

## Forschungsthema des Monats Dezember 2019: Topic 2 Meeresspiegeländerungen von globaler zu regionaler und lokaler Skala

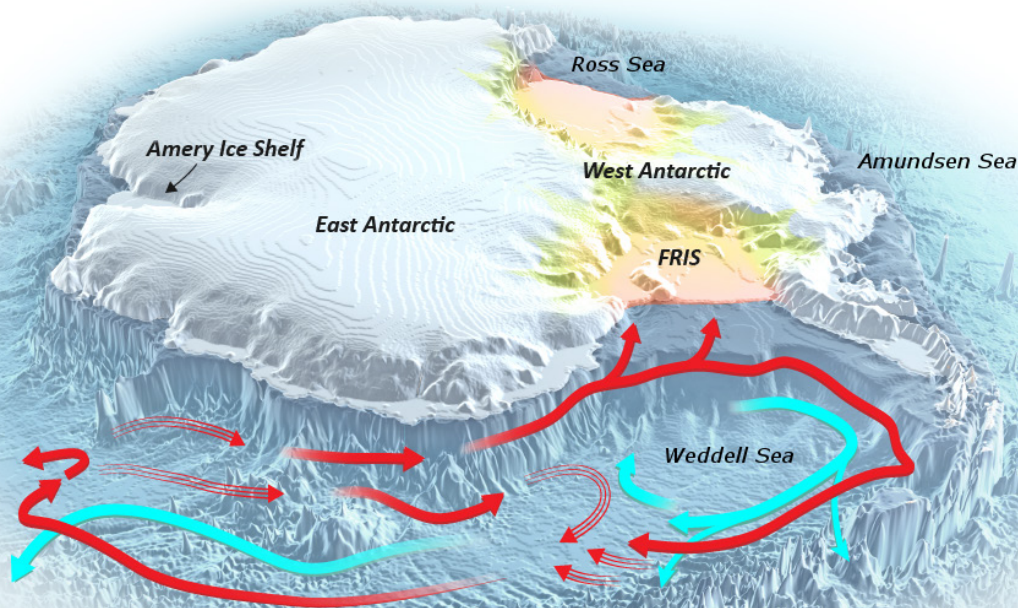
### TiPACCs – Tipping Points in Antarctic Climate Components

Änderungen des Meeresspiegels und ihr Einfluss auf die Küsten von der globalen, über die regionale bis hin zur lokalen Skala sind ein wichtiges Thema in REKLIM (Thema 2), zu dem unterschiedliche Forschergruppen des Verbundes beitragen. Ein bedeutsamer und der am unsichersten bestimmte Beitrag zum globalen Meeresspiegelanstieg ist die Massenbilanz der Antarktis, und hier insbesondere der Westantarktis, die als mariner Eisschild unterhalb des Meeresspiegels gegründet ist und somit sehr verletzlich gegenüber steigenden Ozeantemperaturen reagieren kann.

In aktuellen Untersuchungen fanden Forscher des AWI heraus, dass im Falle einer weiteren Klimaerwärmung ab der Mitte des 21. Jahrhunderts relativ warmes Wasser unter die antarktischen Schelfeisgebiete strömen kann, was darauf hindeutet, dass die Randmeere um den antarktischen Kontinent von einem „kalten“ in einen „warmen“ Zustand wechseln können (Hellmer et al., 2012; Timmermann & Hellmer, 2013). Gleichzeitig weisen theoretische Untersuchungen und die Ergebnisse von Modellrechnungen darauf hin, dass insbesondere diejenigen Bereiche des Eisschildes, die unterhalb des Meeresspiegels gegründet sind,

zu einem instabilen und irreversiblen Rückzug neigen (z.B. Weertman, 1974; Favier et al., 2014). Änderungen dieser beiden Komponenten (Wechsel von kaltem zu warmem Ozean und unterschiedliche Stabilitätsregime des antarktischen Eisschildes) haben unmittelbar Auswirkungen auf das angrenzende Eisschild und den benachbarten Ozean. Wenn irreversible Veränderungen in den antarktischen Klimakomponenten auftreten und sogenannte Kipp-Punkte überschritten werden, wird sich der Eisschild sehr wahrscheinlich schnell zurückziehen. Ein dramatischer Anstieg des globalen mittleren Meeresspiegels wäre in diesem Fall die unvermeidliche Folge.

Das internationale Forschungsprojekt TiPACCs („Tipping Points in Antarctic Climate Components“) wird seit August 2019 durch die Europäische Union im Rahmen des Forschungsprogramms „Horizont 2020“ gefördert, um die Existenz möglicher Kipp-Punkte (engl. „Tipping points“) im antarktischen Klimasystem und die damit einhergehende Möglichkeit plötzlicher und großer Veränderungen zu untersuchen. Die Bedeutung von Kipp-Punkten im Klimasystem für die Untersuchung potentieller Risiken in einem definierten zeitlichen Horizont wird in der aktuellen Studie von Lenton et al. (2019) deutlich hervorgehoben.





## Tipping Points in Antarctic Climate Components

Experten aus Großbritannien, Norwegen, Deutschland und Frankreich werden in TiPACCs zusammenarbeiten, um die Wahrscheinlichkeit abrupter Veränderungen der Eisbewegung in der Antarktis in den nächsten 100 Jahren zu untersuchen und mögliche Schwellwerte im Klimasystem zu identifizieren, bei denen plötzliche und irreversible Veränderungen im Antarktischen System zu erwarten sind. Noch ist der Beitrag der Antarktis zum globalen Anstieg des Meeresspiegels mit durchschnittlich ca. 0,4 mm/Jahr seit 2002 (entsprechend ca. 4 cm bis zum Ende des Jahrhunderts) verhältnismäßig klein, er zeigt jedoch seit Beginn des 21. Jahrhunderts eine zunehmende Beschleunigung (2012 – 2017: 0,6 mm/Jahr). Bei einer Instabilität des Westantarktischen Eisschildes können jedoch durch seinen teilweisen Zerfall weitaus größere Beiträge zum Meeresspiegelanstieg erfolgen. Zu Zeiten der letzten Warmzeit vor ca. 120.000 Jahren, also im Eem, als die globale mittlere Temperatur auf der Erde ca. 1-2°C höher war als in der vorindustriellen Zeit des 18./19. Jahrhunderts, also vergleichbar zur aktuell zu erwartenden Erwärmung bis zum Ende des Jahrhunderts, lag der globale mittlere Meeresspiegel etwa 6 m höher als heute (z.B. Dutton & Lambeck, 2012). Modellrechnungen zufolge betrug der Beitrag der Antarktis zur damaligen Erhöhung des globalen Meeresspiegels etwa 2-3 m (z.B. Sutter et al., 2019).

Das Forschungsprojekt TiPACCs hat zwei Hauptelemente, die sich auf die Veränderungen der Ozeane und des Eises beziehen. Ein Forscherteam wird untersuchen, unter welchen Bedingungen die Ozeane unter den antarktischen Schelfeisgebieten von einem kalten in ein warmes Regime kippen können (Abb. 2). Ein anderes Team wird Studien mit

unterschiedlichen Eismodellen durchführen, um zu untersuchen, wie zurückziehende Aufsatzlinien, möglicherweise aufgrund höherer Ozeantemperaturen, die Stabilität des Eiskörpers beeinflussen. Die Aufsatzlinie beschreibt den Bereich des Eisschildes, in dem das gegründete Inlandeis in das schwimmende Schelfeis übergeht (vgl. Abbildung 2).

Auf deutscher Seite sind das Potsdam Institut für Klimafolgenforschung (PIK) sowie das Alfred-Wegener-Institut (AWI) an TiPACCs beteiligt. Das AWI, vertreten durch Dr. Hartmut Hellmer und Dr. Ralph Timmermann, leitet das Arbeitspaket I, das die Rolle des Ozeans unter zukünftigen Klimaentwicklungen untersucht. REKLIM-Forscher Ralph Timmermann wird hier zusammen mit Hartmut Hellmer und einer wissenschaftlichen Mitarbeiterin für verschiedene Sektoren des Südpolarmeeres der Frage nachgehen, wie stabil die derzeit angetroffenen ozeanographischen Bedingungen sind. Frühere Studien im Rahmen der REKLIM-Initiative haben hier vor allem das Weddellmeer mit dem Filchner-Ronne-Schelfeis beleuchtet (Abb. 1 und 3) – im REKLIM Forschungsthema Januar 2015 wurde darüber berichtet – und die verstärkende Wirkung der Eisschild-Ozean-Wechselwirkung erkannt (Timmermann & Goeller, 2017). Im Rahmen von TiPACCs wird der Fokus zum einen auf das bisher sehr stabil scheinende Rossmeer erweitert. Zum anderen werden wir die Möglichkeit untersuchen, dass das aktuell mit relativ warmem Wasser gefüllte Amundsenmeer bereits solch einen Kippunkt hinter sich gelassen und so den Wechsel vom „kalten“ zum „warmen“ Regime vollzogen hat. Sollte sich diese Hypothese bestätigen, wird das Team versuchen einzugrenzen, wann dieses „Umkippen“ erfolgt ist. Das bewährte, globale Ozeanmodell auf Basis der Methode der finiten Elemente (FESOM = Finite-Element Sea ice - ice shelf - Ocean Model) wird hierzu mit einem aktuellen Modell des Antarktischen Eisschildes gekoppelt. Eine regionale Version dieses neu entwickelten, gekoppelten Modells wird in Kooperation mit dem PIK bereits von Ralph Timmermann am AWI betrieben.

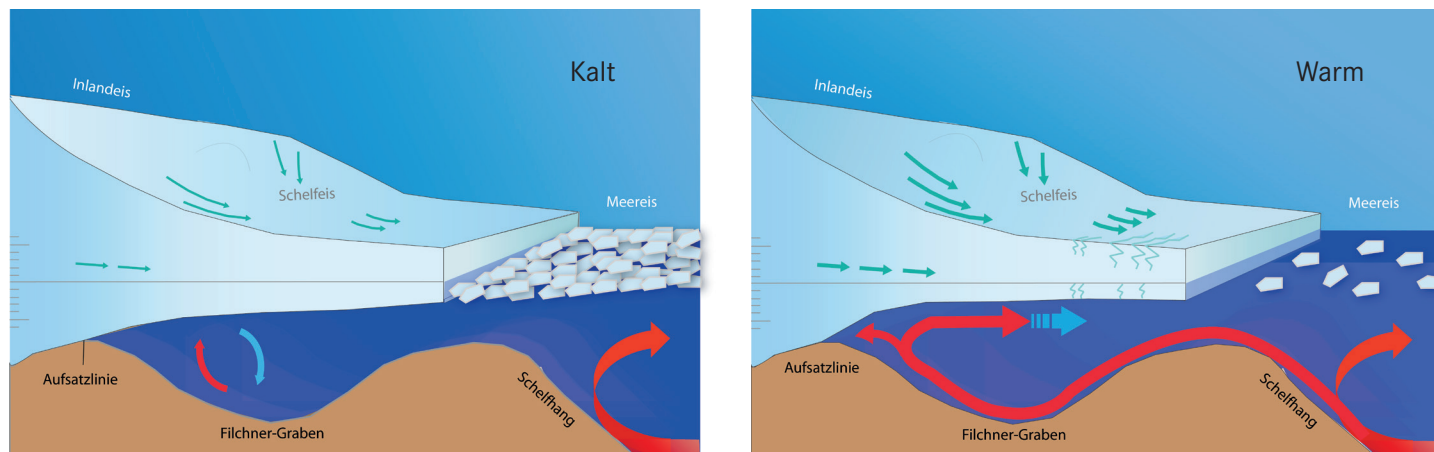


Abb. 2: Schematische Darstellung von Ursachen und Wirkungen einer kalten (links) und warmen (rechts) Ozeanströmung auf dem antarktischen Kontinentalschelf und unter den angrenzenden Schelfeisgebieten (Hellmer et al., 2012; 2017)

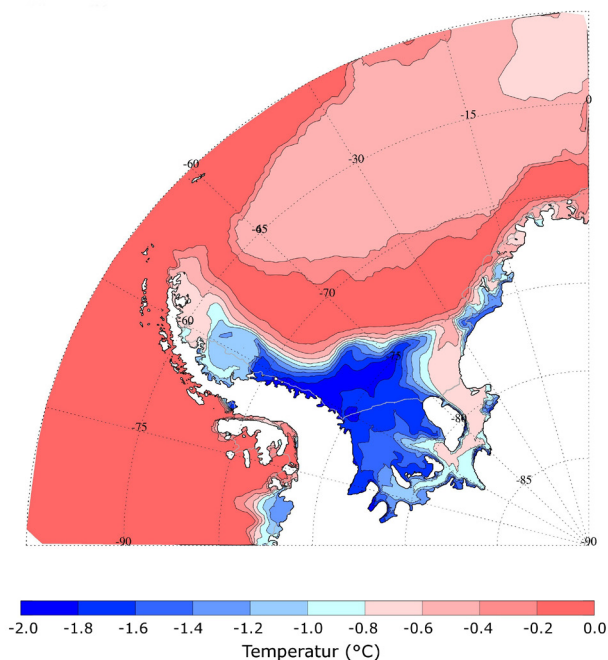


Abb. 3: Simulation des Eindringens warmen Wassers in die Kaverne unter dem Filchner-Ronne-Schelfeis in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts (Timmermann & Hellmer, 2013). Aktuell ist der weit überwiegende Teil des Wassers unter dem Schelfeis kälter als  $-1.9^{\circ}\text{C}$ .

„AWI-Modellrechnungen geben Hinweise darauf, dass ab dem Jahr 2070 warme Wassermassen aus dem Weddellmeer unter das flächenmäßig zweitgrößte Schelfeis der Antarktis strömen können und dann dessen Abschmelzen beschleunigen würden“, erklärt Hartmut Hellmer, Ozeanograph und Workpackage-Leiter „Ocean“. „Mit verbesserten Modellen, insbesondere dem gekoppelten Ozean-Eisschild-Modell und detaillierteren Untersuchungen wollen wir mögliche Kippunkte im Antarktischen System identifizieren und so zu besseren Vorhersagemöglichkeiten beitragen“, ergänzt Ralph Timmermann.

In einem weiteren Arbeitspaket ist REKLIM durch Dr. Klaus Grosfeld vertreten, der im Bereich „Kommunikation, Verbreitung, Nutzung und Entscheidungsunterstützung“ die Erfahrungen und Aktivitäten in REKLIM im Bereich Wissenstransfer einbringen wird. Er wird zum Ende des Projektes die Ergebnisse in einem Beteiligungsprozess an unterschiedliche Akteure der Gesellschaft (politische Entscheidungsträger, Akteure im Küstenschutz, Behörden, etc.) herantragen und das Wissen so aufbereiten, dass es in zukünftige Planungen einfließen kann. Hierzu werden frühzeitig Netzwerke über das Projekt informiert, um den Wissenschaftsprozess dialogisch durch Gesellschaftsakteure zu begleiten. Auslöser der Beteiligung an diesem Projekt ist die Rolle von REKLIM in der Entwicklung der „Klimaanpassungsstrategie für das Land Bremen und Bremerhaven“ im Jahr 2018. „Das Forschungsprojekt TiPACCs hat großes Potential, unser Verständnis hinsichtlich der Rolle der Antarktis für die globale Meeresspiegelentwicklung, insbesondere der Wechselwirkungen zwischen Ozean und Eisschild, grundlegend zu verbessern“, betont Klaus Grosfeld. „Es ist zu erwarten,

dass unsere Forschung erhebliche Auswirkungen auf unser Verständnis der potentiellen Risiken hat, die die globale Erwärmung für die Menschheit in Zukunft mit sich bringt.“

Die EU finanziert das Projekt mit insgesamt 4,6 Millionen EUR für vier Jahre. Eines der Hauptziele des Projektes besteht darin, Wissenslücken im Vorfeld des für 2023 geplanten nächsten IPCC-Assessment Reports zu schließen und politische Entscheidungsträger vor der Pariser Vereinbarung 2023 zu beraten.

Weitere Informationen zum Projekt unter: [www.tipaccs.eu](http://www.tipaccs.eu) oder [www.reklim.de/der-verbund/reklim-in-eu-projekten](http://www.reklim.de/der-verbund/reklim-in-eu-projekten)

#### Referenzen:

- Dutton, A. & K. Lambeck (2012): Ice volume and sea level during the last interglacial. *Science* 337, 216–219 (2012).
- Favier, L. G. Durand, S. L. Cornford, G. H. Gudmundsson, O. Gagliardini, F. Gillet-Chaulet, T. Zwinger, A. J. Payne & A. M. Le Brocq (2014): Retreat of Pine Island Glacier controlled by marine ice-sheet instability. *Nature Climate Change* volume 4, 117–121.
- Hellmer, H. H., Kauker, F., Timmermann, R., Determann, J. & Rae, J. (2012): Twenty-first-century warming of a large Antarctic ice-shelf cavity by a redirected coastal current. *Nature* 485, 225–228.
- Hellmer, H. H., Kauker, F., Timmermann, R. & Hattermann, T. (2017): The fate of the southern Weddell Sea continental shelf in a warming climate. *Journal of Climate*, 30, 4337–4350, doi:10.1175/JCLI-D-16-0420.1
- Lenton, T. M., J. Rockström, O. Gaffney, S. Rahmstorf, K. Richardson, W. Steffen & H. J. Schellnhuber (2019): Climate tipping points – too risky to bet against. *Nature* 575, 592–595, doi: 10.1038/d41586-019-03595-0.
- Sutter, J., H. Fischer, K. Grosfeld, N. B. Karlsson, T. Kleiner, B. Van Lieferinge & O. Eisen (2019): Modelling the Antarctic Ice Sheet across the mid-Pleistocene transition – implications for Oldest Ice, *The Cryosphere*, 13 (7), 2023–2041, doi: 10.5194/tc-13-2023-2019.
- Timmermann, R. & Hellmer, H. H. (2013): Southern Ocean warming and increased ice shelf basal melting in the twenty-first and twenty-second centuries based on coupled ice-ocean finite-element modelling. *Ocean Dynamics*, 63(9), 1011–1026, doi:10.1007/s10236-013-0642-0
- Timmermann, R. and Goeller, S. (2017): Response to Filchner-Ronne Ice Shelf cavity warming in a coupled ocean-ice sheet model – Part 1: The ocean perspective, *Ocean Science*, 13, pp. 765–776, doi: 10.5194/os-13-765-2017
- Weertman, J. (1974): Stability of the junction of an ice sheet and an ice shelf. *Journal of Glaciology*, 13 (67), 3–11, 1974.

#### Ansprechpartner:

Dr. Hartmut Hellmer

Dr. Ralph Timmermann

Dr. Klaus Grosfeld

Alfred-Wegener-Institut

Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung