

Schlussbericht

Die Süßwasserbilanz des Nordpolarmeers - langfristige Variabilität und mögliche zukünftige Entwicklungen

Förderkennzeichen: 01 LD 0047

Antrag im Rahmen des Verbundprojekts DEKLIM

Laufzeit des Vorhabens: 1.9.2001 - 31.5.2006

Antragsteller: Prof. Dr. R.Gerdes
Projektwissenschaftler: C.Köberle

Stiftung Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung in der
Helmholtz-Gemeinschaft, Fachbereich Klimawissenschaften
Postfach 120161, D-27515 Bremerhaven

Antragsteller

Prof. Dr. Rüdiger Gerdes
Stiftung Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung
Fachbereich Klimawissenschaften
Postfach 120161, D-27515 Bremerhaven
Tel. +49 471 4831 1827
Fax +49 471 4831 1797
Ruediger.Gerdes@awi.de

I.1. Aufgabenstellung

Das Projekt will einen Beitrag zum Verständnis dekadischer und längerfristiger Klimavariabilität leisten. Es konzentriert sich auf die Süßwasserbilanz des Nordpolarmeers und den Austausch zwischen Nordpolarmeer und Nordatlantik, weil hier mögliche Ursachen für Wechsel zwischen ozeanischen Zirkulationsregimes liegen. Mehrjährige Eisakkumulation und advective Ausbreitung von Signalen im Ozean sollen auf die Möglichkeit von Langfristvorhersagen untersucht werden.

I.2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Zu Beginn des Projekts existierte eine grobauflösende Modellversion des gekoppelten Ozean-Meereis Modells NAOSIM (North Atlantic/Arctic Sea Ice Ocean Models). Erfahrung mit dem Betrieb dieses Modells, der Aufbereitung von Antriebsdaten und der Analyse der Ergebnisse war vorhanden. Wichtige Aspekte der ozeanischen Zirkulation, des Meereisverhaltens und der Ozean-Meereis Wechselwirkung waren in dieser Modellversion bereits gründlich validiert worden.

Wichtige Vorarbeiten im Bereich der großskaligen Zirkulationsmodellierung sind mit dem Modular Ocean Model (MOM2, Pacanowski, 1996) in der Nordpolarmeer-Version des AWI durchgeführt worden. Das Modell hat gezeigt, daß es selbst in der grob auflösenden Variante in der Lage ist, die wesentlichen Elemente der Arktischen Zirkulation wiederzugeben, wie etwa den Beaufort Wirbel, die Transpolare Drift und

die Aufspaltung des einströmenden Atlantischen Wassers in einen die Schelfe überströmenden Teil, sowie einen durch die Framstraße eindringenden Teil (Gerdes und Schauer, 1997). Gerade hier entscheidet sich der weitere Weg von Wassermassen höherer Dichte welche den Schelf verlassen. Gemäß ihrer Dichte strömen sie den Schelfabhang hinab und treten in Wechselwirkung mit dem Kern des Framstraßenzweiges des Atlantischen Wassers.

Die Auswirkungen eines anomal hohen Eisexport aus dem Nordpolarmeer sind mit demselben Modell untersucht worden (Gerdes und Köberle, 1995). In Übereinstimmung mit Beobachtungen der Großen Salzgehaltsanomalie (GSA, Dickson et al., 1988) wird eine Salzgehaltsanomalie simuliert, die in der Islandsee durch Schmelzen der Eisanomalie entsteht und innerhalb weniger Jahre in die Labradorsee advehiert wird, wo sie tiefe Konvektion für einige Jahre unterbricht. Ausbreitungswege und -zeiten stimmen gut mit Beobachtungen überein. In idealisierter Konfiguration sind die grundsätzlichen Rückkopplungsmechanismen von Ozean, Meereis und Atmosphäre auf Salzgehaltsanomalien in hohen Breiten untersucht worden (Lohmann et al., 1996; Lohmann und Gerdes, 1998).

In Simulationen mit realistischem atmosphärischen Antrieb (NCEP und EZMW Reanalysen) wurden insbesondere die Ausbreitung von Temperaturanomalien und die Variabilität des arktischen Meereises untersucht. Das Europäische Nordmeer zeichnet sich durch lokal erzeugte, mit dem NAO Index korrelierte SST Anomalien aus, die mit der zyklonalen Zirkulation in den subpolaren Atlantik transportiert werden. In der Labradorsee treffen die Anomalien vier bis fünf Jahre später ein und werden dort in der Gegenphase der NAO verstärkt. Damit gelangen sie im subpolaren Wirbel bis nach Schottland zurück. Dies im Norden entstandene Signal ist dort wesentlich stärker als aus niedrigeren Breiten heran transportierte Signale (Sutton und Allen, 1997).

Im Rahmen des EU Projekts VEINS wurde die advective Ausbreitung von Temperatur- und Salzgehaltssignalen intensiv untersucht. Die Ergebnisse sind in Gerdes (2000, Manuskript erhältlich vom Autor) zusammengefasst und sind in den

Abschlußbericht des Projekt eingeflossen sowie in Karcher et al. (2003) und Gerdes et al. (2003) veröffentlicht worden. Neben den mehrjährigen advektiven Signalen standen hier Zeitreihen der Transporte durch die Passagen im Vordergrund, die das Europäische Nordmeer mit dem Nordpolarmeer und dem subpolaren Atlantik verbinden. Die Modellergebnisse wurden benutzt, um die Zusammenhänge der individuellen Transporte untereinander, mit dem atmosphärischen Antrieb und den großräumigen ozeanischen Transportmustern herauszufinden. Die Modellierung von Süßwassertransporten durch die Framstraße wurde von Gerdes (2000) gesondert dargestellt. Einzelne Aspekte des Antwortverhaltens des Ozean-Meereis Systems auf Änderungen des atmosphärischen Antriebs, insbesondere wie sie im Zusammenhang mit der NAO auftreten, wurden von Gerdes und Köberle (1999) und von Brauch et al. (1999) sowie von Brauch und Gerdes (2005) untersucht.

Besonderes Interesse galt auch der Entstehung von Meereisanomalien im Nordpolarmeer und deren Zusammenhang mit dem Eisexport durch die Framstraße. Positive Anomalien im arktischen Eisvolumen bauen sich über mehrere Jahre auf. Dafür sind Temperatur- und Windanomalien von vergleichbarer Bedeutung (Köberle et al., 1999). Das Eis akkumuliert vorzugsweise über der Ostsibirischen See. Dort treten bei Eisexportereignissen, die positive Eisanomalien innerhalb von ein bis zwei Jahren wieder abbauen, drastische Veränderungen der Eisbedeckung und der Eisdicke auf. Diese Änderungen wirken sich auf die Erwärmung der ozeanischen Deckschicht im Frühjahr und Sommer aus und haben unter Umständen auch Rückwirkungen auf die atmosphärische Zirkulation.

I.3. Planung und Ablauf

Die Modellversion COSMOS (Prange und Gerdes, 2006) mit einer freien Oberfläche erwies sich als unerwartet resistent gegenüber der Einführung offener Randbedingungen; außerdem sind Antriebsdaten und die klimatologischen Oberflächensalzgehalte nicht in Übereinstimmung zu bringen. Die notwendige dämpfungsfreie Formulierung der Oberflächenrandbedingung für Salz wurde stattdessen mit der Einführung eines zeitlich konstanten Korrekturflusses erreicht.

Die geplante Untersuchung der arktischen Süßwasserbilanz in Simulationen mit realistischem atmosphärischen und hydrologischen Antrieb für die letzten 50 Jahre (hindcast) wurde mit den Reanalyse Daten des NCEP für den Zeitraum 1948-2003 durchgeführt.

Auf den Einsatz eines run-off Modells (Hagemann und Dümenil, 1998) konnte verzichtet werden, weil wir die entsprechenden Daten für vertrauenswürdig befunden haben und weil die Variabilität in den Daten klein ist gegenüber dem Mittel (Peterson et al., 2002).

Trends und langfristige Veränderlichkeit der einzelnen Komponenten der Süßwasserbilanz des Nordpolarmeers wurden analysiert, es wurde eine Gesamtbilanz des Arktischen Süßwassergehalts und aller Zu- und Abflüsse aufgestellt. Der Vergleich mit Daten ergab zufrieden stellende Ergebnisse.

Die Einführung einer offenen Randbedingung für die Beringstrasse verbesserte die Simulation der ozeanischen Zirkulation im Nordpolarmeer. Insbesondere breitet sich das Pazifische Wasser nun auf einem realistischen Weg aus.

Die Experimente mit konstruierten Antriebsfeldern, die verschiedene mögliche Entwicklungen der NAO repräsentieren, haben wir wie geplant durchgeführt. Meereisverhältnisse im Nordpolarmeer, Meereisexport und die Lage der Subpolarfront reagieren so, wie aus Beobachtungen geschlossen worden war (Brauch und Gerdes, 2005). Weitere Modellläufe ergaben aber, dass es zum Beispiel im Meereisexport auch Phasen mit von der NAO unabhängiger Variabilität gibt (Köberle und Gerdes, 2003). Außerdem hat sich herausgestellt, dass nicht alle IPCC Modelle einen erneuten Anstieg der NAO vorhersagen. Daher haben wir ein zusätzliches Experiment mit einem Zukunftsszenario wie folgt konzipiert: Wegen der starken Abhängigkeit des Meereises vom atmosphärischen Antrieb haben wir verfügbare Meereisergebnisse für die letzten 50 Jahre des 20C3M Laufs des IPCC mit einem "hindcast" unseres Ozean-Meereis Modells verglichen, um den atmosphärischen Antrieb für das 21te