Atlantische Zirkulationssysteme im Fokus möglicher Klimaszenarien

Veränderungen der atlantischen Zirkulationssysteme in hochauflösenden Ozeanmodellen: Regionale Auswirkungen globaler Klimaprojektionen

K. Getzlaff, M. Scheinert, A. Biastoch, C. Böning, *GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel*

Kurzgefasst

- Bedeutung und mögliche Überlagerung nord- und südhemispherischer Einflussfaktoren auf die meridionale Umwälzbewegung im Atlantischen Ozean.
- Manifestierung großräumiger Zirkulationsänderungen als auch der mögliche Effekt zukünftiger anthropogener Trends.

Klimastudien (CMIP5) projizieren Trends in den atmosphärischen Bedingungen, die zu Änderungen in den Strömungssystemen und hydrografischen Eigenschaften des Ozeans führen können. Von zentraler Bedeutung für regionale Trends im Atlantischen Ozean ist das inter-hemisphärische meridionale Zirkulationssystem, das verschiedenen nord- und südhemisphärischen Einflussfaktoren unterliegt. An der genaueren Bestimmung der Ursachen und Folgen von Veränderungen wird in Kooperation zwischen Beobachtungs- und Modellierprojekten im Rahmen des BMBF-Verbundvorhabens RACE - Regionale Atlantikzirkulation im Globalen Wandel - gearbeitet (Abb. [1]).

Eine der großen, ungelösten Fragen in Bezug auf die zukünftige Entwicklung der atlantischen Strömungssysteme ist die relative Bedeutung und mögliche Überlagerung von nord- und südhemisphärischen Einflüssen. Könnte etwa eine mögliche Verschiebung in den Wasserimporten aus dem Südpazifik und -indik, d.h. zwischen den Kalt- und Warmwasserpfaden im Südatlantik, aufgrund der anhaltenden polwärtigen Verlagerung des Westwindgürtels auf der Südhemisphäre einen ähnlich großen Einfluss auf die zukünftige Entwicklung der meridionalen Umwälzbewegung im Atlantischen Ozean (AMOC) haben wie es als Folge der projizierten Abschwächung der Tiefenwasserbildung im subpolaren Nordatlantik aufgrund zunehmender Erwärmung und Frischwasserzuflüssen erwartet wird [1] ?

Mangels ausreichend langer und räumlich unzureichend aufgelöster Messreihen kommt der Modellierung hier eine wichtige Rolle zu. Eine zentrale Herausforderung liegt dabei in der realistischen Darstellung der mesoskaligen Strömungsprozesse, denen sowohl im subarktischen Atlantik, z.B. in der Labradorsee [2] als auch für die Einstromvorgänge im Südatlantik (z.B. Agulhasringe [3]) eine wichtige dynamische Rolle zukommt. Ein Schwerpunkt der Modellierung in diesem Vorhaben liegt daher darauf, den Effekt dieser Prozesse in der Simulation dekadischer Schwankungen und Trends möglichst realistisch einzubeziehen.

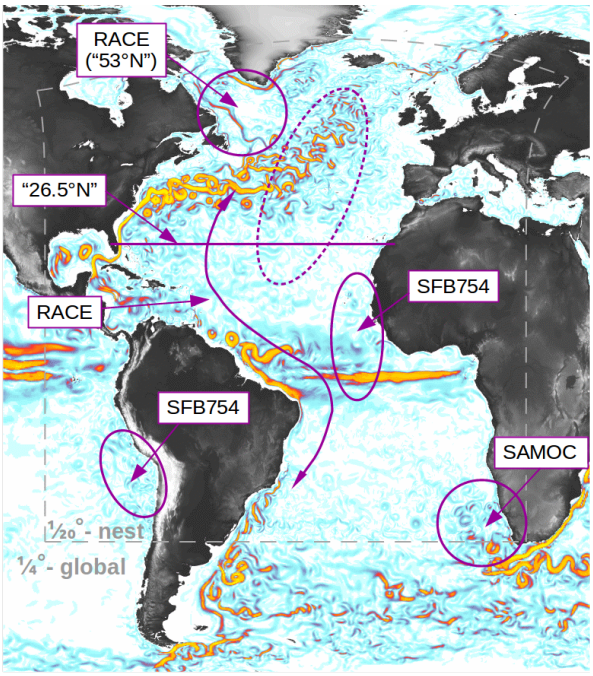

Figure 1: *Momentaufnahme der Oberflächengeschwindigkeit basierend auf Modellergebnissen der hochaufgelösten 1/20° VIKING20***X** *Konfiguration (Nestregion grau gestrichelt). Farbige Kreise/Linien markieren Regionen mit Aktivitäten für Vergleiche mit Messprogrammen (Farbig gestrichelt Projekte in Planung).*

Es ist geplant, die derzeit laufende Serie von Simulationen mit dem neuentwickelten VIKING20**X**-Modell zum Abschluss zu bringen, um aus der ozeanischen Reaktion auf die über den Zeitraum 1958-2018 vorgegebene atmosphärischen Variabilität Aussagen über die prinzipiellen Ursachen sowie raum-zeitlichen Muster von (multi-)dekadischen Zirkulationsänderungen treffen zu können. Ein Hauptelement der Simulationen ist, dass das im Bereich des Atlantischen Ozeans mit 1/20° horizontaler Gitterweite sehr hoch aufgelöste Modell mit den jüngst zur Verfügung stehenden JRA55-do (*do* für *driving the ocean*) Produkten gerechnet wird, das auf Basis der japanischen JRA55-Reanalyse

eine in räumlicher und zeitlicher Auflösung stark verfeinerte und mit diversen Satelliten-Produkten kombinierte Darstellung aller relevanten Antriebselemente bietet (einschließlich der z.B. für den subpolaren Nordatlantiks wichtigen zeitlichen Entwicklung der fest-ländischen Abflusse von Wasser und Eis). Die auf der *two-way nesting* - Methodik beruhende VIKING20**X**-Konfiguration (Abb. [1]) wird dabei flankiert durch Sensitivitäts-experimente mit dem ORCA025-Basismodell (1/4°-Gitter), die dabei helfen, wesentliche Einflussfaktoren für die ozeanische Reaktion zu dokumentieren: Nord- vs. Südhemisphäre Ursachen; extern erzeugte vs. intern induzierte Fluktuationen; thermohaline vs. wind-bedingte Schwankungen; Rolle mesoskaliger Wirbel.

Detaillierte Vergleiche mit Strömungszeitreihen des RACE-Verbundes dokumentierten die mit VIKING20 erreichten, sehr realistischen Simulationsergebnisse im Nordatlantik [4],[5], [10],[12],[14]; das Modell stellte daher eine wichtige Grundlage für weitergehende, biologische Fragestellungen [6],[7],[8] und wird in verschiedenen, z.T. internationalen Kooperationen zur Unterstützung regionaler dynamischer Fragen genutzt [11]. In den Kernfragestellungen der aktuellen AMOC-Forschung, die Auswirkungen steigender Trends in den Schmelzwasserabfüssen des grönländischen Eispanzers, konnten mit Hilfe einer VIKING20-Simulation neue Erkenntnisse über Tendenzen in der Labradorsee-Konvektion gewonnen werden [2].

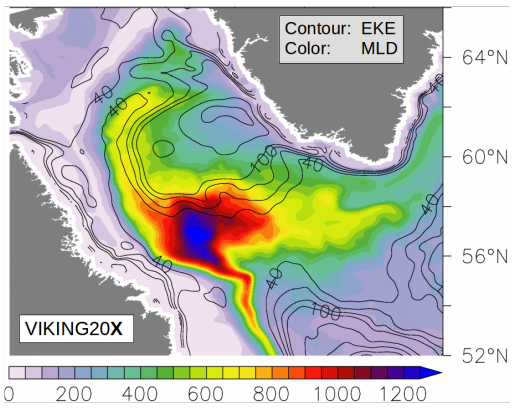

Figure 2: *Verteilung der mittleren (2000-2009) maximalen winterlichen Vermischungstiefe (farbig) in der Labrador See und der mittleren Wirbel-Energie (Kontourlinien) für VIKING20**X** (vgl. dazu Fig. 1b aus [2]).*

Erste Analysen des mit CORE-II angetriebenen Hindcasts (1958-2009) der neuen, hochaufgelöst, genesteten VIKING20**X**-Konfiguration zeigen eine erheblich verbesserte Darstellung der 'Northwest Corner' und die damit verbundene Repräsentation der Hydrographie- und Salzgehaltsverteilung im Atlantik. Gleichzeitig wird die Wirbeldynamik, die verantwortlich für die Darstellung der Tiefenwasserbildungsregion in der Labradorsee ist, sehr realistisch aufgelöst (Abb. [2]). Es konnte gezeigt werden dass die erhöhte zeitliche und räumliche Auflösung wesentlich zur verbesserten Darstellung erhöhter Wirbelaktivität und der damit verbundenen meso-skaligen Variabilität im West-Grönland Strom beiträgt. Dies ist ein grundlegender Prozess für die Bildung der Irminger Ringe, die eine entscheidende Rolle bei der Prä-Konditionierung der Labrador See in Bezug auf winterliche Tiefenwasserbildung spielen. Die 1/20° Auflösung ermöglichst hier erstmals die Unterscheidung von 3 wichtigen Wirbel-Typen (IR: Irminger Ringe, BCE: Randstrom-Wirbel und CE: Konvektions-Wirbel) und deren unterschiedlichen Einfluss auf die winterliche Konvektionsintensität in der Labrador See (Abb. [3]).

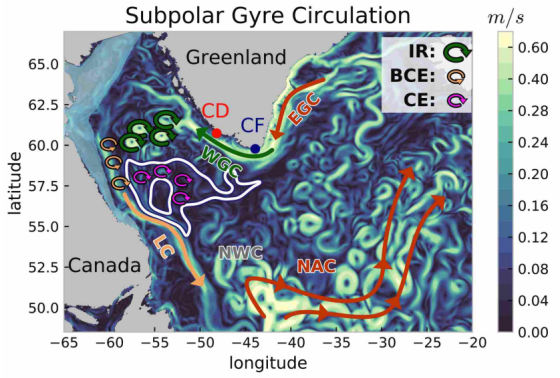

Figure 3: *Schematische Darstellung der Labrador See und den unterschiedlichen meso-skaligen Wirbeln (IR: Irminer Ringe, BCE: Randstrom-Wirbel und CE: Konvektions-Wirbel), die in unterschiedlicher Weise zur Prä-Konditionierung und Restratifizierung der Dichteschichtung beitragen und damit die winterliche Konvektion und Tiefenwasserbildung beeinflussen (Rieck et al., under review).*

WWW

http://www.geomar.de/go/ocean-models

Weitere Informationen

[1] W. Liu and co-authors. Overlooked possibility of a collapsed Atlantic Meridional Overturning Circulation in a warming climate. *Science Advances* **3** (2017) doi:10.1126/sciadv.1601666

[2] C. W. Böning and co-authors. Emerging impact of Greenland meltwater on deepwater formation in the North Atlantic Ocean. *Nature Geoscience* **9** (2016) doi:10.1038/ngeo2740

[3] A. Biastoch and co-authors. Agulhas leakage dynamics affects decadal variability in Atlantic overturning circulation. *Nature* **456** (2008) doi:10.1038/nature07426

[4] C. Mertens and co-authors. Circulation and transports in the Newfoundland Basin, western subpolar North Atlantic. *J.Geophys.Res.Oceans* **119** (2014) doi:10.1002/2014JC010019

[5] J. Fischer and co-authors. Intra-seasonal variability of the Deep Western Boundary Current in the western subpolar North Atlantic. *Prog.Oceanogr.* (2014) doi:10.1016/j.pocean.2014.04.002

[6] M. Baltazar-Soares and co-authors. Recruitment collapse and population structure of the European eel shaped by local ocean current dynamics *Current Biology* **24** (2014) doi:10.1016/j.cub.2013.11.031

[7] L. Steinle and co-authors. Water column methanotrophy controlled by a rapid oceanographic switch *Nature Geoscience* **8** (2015) doi:10.1038/ngeo2420

[8] C. Breusing and co-authors. Biophysical and Population Genetic Models Predict the Presence of "Phantom" Stepping Stones Connecting Mid-Atlantic Ridge Vent Ecosystems *Current Biology* **26** (2016) doi:10.1016/j.cub.2016.06.062

[9] T. Breckenfelder and co-authors. Flow paths and variability of the North Atlantic Current: A comparison of observations and a high-resolution model *J.Geophys.Res.Oceans* **122** (2017) doi:10.1002/2016JC012444

[10] E. Behrens and co-authors. Composition and variability of the Denmark Strait Overflow Water in a high-resolution numerical model hindcast simulation *J.Geophys.Res.Oceans* **122** (2017) doi:10.1002/2016JC012158

[11] S. F. Gary and co-authors. Seasonal cycles of oceanic transports in the Eastern Subpolar North Atlantic *J.Geophys.Res.Oceans* **123** (2018) doi:10.1002/2017JC013350

[12] P. Handmann and co-authors. The Deep Western Boundary Current in the Labrador Sea From Observations and a High-Resolution Model *J.Geophys.Res.Oceans* **123** 2829–2850 (2018) doi:10.1002/2017JC013702

[13] R. Schubert and co-authors. Instability-Driven Benthic Storms below the Separated Gulf Stream and the North Atlantic Current in a High-Resolution Ocean Model *J.Phys.Ocean.* **48** 2283–2303 (2018)

[14] J. K. Rieck and co-authors. The nature of eddy kinetic energy in the Labrador Sea: Different types of mesoscale eddies, their temporal variability and impact on deep convection *J.Phys.Ocean.* (under review)

Förderung

RACE; BMBF-Verbundvorhaben zur Klimaforschung im Ozean