

Die bislang unberücksichtigte kleinräumigen Wechselwirkungen zwischen Ozean und Atmosphäre

geschrieben von Chris Frey | 28. Mai 2024

Von einem Autor via Blogbetreiber Charles Rotter, der anonym bleiben möchte

Globale Zirkulationsmodelle (GCMs) sind seit langem die wichtigsten Instrumente für Klimavorhersagen, die politische und politische Entscheidungen beeinflussen. Die GCMs sind jedoch durchweg zu heiß [gelaufen](#) und haben eine stärkere Erwärmung vorhergesagt, als tatsächlich beobachtet wurde. Eine kürzlich erschienene [Veröffentlichung](#) mit dem Titel „The Overlooked Sub-Grid Air-Sea Flux in Climate Models“ [etwa: Die in Klimamodellen übersehenen kleinräumigen Wechselwirkungen zwischen Ozean und Atmosphäre] von Julius J.M. Busecke et al. deckt einen bedeutenden Mangel in diesen Modellen auf: die Behandlung von kleinräumigen Luft-Meer-Wechselwirkungen. Untersuchen wir die Ergebnisse und Auswirkungen dieser Studie, die das Potenzial für verbesserte Modellierungstechniken zur Verbesserung der Klimavorhersagen aufzeigt, wenn auch ohne garantierte Ergebnisse.

Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Ozean und Atmosphäre

Die Wechselwirkungen zwischen Luft und Meer sind entscheidend für die Regulierung des Erdklimas. Diese Prozesse umfassen den Austausch von Wärme, Impuls und Gasen zwischen dem Ozean und der Atmosphäre und wirken sich auf Wettermuster, Ozeanzirkulation und Klimaschwankungen aus. Der Ozean absorbiert etwa 90 % der überschüssigen Wärme, die durch menschliche Aktivitäten verursacht wird, und spielt eine zentrale Rolle in der globalen Klimadynamik.

Schwierigkeiten bei der Modellierung dieser Wechselwirkungen

Die genaue Darstellung der Wechselwirkungen zwischen Luft und Meer in Klimamodellen ist aufgrund ihrer komplexen und variablen Natur eine Herausforderung. Diese Wechselwirkungen treten in einem breiten Spektrum von räumlichen und zeitlichen Maßstäben auf, von kurzfristigen Prozessen wie Grenzschichtturbulenzen und der Bildung von Hurrikanen bis hin zu langfristigen Phänomenen wie der El Niño-Southern Oscillation. Die Darstellung dieser Prozesse wird durch die Auflösung der Modelle und die inhärente Nichtlinearität der für ihre Simulation verwendeten Verknüpfungsformeln erschwert.

Grenzen von Modellen mit grober Auflösung

Das Hauptproblem, auf das Busecke et al. hinweisen, ist die grobe Auflösung der meisten aktuellen GCMs, die in der Regel etwa 1° oder mehr beträgt. Diese Modelle können kleinräumige Strukturen und Prozesse an der Luft-See-Grenzfläche nicht erfassen, was zu erheblichen Verzerrungen bei der Simulation von Meerestemperaturen (SST) und Luft-See-Wärmeflüssen führt. In der [Studie](#) heißt es:

„Grob aufgelöste Klimamodelle lösen kleinräumige Strukturen im Luft-See-Zustand nicht auf, die aufgrund starker Nichtlinearitäten in den Kopplungsformeln den großräumigen Luft-See-Austausch beeinflussen können – ein Phänomen, das bisher wenig Beachtung fand.“

Dieses Versehen führt zu einer systematischen Abkühlung des Ozeans um etwa 4 W/m^2 weltweit, mit erheblichen regionalen Schwankungen. Diese Verzerrungen tragen dazu bei, dass die GCMs dazu neigen, die zukünftige Erwärmung zu überschätzen, was Zweifel an ihrer Zuverlässigkeit aufkommen lässt.

Die Rolle hoch aufgelöster Simulationen

Um dieses Defizit zu beheben, verwendeten die Forscher hochauflösende gekoppelte Klimasimulationen mit einer Auflösung von $1/10^\circ$. Mit diesen Simulationen konnten sie die Auswirkungen kleinräumiger Heterogenität auf die Luft-See-Wärmeflüsse analysieren und dabei feststellen, dass diese Heterogenität die großräumigen Flüsse erheblich verändern kann.

Verfahrensweise

Die Forscher verwendeten ein Verfahren mit räumlicher Filterung und Offline-Berechnung von Wärmeströmen, um die Auswirkungen kleinräumiger Prozesse zu quantifizieren. Sie definierten den kleinräumigen turbulenten Wärmestrom (Q^*) wie folgt:

„ $Q^ = Q - Q_c$, wobei Q der mit den hochauflösenden Feldern berechnete Fluss und Q_c der mit den niedrig aufgelösten Ersatzfeldern berechnete Fluss ist“.*

Dieser Ansatz isoliert die Nettoauswirkungen der kleinräumigen Variabilität auf die großräumigen Flüsse, was bei Modellen mit grober Auflösung oft nicht der Fall ist.

Wesentliche Ergebnisse

Die Studie ergab, dass die kleinräumigen Luft-See-Flüsse eine starke räumliche und zeitliche Variabilität aufweisen und lokal Werte bis zu 100 W/m^2 erreichen. Im Durchschnitt führen diese Flüsse zu einer globalen Abkühlung von etwa 4 W/m^2 , wobei in einigen Regionen sogar noch höhere Werte zu verzeichnen sind.

Atmosphärische vs. ozeanische Beiträge

Ein auffälliges Ergebnis ist die Unterscheidung zwischen atmosphärischen und ozeanischen Beiträgen zu diesen kleinräumigen Flüssen. Die atmosphärische Komponente führt in erster Linie zu einer Abkühlung, während die ozeanische Komponente variabler ist und je nach Region sowohl eine Erwärmung als auch eine Abkühlung bewirkt. Diese Variabilität ist besonders ausgeprägt in dynamisch aktiven Gebieten wie den westlichen Grenzströmen und dem antarktischen Zirkumpolarstrom.

Die Studie erklärt:

„Der Beitrag zum Sub-Grid-Fluss (Q^), der auf kleinräumige atmosphärische Merkmale (Q^*,A) zurückzuführen ist, führt zu einer räumlich gleichmäßigen Abkühlung über einem Großteil des Ozeans ... Im Gegensatz dazu ist der Beitrag von kleinräumigen ozeanischen Merkmalen ($Q^*,0$) räumlich sehr variabel und führt sowohl zu einer Erwärmung als auch zu einer Abkühlung des Ozeans.“*

Regionale Auswirkungen

Die Auswirkungen der kleinräumigen Heterogenität sind nicht überall auf dem Globus gleich. Regionen mit hoher dynamischer Aktivität, wie die westlichen Grenzströme (z. B. der Golfstrom und der Kuroshio-Strom) sowie die Agulhas-Rückströmung weisen die stärksten Abkühlungseffekte auf, mit langfristigen Durchschnittswerten über 20 W/m^2 . Im Gegensatz dazu zeigen Gebiete in Äquatornähe und die energiereicheren Teile des antarktischen Zirkumpolarstroms manchmal Erwärmungseffekte, die auf kleinräumige ozeanische Merkmale zurückzuführen sind.

Die Forscher fanden heraus, dass etwa 70 % der Tagesmittelwerte für den kleinskaligen Fluss den großskaligen Fluss verstärken, wobei mehr als 20 % dieser Werte eine Verstärkung von mehr als 10 % der Größe des großskaligen Flusses aufweisen. In dynamisch aktiven Regionen ist diese Verstärkung sogar noch ausgeprägter, was die entscheidende Rolle kleinräumiger Prozesse bei der Gestaltung großräumiger Klimamuster unterstreicht.

Auswirkungen auf die Klimamodellierung

Die Auswirkungen dieser Ergebnisse sind bedeutend. Die Studie unterstreicht die Notwendigkeit, dass GCMs Parameter einbeziehen, welche die kleinräumige Heterogenität berücksichtigen. Die derzeitige Generation von Modellen, wie sie im Rahmen des Coupled Model Intercomparison Project (CMIP) verwendet werden, weist erhebliche Verzerrungen auf, die zu ungenauen Vorhersagen und folglich zu fragwürdigen politischen Entscheidungen auf der Grundlage dieser Modelle geführt haben.

Auf dem Weg zu verbesserten Modellen

Künftige Klimamodelle müssen hochauflösende Daten integrieren und robuste Parametrisierungen für kleinräumige Prozesse entwickeln. Die Autoren der Studie schlagen vor:

„Indem wir einen übersehenen Beitrag zum Luft-Meer-Wärmefluss in Klimamodellen identifizieren, eröffnen wir eine vielversprechende neue Richtung, um Verzerrungen in Klimasimulationen zu beseitigen und damit zukünftige Klimavorhersagen zu verbessern.“

Es ist jedoch von entscheidender Bedeutung anzuerkennen, dass diese Verbesserungen nicht garantieren, dass alle Ungenauigkeiten der aktuellen Klimamodelle beseitigt werden können. Auch wenn die Studie auf ein bedeutendes Versäumnis hinweist, bleibt der Weg zu absolut genauen Klimavorhersagen ungewiss.

Die Notwendigkeit umfassender Parametrisierungen

Die Entwicklung umfassender Parametrisierungen, welche die Auswirkungen kleinräumiger Heterogenität in grob aufgelösten Modellen genau darstellen, ist eine komplexe, aber wesentliche Aufgabe. Dies betrifft nicht nur die Wärmeflüsse, sondern auch den Impuls- und Gasaustausch, die im Klimasystem eine entscheidende Rolle spielen.

Die Studie unterstreicht, wie wichtig es ist, die Variabilität aufgrund von Strömungen unterhalb des Gitters mit stochastischen Ansätzen zu berücksichtigen, sowie die Notwendigkeit von Parametrisierungen, die die Auswirkungen der räumlichen Heterogenität an der Grenzfläche zwischen Luft und Meer berücksichtigen. Zwar gibt es einige Parametrisierungen für die zeitliche Variabilität (z. B. Böigkeit), aber keine umfassende Parametrisierung berücksichtigt derzeit alle Komponenten der räumlichen Heterogenität.

Herausforderungen und die zukünftige Richtung

Die Studie ist zwar ein entscheidender Schritt nach vorn, räumt aber auch einige Einschränkungen ein. Die Abhängigkeit von hochauflösenden Simulationen bedeutet, dass die Ergebnisse von der Auflösung und dem Maßstab der verwendeten Filterung abhängen. Darüber hinaus sind weitere Arbeiten erforderlich, um zu verstehen, wie diese kleinräumigen Flüsse mit anderen Prozessen interagieren und die großräumige Zirkulation und Energetik beeinflussen.

Umgang mit der Abhängigkeit von der Größenordnung

Eine große Herausforderung ist die Abhängigkeit der geschätzten Ströme von deren Größenordnung. Die Forscher stellen fest, dass sich die qualitativen Ergebnisse ihrer Studie bei unterschiedlichen Auflösungen nicht ändern würden. Um quantitatives Vertrauen aufzubauen, sind jedoch

gekoppelte Simulationen mit höherer Auflösung und eine gründliche Untersuchung der Größenordnungs-Abhängigkeit erforderlich.

Integrieren von Beobachtungen und Modellen

Eine vielversprechende Richtung für die zukünftige Forschung ist die Integration von hochauflösenden Beobachtungsdaten mit Modellsimulationen. Kommende Satellitenmissionen wie ODYSEA und Feldkampagnen, die hochauflösende Untersuchungen der Luft-Meer-Übergangszone durchführen, könnten wertvolle Daten zur Validierung und Verfeinerung von Modellparametern liefern. Diese Bemühungen könnten dazu beitragen, die Lücke zwischen hochauflösenden Simulationen und grob aufgelösten Klimamodellen zu schließen.

Anwendung der Studie auf andere Flüsse

Während sich diese Studie auf die turbulenten Wärmeflüsse konzentriert, schlagen die Forscher vor, dass zukünftige Arbeiten auch die Auswirkungen auf die Impuls- und Gasflüsse berücksichtigen sollten. Diese Flüsse sind für das Verständnis der Dynamik des Klimasystems ebenso wichtig und könnten zusätzliche Verzerrungen und Unzulänglichkeiten in aktuellen Modellen aufdecken.

Schlussfolgerungen

Die Studie von Busecke et al. hebt einen bedeutenden Mangel in den derzeitigen Klimamodellen hervor und unterstreicht die Notwendigkeit einer stärkeren Berücksichtigung der kleinräumigen Luft-Meer-Wechselwirkungen. Die Behebung dieser Lücke ist von entscheidender Bedeutung, um die Genauigkeit der Klimavorhersagen zu verbessern und zuverlässigere politische Entscheidungen zu treffen. Die Integration hochauflösender Daten und die Verfeinerung der Modellparametrisierungen sind wesentliche Schritte auf dem Weg zu einem genaueren und zuverlässigeren Verständnis unseres sich verändernden Klimas.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die GCMs zwar einen grundlegenden Rahmen für das Verständnis der Klimadynamik geliefert haben, dass es aber unbedingt notwendig ist, ihre Grenzen zu erkennen und anzugehen. Durch die Einbeziehung von Erkenntnissen aus Studien wie dieser können wir robustere Modelle entwickeln, die die Komplexität des Erdsystems besser erfassen und zu einer fundierteren und wirksameren Klimapolitik führen.

Der Weg zu genaueren Klimamodellen ist noch nicht abgeschlossen, und die Anerkennung der Unzulänglichkeiten der derzeitigen Ansätze ist ein wichtiger Schritt. In dem Maße, wie wir unser Verständnis kleinräumiger Prozesse und ihrer Auswirkungen verbessern, könnten wir uns der Entwicklung von Klimamodellen nähern, die die Feinheiten des Klimasystems der Erde wirklich wiedergeben können. Es ist jedoch wichtig, vorsichtig und kritisch zu bleiben, da der Weg zu zuverlässigen

Klimavorhersagen mit Herausforderungen und Unsicherheiten behaftet ist.

[The full pre-print can be accessed here.](#)

H/T Judith Curry and [Friends of Science Society](#), Ken Gregory Director

Link:

<https://wattsupwiththat.com/2024/05/24/the-overlooked-sub-grid-air-sea-flux-in-climate-models/>

Übersetzt von Christian Freuer für das EIKE