

North Atlantic multidecadal to centennial variability in a model and a marine proxy dataset

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Mathematisch Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
vorgelegt von

Jennifer Veronika Mecking



Department of Meteorology,
Research Division of Ocean Circulation and Climate Dynamics
Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel
Kiel University, Kiel, Germany

May 2013

Referent: Noel Keenlyside

Ko-Referent: Richard Greatbatch

Datum der mndlichen Prfung: 11.06.2013

Zur Verffentlichunggenehmigt; 11.06.2013

Abstract

Variability on decadal and longer timescales is of great interest in climate research due to its socio-economic impacts, potential for predictability and masking of anthropogenic global warming. Observational evidence of multidecadal variability in the North Atlantic exists in the sea surface temperature (SST), often referred to as the Atlantic Multidecadal Variability (AMV), and also in the atmosphere, for example seen in sea level pressure variations associated with the North Atlantic Oscillation (NAO). Observational oceanic data on these timescales is mainly restricted to the surface, does not extend past the last 145 years and becomes quite sparsely sampled in the higher latitudes in the earlier years. Hence, to increase our understanding of climate variability on these timescales it is essential to turn to both proxy and model data.

The first part of this thesis focuses on an annually-resolved proxy record (1818-1967) of Mg/Ca variations from a North Pacific/ Bering Sea coralline alga. Not only does the algal Mg/Ca have a very strong connection to the local winter SST and a lagged relation to the Aleutian Low it also has a correlation of -0.87 with the winter NAO and 0.60 with the AMV index on decadal timescales. The link can explain the coherence of decadal North Pacific and AMV, as suggested by earlier studies using climate models and in the limited observational data.

The second part of the thesis focuses on the ocean general circulation model, NEMO to better understand AMV. For this purpose the model was forced only with the atmospheric patterns associated with the NAO, both from the observed NAO index and from a 2000 year long white NAO index. Focusing on key ocean circulation patterns, we show that the Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC) and sub-polar gyre (SPG) strength have a red noise response but no dominant timescale, providing no evidence for an oscillatory ocean-only mode of variability. The time derivative of both the AMOC at 30°N and SPG strength

CONTENTS

show a strong, almost linear relation to the NAO for timescales longer than 86 and 15 years, respectively. The different response characteristics are confirmed by constructing simple statistical models that show AMOC and SPG variability can be reconstructed by integrating the NAO index by the previous 53 and 10 winters, respectively. Alternatively, the AMOC and the SPG strength can be reconstructed with auto-regressive (AR) models of order seven and five, respectively. A closer look at the ocean model response of the 2000 year long ocean model integration shows three distinct timescales of variability. The first, an interannual timescale with variability shorter than 15 years, can be mainly related to Ekman dynamics. Secondly, the multidecadal timescale, 15-65 years, is mainly concentrated in the SPG and is controlled by temperature variability. Finally, the centennial timescales, with variability longer than 65 years, can be attributed to the ocean being in a series of quasi-equilibrium with the forcing. The statistical models presented in this thesis to reconstruct the AMOC and SPG strength on multidecadal and longer timescales can be useful for prediction and model inter-comparison.

Zusammenfassung

Variabilität auf dekadischen und längeren Zeitskalen ruft in der Klimaforschung aufgrund sozioökonomische Auswirkungen und dem Potential zur Vorhersagbarkeit großes Interesse hervor. Beobachtungen ergeben, dass die Temperatur der Meeresoberfläche (SST) im Nord-Atlantik multidekadische Variabilität aufweist. Diese wird häufig als Atlantische Multidekadische-Variabilität (AMV) bezeichnet. In der Atmosphäre zeigt sich im Oberflächenluftdruck ebenfalls eine multidekadische Variabilität, die Nord-Atlantik-Oszillation (NAO). Die Beobachtungsdaten dieser Zeitskalen über Ozeane beschränken sich hauptsächlich auf die Oberfläche. Sie sind nur für die letzten 145 Jahre vorhanden und in den höheren Breiten für die frühen Jahre auch nur spärlich. Klimaproxy- und Modelldaten sind für unser Verständnis der Klimavariabilität dieser Zeitskalen unerlässlich.

Der erste Teil dieser Arbeit konzentriert sich auf eine jährlich aufgelöste Klima-Proxy (1818-1967) von Mg/Ca-Variationen einer korallinen Alge aus dem Nord-Pazifik/ Beringsee. Das Algen-Mg/Ca hat nicht nur eine sehr starke Verbindung zum lokalen Winter SST und eine zeitlich verzögerte Beziehung zum Aleutischen Tief; es besteht auch eine Korrelation von -0,87 mit der Winter NAO und eine Korrelation von 0,60 mit dem AMV-Index auf dekadischen Zeitskalen. Wie bereits frühere Studien unter Verwendung von Klimamodellen und durch begrenzte Beobachtungsdaten andeuten, könnte diese Verbindung die Kohärenz des dekadischen Nord-Pazifiks und der AMV erklären.

Der zweite Teil der Arbeit beschäftigt sich mit dem allgemeinen Ozean- Zirkulationsmodell NEMO, das durch das atmosphärische Muster der NAO angetrieben wird. Der zweite Teil der These konzentriert sich auf das allgemeine Ozean Zirkulationsmodell, NEMO, der mit dem atmosphärischen Muster die NAO angetrieben wird, vom beobachteten NAO-Index und von einem 2000-Jahre langen Weißen-geräusch NAO-Index. Durch Untersuchung der relevanten Zirkulationsmuster im

Ozean wird gezeigt, dass die Atlantische Meridionale Umwälzbewegung (AMOC) und die Stärke des Subpolarwirbels (SPG) mit rotem Rauschen reagieren, aber keine dominanten Zeitskalen aufweisen. Somit stellen sie keinen Nachweis für einen Ozean-Schwingungsmodus der Variabilität dar. Die Zeitableitung des AMOC bei 30°N und die SPG-Stärke zeigen eine starke, fast lineare Beziehung zur NAO für Zeiträume von jeweils mehr als 86 und 15 Jahren. Die abweichenden Charakteristika der Reaktionen werden durch einfache statistische Modelle, bestätigt. Diese Modelle zeigen dass AMOC und SPG Variabilität durch Integration des NAO-Index der vorrausgehenden 53, beziehungsweise 10 Winter rekonstruiert werden kann. Alternativ können die AMOC und die SPG-Stärke mit autoregressiven Modellen (AR) der Ordnung 7 beziehungsweise 5 rekonstruiert werden. Ein näherer Blick auf die Reaktion des Ozeans auf die 2000-jährige Ozeanmodellintegration ergibt drei eindeutig verschiedene Zeitskalen der Variabilität. Es hat sich gezeigt, dass Variabilität einer interannualer Zeitskala von weniger als 15 Jahren hauptsächlich mit Ekman-Dynamik zusammenhängt. Des Weiteren konzentriert sich die multidekadische Zeitskala von 16- 65 Jahren hauptsächlich im SPG und wird durch Temperaturvariabilität gesteuert. Schließlich können die hundertjährigen Zeitskalen, mit Variabilität von mehr als 65 Jahren, dem Ozean zugeschrieben werden, der in einer Reihe von Quasi-Equilibrium Zuständen ist. Die statistischen Modelle, die in dieser Arbeit dargestellt werden, um die AMOC- und SPG-Stärke auf den multidekadischen und längeren Zeitskalen zu rekonstruieren, können für Vorhersage sowie für Modellvergleiche nützlich sein.