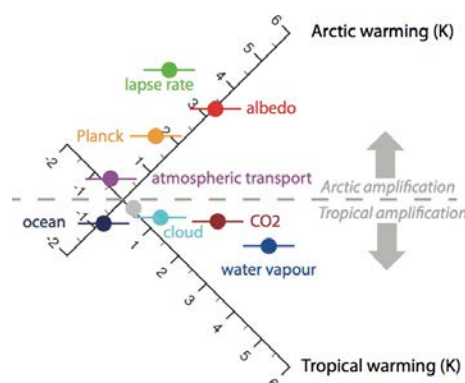


## Verstärkte Erwärmung der Arktis

Das Klima ändert sich in der Arktis schneller als in anderen Regionen der Erde. Diese „arktische Verstärkung“ wurde in warmen und auch in eiszeitlichen Perioden der Klimageschichte sowohl in historischen Beobachtungen als auch in Klimamodellsimulationen gefunden. Bei einer Klimaerwärmung wird das Phänomen häufig mit dem Rückgang von Schnee und Eis erklärt, der zu einer stärkeren Erwärmung durch erhöhte Sonneneinstrahlung führt (positive Eis-Albedo-Rückkopplung). Die beiden Wissenschaftler Dr. Felix Pithan und Dr. Thorsten Mauritsen in der Abteilung „Atmosphäre im Erdsystem“ am Max-Planck-Institut für Meteorologie analysieren in ihrer Studie Ergebnisse der CMIP5-Simulationen und quantifizieren die relativen Beiträge zu den simulierten arktischen und tropischen Temperaturänderungen. Sie zeigen, dass die Temperatur-Rückkopplung einen größeren Beitrag zur arktischen Verstärkung leistet als die Eis-Albedo-Rückkopplung und zwar wegen der kalten arktischen Temperaturen einerseits und der Konzentration der Erwärmung im unteren Teil der arktischen Troposphäre andererseits.

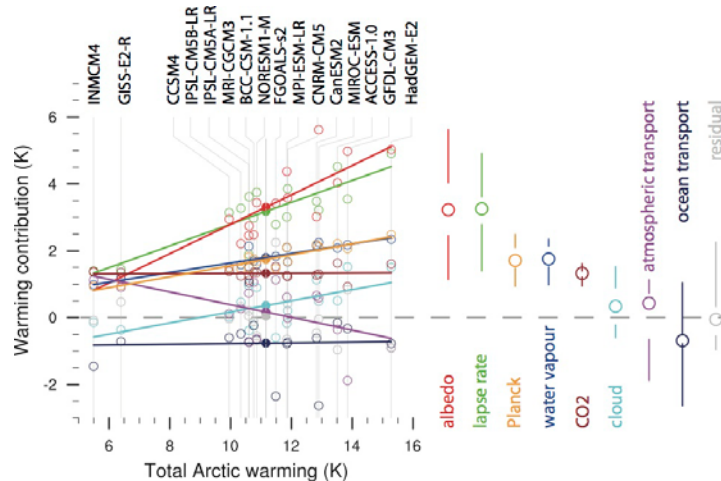
Es ist allgemein akzeptiert, dass in einem sich erwärmenden Klima die zusätzliche Absorption der Sonnenstrahlung durch Schmelze von Schnee und Eis zu einem positiven Rückkopplungsmechanismus in hohen geographischen Breiten führt. Einige neuere Studien werben für diesen Mechanismus als der Hauptquelle für die verstärkte Erwärmung der Arktis, obwohl Zweifel in Modellstudien mit ausgeschaltetem Eis-Albedo-Effekt aufkamen und in Modellen generell die langwelligeren Strahlungsänderungen größer sind als die kurzwelligen. Alternative Überlegungen beinhalten sowohl Änderungen von Wasserdampf, Wolken und der vertikalen Temperaturverteilung als auch von höheren atmosphärischen und ozeanischen Energietransporten aus niedrigen Breiten.

Die Auswirkung von steigenden Temperaturen auf die langwellige Ausstrahlung in den Weltraum ist die größte negative Rückkopplung, die dem Klimasystem erlaubt, sich mit einer bestimmten Temperatur unter gegebenen Bedingungen zu stabilisieren. Es ist nützlich, diese Rückkopplung aufzuspalten in eine „Planck-Rückkopplung“, d.h. eine sich einheitlich erwärmende Troposphäre ausgehend von der Oberflächenerwärmung, und in eine „Temperaturgradient-Rückkopplung“ („lapse rate feedback“), bedingt durch die Abweichung von der einheitlichen vertikalen Erwärmung.



**Abb.1:** Arktische (>60N) gegenüber tropischer (30S-30N) Erwärmung aus individuellen Rückkopplungen, CO<sub>2</sub>-Antrieb, atmosphärischer meridionaler Energietransport und Wärmeaufnahme durch den Ozean sowie ozeanischer Wärmetransport. Grau ist der Restfehler. Jeder Punkt repräsentiert das CMIP5-Ensemblemittel. Die benutzten Modelle sind in Abb. 2 aufgeführt. Modifiziert nach Pithan und Mauritsen (2014).

In den Tropen durchmischen hochreichende konvektive Wolken die Troposphäre feuchtadiabatisch, wodurch sich die obere Troposphäre stärker erwärmt als die untere. Dies resultiert in einer negativen Temperaturgradient-Rückkopplung infolge der effizienteren langwelligen Ausstrahlung in den Weltraum. In der Arktis sind vertikale Mischungsprozesse weniger wirksam, so dass die Erwärmung weitgehend auf die Oberfläche und die untere Troposphäre beschränkt bleibt. Es ist daher zu erwarten, dass die Temperaturgradient-Rückkopplung einen Beitrag zur arktischen Verstärkung leistet.



**Abb.2:** Streuung der Beiträge zur arktischen Erwärmung zwischen den Modellen gegenüber der Gesamterwärmung der Arktis in einzelnen Modellen. Die Linien sind lineare Regressionen von Rückkopplungsbeiträgen gegenüber der Gesamterwärmung der Arktis. Ausgefüllte Kreise auf der schwarzen vertikalen Linie repräsentieren das Ensemblemittel. Die rechte Seite zeigt die Streuung der Beiträge zur arktischen Erwärmung in den analysierten Modellen. Kreise zeigen den Medianwert, innere Linienenden zeigen das 25. und 75. Perzentil, und die Linienenden zeigen die Streuung des gesamten Ensembles. Modifiziert nach Pithan und Mauritsen (2014).

Auch die Planck-Rückkopplung kann zur arktischen Verstärkung beitragen bedingt durch die Temperaturabhängigkeit der Schwarzkörperstrahlung: Bei einer Temperatur von +30°C in den Tropen z.B. ist die Strahlung etwa doppelt so groß wie bei -30°C im arktischen Winter. Um eine vorgegebene Störung der Strahlungsbilanz (z.B. durch erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentration) auszugleichen, müsste die Arktis im Winter also deutlich wärmer werden als in den Tropen.

Um die Rolle der verschiedenen Rückkopplungen zu untersuchen, haben Pithan und Mauritsen eine lineare Zerlegung der einzelnen Beiträge zur tropischen und arktischen Erwärmung durchgeführt (Abb. 1). Sie fanden heraus, dass die Temperaturgradient- und Eis-Albedo-Rückkopplungen im Ensemblemittel den gleichen Anteil an der arktischen Erwärmung haben. Da die Temperaturgradient-Rückkopplung in den Tropen aber negativ ist und dort zur Abkühlung der Erdoberfläche beiträgt, liefert sie den Hauptbeitrag zur arktischen Verstärkung relativ zur globalen Erwärmung. Hinzu kommt die Planck-Rückkopplung, so dass die temperaturbedingten Rückkopplungen für die Erwärmung der Arktis wichtiger sind als die Eis-Albedo-Rückkopplung.

Obwohl alle Modelle eine verstärkte Erwärmung der Arktis zeigen, existiert eine erhebliche Streuung zwischen den Modellen. Um diese zu untersuchen, haben die Autoren die Modelle nach der Stärke der arktischen Erwärmung geordnet und die einzelnen Beiträge dokumentiert (Abb. 2). Anhand der Steigung der Regressionslinien ist erkennbar, dass die Streuung der Eis-Albedo-Rückkopplung den größten Beitrag liefert, gefolgt von Rückkopplungen, die durch Änderungen des Temperaturgradienten, der Wolken, der Temperatur (Planck) und dem Wasserdampf verursacht werden.

Interessanterweise scheint der atmosphärische Energietransport die Streuung zwischen den Modellen zu verringern: Bei geringer arktischer Erwärmung ist ein positiver Beitrag der Energietransporte erkennbar, bei starker Erwärmung ein negativer.

Ein quantitatives Verständnis der physikalischen Mechanismen, die für die verstärkte Erwärmung der Arktis verantwortlich sind, ist wesentlich für die Abschätzung zukünftiger Klimaänderungen, einschließlich der Schmelze von Meereis, und erlaubt eine Fokussierung der Forschung auf die wichtigsten Prozesse. Nach den obigen Analysen liefern temperaturbedingte Rückkopplungen den größten Beitrag zur arktischen Verstärkung. Die Eis-Albedo-Rückkopplung ist ebenfalls von Bedeutung, aber im Gegensatz zur allgemeinen Annahme tatsächlich geringer als die temperaturbedingten Rückkopplungen.

#### **Originalveröffentlichung:**

Pithan, F. and T. Mauritsen (2014): Arctic amplification dominated by temperature feedbacks in contemporary climate models, *Nature Geoscience*, 7, 181-184.

#### **Kontakt:**

Dr. Felix Pithan

E-Mail: [felix.pithan@mpimet.mpg.de](mailto:felix.pithan@mpimet.mpg.de)

Dr. Thorsten Mauritsen

Max-Planck-Institut für Meteorologie

Tel.: 040 41173 182

E-Mail: [thorsten.mauritsen@moimet.mpg.de](mailto:thorsten.mauritsen@moimet.mpg.de)