 2).

Tabelle 2: Konfiguration und Rechenzeiten der einzelnen Simulationsstufen.

Modellgebiet	Auflösungsstufe	Gitterzellen	Zeitschritt	Nh/Monat
Europa	R13B05, 12 km	199920 x 60	100 s	50
Zentraleuropa	R13B06, 6 km	205152 x 60	50 s	100
Deutschland	R13B07, 3 km	162452 x 65	25 s	170

(d) Die Durchführung der oben genannten Simulationen zeigten ebenfalls, dass der ICON-CLM Code noch angepasst werden musste bzw. noch angepasst werden muss:

- Bodenwasserhaushalt ist nicht ausbalanciert (wurde bereits korrigiert)
- aktuell sind gekoppelte Zwei-Wege-Nestungen nicht möglich (Fehlersuche dauert an)
- Vergleich mit Beobachtungen zeigt, dass z.B. die 2m-Temperatur zu hoch ist (evtl. sind einige ICON-CLM Namelist Parameter noch nicht passend gesetzt - Optimierung dauert an)
- keine Reproduzierbarkeit der Simulationsergebnisse, wenn das Strahlungsschema ecRad in Kombination mit OpenMP threads verwendet wird