



Doctoral Thesis

Improving climate model projections by model evaluation and regional aggregation

Author(s):

Mahlstein, Irina

Publication Date:

2010

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-006233414> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 19113

Improving climate model projections by model evaluation and regional aggregation

A dissertation submitted to the
ETH ZURICH

for the degree of
DOCTOR OF SCIENCE

presented by

Irina Mahlstein

Dipl. Sc. Nat. ETH Zurich
born on 4 July 1979
citizen of Schenkon (LU) and Luzern (LU)

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Reto Knutti, examiner
Dr. Christof Appenzeller, co-examiner
Dr. Susan Solomon, co-examiner

Zurich 2010

Abstract

Climate change is and will be challenging societies and policy makers. Decisions for mitigation or adaptation are based on climate projections produced by climate models. However, due to structural and parametric differences between the models uncertainties are introduced into the projections. Efforts have been made to reduce these uncertainties, however it is not a trivial task to make climate projections more accurate. This thesis shows three different approaches how uncertainties can be reduced in the existing model data. The focus is set on regional projections and regional aggregation of climate change results.

In Chapter 2 the role of the ocean heat transport to the Arctic is analyzed in greater detail. Global warming caused by anthropogenic greenhouse gases impacts this region severely by changes in sea ice cover which have strong implications for the heat budget. Simulating future temperature increase in this region is difficult due to the complexity of this particular climate system. Atmosphere Ocean Global Circulation Models (AOGCM) show large uncertainties in their temperature projections for this region. In this study we show that the main differences in the pattern of the simulated surface temperatures of the AOGCMs are localized over the Barents Sea. This is a region where surface temperature depends on ocean currents, namely the North Atlantic Drift Stream bringing warm surface water to high latitudes. The strength of the northward ocean heat transport on the other hand impacts the sea ice cover in this region. Less sea ice leads to a stronger warming. Comparisons with observations reveal that those models which have a stronger northward ocean heat transport simulate the sea ice extent more accurately than those which have a weaker ocean heat transport. A major new finding of this thesis is that transporting less energy to the north induces more sea ice in the Arctic and consequently the future polar warming is less pronounced in these model projections.

In Chapter 3 a statistical approach is described which reduces uncertainties in regional projections significantly. So far, regional climate change results have often been presented on simple rectangular areas defined in a rather ad hoc way instead of being based on climatic features. Cluster analysis algorithms offer the opportunity to define regions in which certain variables of interest, e.g. the current climate, or the projected changes, have similar values. Working with the k-means algorithm it is possible to define regions for which the number and the shape depend on the variable(s) of interest. For a regional classification focused on one variable (e.g. temperature or precipitation) the spatial spread of the projections can be reduced significantly without introducing too much uncertainty in the model disagreement compared to the old set of regions used in previous studies. One disadvantage of the k-means algorithm is that the number of clusters (regions) needs to be pre assigned. In order to determine the optimal number of regions the uncertainty of the projection in each region is mini-

mized. A key finding of this work is that the suggested number of regions required to best represent climate similarity is larger compared to the regions used in the past for all variables looked at. This leads to regions encompassing climatic features of a rather small scale. Cluster analysis also offers the possibility to combine different aspects of a climate such as temperature and precipitation, two characteristics which are important for impact studies because of their relevance in plant phenology and therefore in ecosystems.

The poles, namely the North Pole, show the greatest absolute warming, today and in future. But relative to their climate variability these changes are not very large. The regions where the smallest global warming is needed for a significant change in their temperature regime are the tropical regions. Due to their small decadal variability a smaller global warming is needed for the signal to emerge out of the noise than in other regions as is shown in Chapter 4. Hence, large parts of the Tropics need to address sooner to climate change than others. However, the countries being affected earlier by the warming climate are largely the ones which are not responsible for the warming observed because the countries in the Tropics emit the least amount of CO₂. Based on these findings the small scale detectability of precipitation is analyzed using the same methods in Chapter 5. Local detectability of precipitation is difficult, especially in already dry regions due to their large variability in precipitation. In Chapter 6 a climate index is built based on the results in Chapter 4 and 5. Furthermore, an indicator for vulnerability and adaptive capacity are included in the index. Most tropical countries are in an unfavorable condition compared to others.

Summarized the major conclusions from this thesis are: (1) the northward ocean heat transport influences sea ice cover in the Arctic and has therefore an influence on temperature projections in the Arctic, (2) cluster analysis provides a tool to define homogenous climate regions at a higher spatial resolution than in past works, and (3) significant local warming in low latitudes is unavoidable.

Zusammenfassung

Die Klimaänderung zwingt die Mitglieder unserer Gesellschaft und Entscheidungsträger zum Handeln. Entscheidungen darüber, wie man den Klimawandel abschwächen kann oder ob man sich daran anpassen soll, basieren auf Klimaprognosen welche von Klimamodellen berechnet werden. Allerdings führen die strukturellen und die parametrischen Unterschiede zwischen den Klimamodellen zu Unsicherheiten in den Prognosen. Frühere Studien haben sich bereits damit auseinandergesetzt, wie Unsicherheiten in Klimaprojektionen reduziert werden können. Diese Arbeit zeigt drei neue Möglichkeiten auf, wie Unsicherheiten in regionalen Klimaprognosen reduziert werden können.

In Kapitel 2 wird die Rolle des ozeanischen Wärmetransports in die Arktis detailliert untersucht. Die durch anthropogene Treibhausgase verursachte Erwärmung führt zu starken Veränderungen in dieser Region. Die Erwärmung verändert die Meereisbedeckung, was wiederum zu Veränderungen in der Energiebilanz führt. Die Klimamodelle weisen grosse Unsicherheiten in der Arktis auf, da die physikalischen Zusammenhänge in dieser Region sehr komplex sind. In dieser Studie wird gezeigt, dass sich die von den Klimamodelle berechneten Bodentemperaturen am stärksten in der Barentssee unterscheiden. Die Temperaturen in dieser Region werden stark durch den nordatlantischen Driftstrom beeinflusst, welcher warmes Oberflächenwasser in die hohen Breiten transportiert. Die Meereisbedeckung wird ebenfalls durch die Stärke des nordwärts gerichteten Wärmetransports beeinflusst. Wird weniger Energie in die hohen Breiten transportiert, kann das Meereis in der Arktis stärker wachsen und daher ist die polare Erwärmung weniger stark ausgeprägt. Eine kleinere Meereisbedeckung führt über Rückkopplungsprozessen zu einer stärkeren Erwärmung. Jene Modelle, die einen stärkeren Wärmetransport aufweisen simulieren im Vergleich mit Beobachtungen die Meereisbedeckung besser als jene Modelle, die einen schwächeren Wärmetransport aufweisen.

Im dritten Kapitel dieser Arbeit wird eine statistische Methode beschrieben mit welcher Unsicherheiten in regionalen Klimaprognosen reduziert werden können. Bis jetzt wurden Klimaprognosen in rechteckigen Regionen aggregiert. Diese Regionen wurden allerdings eher ad hoc definiert und basieren weniger auf klimatischen Eigenschaften. Die Clusteranalyse ermöglicht es Regionen zu definieren in welchen bestimmte Variablen ähnliche Werte aufweisen. Der k-means Algorithmus bietet die Möglichkeit die Anzahl und die Form der Regionen so zu wählen, dass sie der Charakteristika der betrachteten Variable(n) am besten entsprechen. Im Vergleich zu den "alten" Regionen kann bei einer regionale Klassifizierung, die auf einer Variable basiert (z. B. Temperatur oder Niederschlag), die räumliche Unsicherheit signifikant reduziert werden ohne dabei die Unsicherheit, die von der Modelunstimmigkeit herrührt, stark zu erhöhen. Der k-mean Algorithmus besitzt allerdings den Nachteil, dass die Anzahl von Gruppen (hier Regionen) vordefiniert werden muss. Durch die Bestimmung der

optimalen Anzahl von Regionen kann die Unsicherheit in der Prognosen minimiert werden. Dies führt dazu, dass im Vergleich zu den "alten" Regionen mehr Regionen entstehen. In diesen kleineren Regionen werden nun klimatische Charakteristika abgebildet, wie es in den grossflächigen "alten" Regionen nicht möglich gewesen ist. In der Clusteranalyse können aber auch mehrere Klimavariablen gleichzeitig betrachtet werden, zum Beispiel Temperatur und Niederschlag. Diese beiden Grössen sind für die Phänologie der Pflanzen und die Ökosysteme sehr wichtig und damit eignen sich diese Regionen für Studien über die Auswirkungen des Klimawandels.

Die Pole, insbesondere der Nordpol, zeigen die stärkste absolute Erwärmung, heute wie auch in der Zukunft. Relativ zur Klimavariabilität gesehen, ist diese Erwärmung allerdings weniger stark. Bereits eine schwache globale Erwärmung führt in den Tropen zu einer signifikanten Änderung ihres Temperaturregimes. Das Signal der Änderung taucht entsprechend früh aus dem natürlichen Rauschen des Klimas auf, wie in Kapitel 4 gezeigt wird. Folglich muss sich ein grosser Teil der Länder in den Tropen früher mit den Auswirkungen des Klimawandels auseinandersetzen als andere. Sie gehören jedoch nicht zu den Ländern, die diesen Wandel zu verantworten haben, da sie am wenigsten CO₂ ausstossen. Basierend auf diesen Resultaten wurde im fünften Kapitel mit denselben Methoden die Nachweisbarkeit des Klimawandels in den modellierten Niederschlagsdaten untersucht. Regionale Nachweisbarkeit von Niederschlagsänderungen ist sehr schwierig, vor allem in Regionen, die bereits wenig Niederschlag erhalten. Im sechsten Kapitel wird ein Klimaindex eingeführt, welcher auf den Resultaten der beiden vorhergehenden Kapiteln basiert. Weiter wurde ein Indikator für die Schadenanfälligkeit und einer für die Anpassungsfähigkeit mit einbezogen. Im Vergleich mit den anderen Regionen befinden sich die meisten tropischen Länder in einer unvorteilhaften Ausgangslage.

Zusammenfassend können folgende Aussagen gemacht werden: (1) der ozeanische Wärmetransport beeinflusst die Meereisbedeckung in der Arktis und hat deshalb ebenfalls einen Einfluss auf die zukünftige arktische Erwärmung, (2) die Clusteranalyse bietet die Möglichkeit homogene Klimaregionen zu definieren, die zudem eine höhere räumliche Auflösung aufweisen als in älteren Studien und (3) eine signifikante Erwärmung in den tiefen Breiten lässt sich nicht mehr vermeiden.