

Arktische Klimaprozesse und globale atmosphärische Auswirkungen

Klaus Dethloff, Annette Rinke, Elena Sokolova,
Subodh Kumar Saha, Wolfgang Dorn, Dörthe Handorf,
Andreas Benkel, Burkhardt Rockel, Hans von Storch

Die globale atmosphärische Zirkulation wird maßgeblich durch die Polarregionen beeinflusst: Eisflächen besitzen ein großes Rückstrahlvermögen (Albedo) für Sonnenstrahlung. Somit erwärmen sich vom Eis bedeckte Bereiche deutlich weniger als unbedeckte Gebiete. In der Folge kann die Eisbedeckung weiter zunehmen. Umgekehrt kann eine Erwärmung einen Rückgang der Eisbedeckung mit weiter verstärkter Erwärmung nach sich ziehen. Mögliche Änderungen der Eisdicke, der Eisausdehnung und der beschriebenen Eis- und Schnee-Albedo-Rückkopplung stellen eine der größten Unsicherheiten bei der Vorhersage der zukünftigen Klimaentwicklung dar. Damit ist die Arktis eine Schlüsselregion für das Verständnis des globalen Klimasystems.

Zirkulation der arktischen Atmosphäre

Die arktische Zirkulation im Winter wird in der mittleren Troposphäre, d.h. in etwa fünf Kilometern Höhe, durch einen polaren Wirbel bestimmt, der mit seinem Druckminimum über Nordamerika liegt und sich bis nach Westeuropa erstreckt. Diese Druckverteilung wird durch die Topographie der Erdoberfläche, die Land-Meerverteilung und die Abstrahlung von Wärme in den Weltraum während der Polarnacht bestimmt. Dieses globale Muster der Luftdruck- und Temperaturverteilung hat sich in den letzten fünf Jahrzehnten deutlich verändert. In den Wintern trat eine signifi-

Arctic climate processes and global atmospheric impacts

Klaus Dethloff, Annette Rinke, Elena Sokolova,
Subodh Kumar Saha, Wolfgang Dorn, Dörthe Handorf,
Andreas Benkel, Burkhardt Rockel, Hans von Storch

The global atmospheric circulation is significantly influenced by the polar regions: Ice possesses a high backscatter capacity (albedo) for solar radiation. Therefore, ice covered areas warm up to a lesser extent than comparable ice free areas. As a result, the ice cover is able to grow further. On the other hand, initial warming can be amplified when resulting in a retreat of the ice cover. Possible changes in ice thickness, ice extent and the described ice- and snow-albedo feedback belong to the biggest uncertainties in the projection of the future climate evolution. In this context, the Arctic can be considered as a key region for understanding the global climate system.

Circulation of the Arctic atmosphere

The Arctic winter circulation in the middle troposphere, i.e. at about five kilometers height, is governed by a polar vortex, which has its pressure minimum over North America and extends across the whole Arctic up to Western Europe. The pressure pattern is determined by the topography of the earth surface, the land-sea distribution, and the massive heat loss due to long-wave radiation into the outer space during the polar night. This global pattern of sea-level pressure and temperature has changed considerably over the past five decades: A significant warming has become apparent in winter and a slight cooling in summer. The observed winter warming is

kante Erwärmung und in den Sommern ein leichte Abkühlung auf. Die beobachtete Erwärmung im Winter steht im Zusammenhang mit den Änderungen der Fernverbindungsmuster der Nordatlantischen Oszillation (NAO) oder der Arktischen Oszillation. Dieses natürliche Variabilitätsmuster zeichnet sich durch großräumige Schwankungen des Luftdrucks im Bereich des Islandtiefs und des Azorenhochs aus. In der positiven Phase der NAO sind Islandtief und Azorenhoch stärker ausgeprägt, in der negativen Phase abgeschwächt. Diese Luftdruckanomalien gehen in der positiven Phase einher mit einer verstärkten West-Ost-Strömung über dem Nordatlantik und einer schwächeren West-Ost-Strömung in der negativen Phase. Diese Schwankungen üben einen starken Einfluss auf das Klima Europas aus. In der positiven NAO-Phase gelangt vermehrt warme und feuchte Meeresluft nach Nord- und Mitteleuropa. In der negativen Phase transportieren großskalige Wellenmuster kalte Polarluft nach Europa.

Globale Auswirkungen arktischer Klimaprozesse

Die Auswirkung einer verbesserten Beschreibung der arktischen Prozesse für globale Klimamodelle wurde im europäischen Forschungsprojekt GLIMPSE („Global implications of Arctic climate processes and feedbacks“) untersucht. Eine verbesserte Beschreibung der Eis- und Schnee-Albedo-Rückkopplung wurde zunächst in einem regionalen Klimamodell der Arktis getestet und dann in ein globales Klimamodell des gekoppelten Systems Atmosphäre-Ozean-Meereis implementiert. Ein Vergleich zwischen Modellierungsergebnissen mit der verbesserten und der alten Eis-Albedo-Rückkopplung zeigt von der Arktis induzierte ringförmige Wellenstörungen, die sich bis in

linked to changes in the teleconnection pattern of the North Atlantic Oscillation (NAO) and the Arctic Oscillation (AO). This natural variability pattern is characterized by large-scale variations of sea-level pressure in the region of the Icelandic low pressure system and the high pressure system over the Azores. A negative pressure anomaly at Iceland and a positive pressure anomaly at the Azores characterize the positive NAO phase, whereas a positive pressure anomaly at Iceland and a negative pressure anomaly at the Azores represent the negative NAO phase. These pressure anomalies are associated with an increased zonal flow over the North Atlantic in the positive phase and a decreased zonal flow and stronger planetary wave patterns in the negative phase. These variations exert strong influence on the climate of Europe. In the positive NAO phase warmer and more humid air masses usually reach North and Central Europe, whereas in the negative phase large-scale wave patterns more frequently transport cold polar air masses onto Europe.

Global implications of Arctic climate processes

The global impacts of improved Arctic process parameterizations have been investigated in the European research project GLIMPSE (Global Implications of Arctic Climate Processes and Feedbacks). An improved parameterization of the ice and snow-albedo feedback was investigated in a regional climate model of the Arctic and afterwards implemented in a global climate model of the coupled atmosphere-ocean-sea-ice system. A comparison of the model results between the improved and the old ice-albedo feedback shows Arctic-induced annular wave disturbances, which propagate into the tropics (Figure 3).

die Tropen ausbreiten (Abb. 3). Diese von der Arktis ausgehenden dynamischen Änderungen bewirken eine Umverteilung der Energieflüsse der planetaren atmosphärischen Wellen und eine Zunahme der Wellenenergie in mittleren Breiten in der Troposphäre. Dadurch werden deutliche Änderungen in den Telekonnektionsmustern der Atmosphäre induziert (Abb. 4). Im Mittel sind das Islandtief und das Azorenhoch der NAO weniger stark ausgeprägt. Damit ist eine Tendenz zu negativen NAO-Phasen auszumachen. Man erkennt auch die aus Beobachtungen bekannte Nichtstationarität dieses Telekonnektionsmusters auf Zeitskalen von Jahrzehnten bis zu Jahrhunderten.

Arktische Prozesse üben somit starke Einflüsse auf das Fernverbindungsmuster in der Troposphäre und das europäische Klima aus. Damit muss angenommen werden, dass auch Szenarien der zukünftigen Klimaentwicklung von arktischen Prozessparametrisierungen beeinflusst werden.

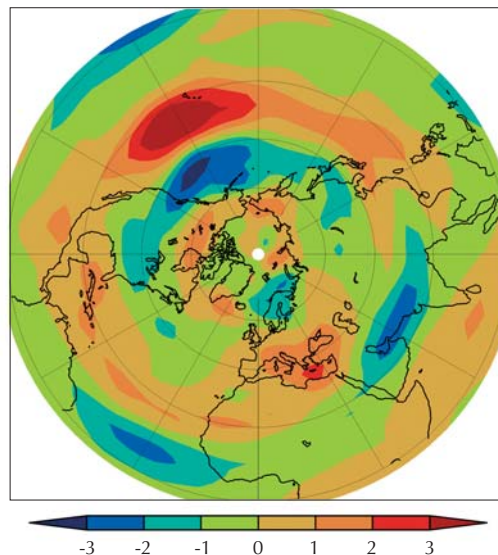
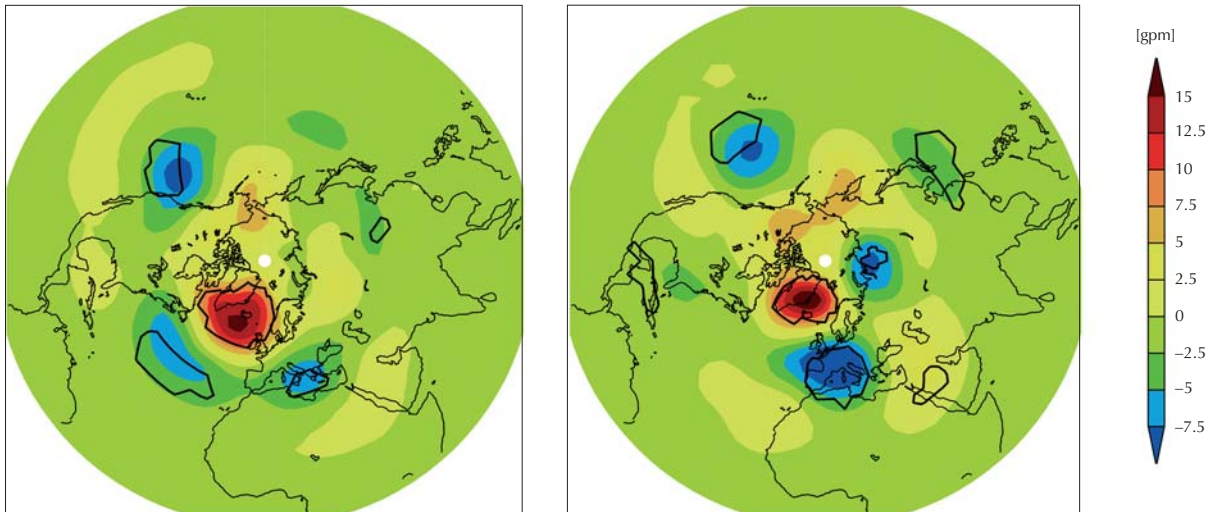


Abb. 3: Differenzen West-Ost-Komponente des Windes (m/s) in ca. fünf Kilometern Höhe (Zonalwind in 500 Hektopascal) zwischen alten und neuen Modellrechnungen als Mittel über acht Winter. In gelb-roten Bereichen ist die Strömung im neuen Modell westlicher, in grün-blauen Bereichen östlicher als im alten Modell.

Fig. 3: Differences of the zonal wind component (m/s) at about five kilometers height (zonal wind at 500 hPa) between model simulations with new and old albedo parameterization averaged over 8 winters. Yellow and red colors indicate regions where the new simulation yields a stronger westerly flow, green and blue colors indicate a stronger easterly flow.

Abb. 4: Vergleich des Luftdrucks (geopotenzielle Höhe des 500 Hektopascal-Niveaus) zwischen alten und neuen Modellrechnungen. Rote Bereiche deuten auf einen höheren durchschnittlichen Luftdruck in den neuen Modellrechnungen hin, blaue auf einen niedrigeren. Links: Mittelwert über die ersten 250 Winter des 500-jährigen Modelllaufs, rechts: Mittelwert über die zweiten 250 Winter.

Fig. 4: Comparison of the pressure (geopotential height of the 500 hPa level) between model simulations with new and old albedo parameterization. Red colors indicate higher pressure in the new simulations, blue colors indicate lower pressure. Left hand side: average over the first 250 winters of the 500-year model simulation; right hand side: average over the second 250 winters.



These dynamical changes originated from the Arctic produce a redistribution of the energy fluxes of the planetary atmospheric waves and an increase of wave energy in the mid-latitude troposphere. This induces distinct changes in the teleconnection patterns of the atmosphere (Figure 4). The Icelandic low and the Azores high pressure centers of the NAO are less pronounced on average. This represents a tendency towards negative NAO phases. Furthermore, the non-stationarity of this teleconnection pattern on time scales from decades to centuries, which is well-known from observations, is also visible in the simulations.

Thus, Arctic processes exert strong influence on tropospheric teleconnection patterns and the European climate. For this reason, it has to be assumed that scenario simulations of the future climate will be affected by parameterizations of Arctic climate processes as well.