

Forschungsthema des Monats Oktober: Topic 1
Gekoppelte regionale Klimamodelle

Verbesserung der simulierten arktischen Wolkenbedeckung auf der Basis von Satellitenbeobachtungen

Wolken haben einen fundamentalen Einfluss auf die Oberflächenenergiebilanz. Während ihre abkühlende Wirkung aus der Reflexion solarer Strahlung resultiert (Wolkenalbedoeffekt), wirken sie durch Absorption und (Re-)Emission terrestrischer Strahlung erwärmend auf die Erdoberfläche (Wolkentreibhauseffekt). In der Arktis treten überwiegend Grenzschichtwolken auf, die sich in den unteren 1-2 km der Troposphäre bilden, durch eine große saisonale und jährliche Variabilität charakterisiert sind und eine Antikorrelation zur arktischen Meereisausdehnung aufweisen. Hierbei handelt es sich um bisher unzureichend verstandene Mischphasenwolken, bei denen die flüssige und feste Wasserphase trotz tiefer Temperaturen bis -40°C koexistieren. Neben der Phase der Wolkenpartikel und der Aerosolbelastung gibt es zahlreiche Einflussfaktoren, die den solaren und terrestrischen Strahlungstransfer mitbestimmen. Während der solare Wolken-Strahlungs-Antrieb z.B. auch von der Oberflächenalbedo und dem Transmissionsgrad der Wolke sowie dem solaren Zenitwinkel abhängt, ist der terrestrische Wolken-Strahlungs-Antrieb zusätzlich eine Funktion der Wolkenhöhe, -temperatur und -emissivität. Insgesamt wird der fast ganzjährig vorherrschende Netto-Erwärmungseffekt arktischer Wolken auf die Erdoberfläche nur von einer kurzen Sommerperiode unterbrochen, in welcher der Wolkenalbedoeffekt überwiegt.

Ein generelles Problem der globalen und regionalen Klimamodellierung ist die unterhalb der Gitterauflösung („subgridskalig“) stattfindende Behandlung von Wolkenprozessen mittels physikalischer Parametrisierungen, welche idealerweise die gesamte Komplexität der Wolkenmikrophysik wie Phasenänderungen und Niederschlagsprozesse umfassen sollten. Die besonders in der zentralen Arktis spärliche Verfügbarkeit von Wolkenbeobachtungen stellt allerdings ein großes Hindernis bei der Formulierung geeigneter Wolkenparametrisierungen sowie der Validierung von Modellergebnissen dar. Problematisch bei der Simulation des arktischen Klimas ist die beschränkte Fähigkeit der Modelle, arktische Mischphasenwolken und deren vertikale Wolkenstruktur adäquat wiederzugeben. Beim Vergleich verschiedener regionaler Klimamodelle mit Beobachtungen zeigt sich eine große Streuung und Unsicherheit bei der simulierten arktischen Wolkenbedeckung. Selbst die aktuellsten Reanalysen weisen trotz Assimilation von Messdaten deutliche Defizite im Vergleich zu Wolkenbeobachtungen auf. Darüber hinaus hat der aktuelle, fünfte IPCC-Sachstandsbericht bestätigt, dass die mit Wolken und Aerosolen verbundenen Rückkopplungseffekte den größten Unsicherheitsfaktor bei Klimasensitivitätsabschätzungen darstellen.

In der vorliegenden Studie dienten satellitengestützte Wolkenbeobachtungen (MODIS und CPR/CALIOP) und Simulationen mit dem atmosphärischen Säulenmodell HIRHAM5-SCM (Klaus et al., 2012) zur Validierung bzw. Verbesserung der arktischen Wolkenbedeckung im regionalen Atmosphärenmodell HIRHAM5. Wie von Klaus (2014) beschrieben, nutzt dieses Modell eine horizontale Auflösung von 0.25° (ca. 25km) sowie 40 druckbasierte und geländefolgende vertikale Schichten. Der aktuellste Reanalysedatensatz des ECMWF „ERA-Interim“ (ERAInt) wurde zur Modellinitialisierung, für den seitlichen Randantrieb und als „dynamische Relaxation“ (Nudgingtechnik) im Inneren des Modellgebietes verwendet. Die letztgenannte Methode ermöglicht die Übernahme der (als Realität angenommenen) großräumigen Zirkulation aus ERAInt-Daten und erlaubt somit die Analyse und Verbesserung der subgrid-skaligen physikalischen Prozesse im Modell. Im Vergleich zu den Reanalysedaten (ERAInt) zeigt Abbildung 1 für den HIRHAM5-Kontrolllauf (HH5ctrl) eine deutlich geringere systematische Überschätzung der beobachteten (MODIS und CPR/CALIOP) Gesamtwolkenbedeckung über Meereis. Dies beweist den Mehrwert regionaler Klimamodellsimulationen.

Umfangreiche Sensitivitätsstudien mit der eindimensionalen Modellversion HIRHAM5-SCM lassen den Schluss zu, dass die Kombination einer gezielten Parameteranpassung zur besseren Beschreibung der Wolkenmikrophysik (effizienterer Bergeron-Findeisen-Prozess) mit der Erweiterung des prognostisch-statistischen Wolkenchemas nach Tompkins

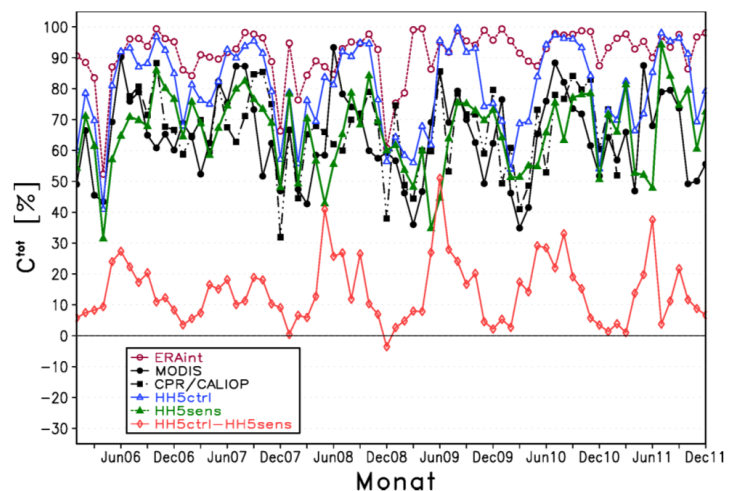


Abb. 1: Gesamtwolkenbedeckung an der Startposition der 35. russischen Nordpol-Driftstation (81.40°N ; 102.81°O) basierend auf der aktuellen ECMWF-Reanalyse (ERAInt), den Satellitendatensätzen MODIS bzw. CPR/CALIOP und dem Kontroll- (HH5ctrl) bzw. Sensitivitätslauf (HH5sens) des HIRHAM5 sowie deren Differenz (rote Kurve).

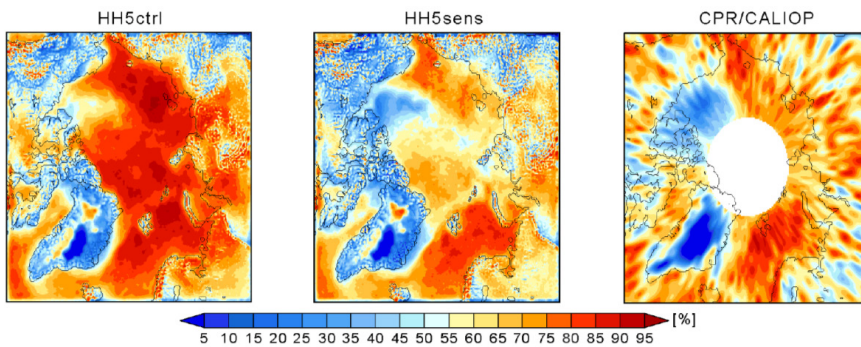


Abb. 2: Simulierte tiefe Wolken (>700 hPa) im HIRHAM5-Kontrolllauf (links) bzw. -Sensitivitätslauf (Mitte) verglichen mit dem Satellitenprodukt CPR/CALIOP (rechts) für den Herbst (September-Oktober-November) 2007. Das Kreuz kennzeichnet die in Abb. 1 benutzte geografische Position.

(2002) am besten zur Korrektur der simulierten Wolkenbedeckung geeignet ist (für Details siehe Klaus, 2014). Dieses verbesserte Modellsetup wurde in einem entsprechenden HIRHAM5-Sensitivitätslauf (HH5sens) verwendet. Die eingeführten Modifikationen verursachen eine systematische und signifikante Verringerung der modellierten Wolkenbedeckung und verbessern insbesondere die Simulation tiefer (>700 hPa) Wolken über dem meereisbedeckten Arktischen Ozean (Abb. 1, grüne Kurve und Abb. 2). Folglich ist das bzgl. Meereis bestimmte mehrjährige Jahres-Gebiets-Mittel der Gesamtwolkenbedeckung um fast 14% geringer als im Kontrolllauf (HH5ctrl) ohne Optimierung des Wolkenschemas. Obwohl HHsens die beobachtete Gesamtwolkenbedeckung im Gegensatz zu HH5ctrl insgesamt unterschätzt, wird ein betragsmäßig nur noch halb so großer Fehler des mehrjährigen Jahresmittels (ca. 2%) relativ zu CPR/CALIOP in Bezug auf alle Breiten nördlich von 60°N produziert. Die verbesserte Simulation der Wolkenbedeckung, Wolkenstockwerke und des Verhältnisses aus Wolkenwasser- und Wolkeneisgehalt korrigiert den atmosphärischen Strahlungstransfer, die Oberflächenenergiebilanz und die turbulenten (vertikalen) Flüsse von Wärme, Feuchte und Impuls. Dies

wiederum ermöglicht z.B. die Abschwächung des mittleren positiven Temperaturfehlers in den untersten Modellschichten um bis zu 1°C. Eine realistische Wolkensimulation ist daher auch bei Klimaprojektionen von essentieller Bedeutung.

Referenzen

Klaus, D., W. Dorn, K. Dethloff, A. Rinke und M. Mielke (2012): Evaluation of Two Cloud Parameterizations and Their Possible Adaptation to Arctic Climate Conditions, *Atmosphere*, 3(3): 419–450.

Klaus, D. (2014): Validierung und Verbesserung der arktischen Wolkenparametrisierung im regionalen Atmosphärenmodell HIRHAM5, Dissertation, Universität Potsdam.

Tompkins, A. M. (2002): A Prognostic Parameterization for the Subgrid-Scale Variability of Water Vapor and Clouds in Large-Scale Models and Its Use to Diagnose Cloud Cover, *J. Atmos. Sci.*, 59(12): 1917–1942.

Ansprechpartner:

Dr. Daniel Klaus (AWI, Potsdam)

Prof. Dr. Klaus Dethloff (AWI, Potsdam)

Kurzbiografie REKLIM Nachwuchswissenschaftler

Daniel Klaus, Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI)

Daniel Klaus ist ein an der Universität Potsdam ausgebildeter Diplom-Physiker, der seit April 2010 am AWI-Potsdam an seiner dem REKLIM Thema 1 zugehörigen Dissertation arbeitete. Auf der Grundlage von Reanalysedaten sowie boden- und satellitengestützten Beobachtungen konnte die arktische Wolkenparametrisierung im regionalen Atmosphärenmodell HIRHAM5 validiert und verbessert werden. Dabei zeigten sich sowohl die enorme Wichtigkeit einer realistischen Simulation der Wolkenbedeckung, Wolkenstockwerke und Wasserphase der Wolkenteilchen als auch die Schlüsselrolle von Wolken für die Oberflächenenergiebilanz in der Arktis. Auch nach Abschluss seiner Promotion im Juni 2014 blieb Daniel Klaus dem AWI-Potsdam verbunden und ist seitdem als Postdoc tätig, wobei auch die Zusammenarbeit mit dem Goddard Space Flight Center der NASA weiterentwickelt wird.

„REKLIM ermöglicht den interdisziplinären Austausch und beleuchtet das Klimasystem aus verschiedenen Blickwinkeln. Dennoch ist die auf Beobachtungsdaten basierte Verbesserung von physikalischen Parametrisierungen in Klimamodellen Grundvoraussetzung für glaubwürdige Klimaprojektionen.“

