

Ursachen klimarelevanter Wärmetransportschwankungen über dem Grönland-Schottland-Rücken.

Detlef Quadfasel, Rolf Käse und Christian Rodehacke

Die im arktischen Ozean und im Nordpolarmeer – durch Wechselwirkung des Ozeans mit der Atmosphäre und dem Meereis – gebildeten dichten Wassermassen überströmen das Grönland-Island-Schottland-Meeressrückensystem (GISM). Nachdem die dichten überströmenden Wassermassen die Meeresschwellen passiert haben, mischen sich umgebende Wassermassen während ihres Absinkens ein. Das Einmischen als integraler Bestandteil der Überstromprozesskette verdoppelt den Volumentransport. Die entstandene Wassermasse ist von zentraler Bedeutung für den Antrieb des nordhemisphärischen tiefen Asts der globalen Thermohalinen Zirkulation. Diese Zirkulation wiederum bestimmt wesentlich das europäische Klima. Im Zuge des Projekts sollen die wesentlichen Prozesse herausgearbeitet werden, die das Überströmen der Dänemarkstraße und des Island-Schottland-Rückensystems bestimmen.

Folgende Fragen sind von besonderem Interesse. Welche Beziehung besteht zwischen den Überstromtransportraten der Dänemarkstraße und des Faroer-Bank-Kanals, den beiden bedeutendsten Passagen? Ist der Gesamttransport nahezu konstant bzw. wird ein reduzierter Ausstrom durch eine Passage kompensiert durch erhöhte Transporte der anderen Passage? Was beeinflusst die zeitliche Variabilität der Transporte und wie bestimmend sind meteorologische Antriebskräfte? Antworten auf diese Fragen sind grundlegend für das Design zukünftiger Beobachtungsprogramme, die die Überstromtransporte, als wesentliches Glied der Thermohalinen Zirkulation, überwachen und Vorhersagen erlauben sollen.

Einführung

Das in das Europäische Nordmeer einströmende Atlantische Wasser hält dies Gebiet weitgehend eisfrei. Dies ermöglicht den Austausch von Wärme, Frischwasser und Impuls zwischen Atmosphäre und Ozean (Helland-Hansen und Nansen, 1909). Wird durch die Austauschprozesse die Dichte der Deckschicht erhöht, so kann tiefgreifende Konvektion Wassermassen hoher Dichte bilden, welche die Quelle der Überstromwassermassen sind. Die Transportraten des Überstroms über das Grönland-Island-Schottland-Meeressrückensystem betragen etwa 8 Sv ($1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$) und gilt als zeitlich konstant (Hansen und Østerhus, 2000). Jedoch weisen paläontologische Sedimentkerne und Modellstudien daraufhin, dass dies nicht immer der Fall gewesen ist. Zudem zeigen in den letzten Jahren beobachtete Strömungsmessungen direkt in den tiefen Passagen und neuere Modelluntersuchungen, dass der Austausch um mehr als 30% innerhalb von Jahren bis Jahrzehnten schwankt (Hansen et al., 2001). Eine Ursache könnte ein veränderter Windantrieb sein (Biastoch et al., 2003).

Meeresstrassen besitzen insgesamt ein hohes Potential zur Kontrolle des Klimas, da sie den Durchfluss dichten Wassers begrenzen können (Stern 2004, Gill 1977, Whitehead et al. 1974) und dadurch bestimmend auf die meridionale Vertikalzirkulation des Ozeans einwirken. Demgegenüber enthalten groß-skalige Klimamodelle diesen limitierenden physikalischen Prozess nicht, da sie bei realistischem Transport hydraulisch stets unterkritisch (Froudezahl < 1) sind. Somit werden Wechselwirkungen zwischen den Meeresgebieten vorgetäuscht, die normalerweise bei Superkritikalität nicht auftreten können (Riemenschneider, 2004). Macrander et al. (2005) konnten erstmals nachweisen, dass Schwankungen im Kaltwasserausstrom der Dänemarkstraße von 20-30% des bisher langjährig als konstant angesehenen Werts auftraten und sich eine Beziehung zur

Höhe des Kaltwasserreservoirs andeutet, wie sie durch hydraulische Gesetzmäßigkeit vorhergesagt wird. Notwendig für eine realistische Simulation sind eine ausreichende horizontale Auflösung kleiner als 5 km, eine angemessenen Repräsentation der Bodentopographie sowie eine geeignete numerische Formulierung der Bodengrenzschicht (Griffies et al., 2001; Käse et al., 2003).

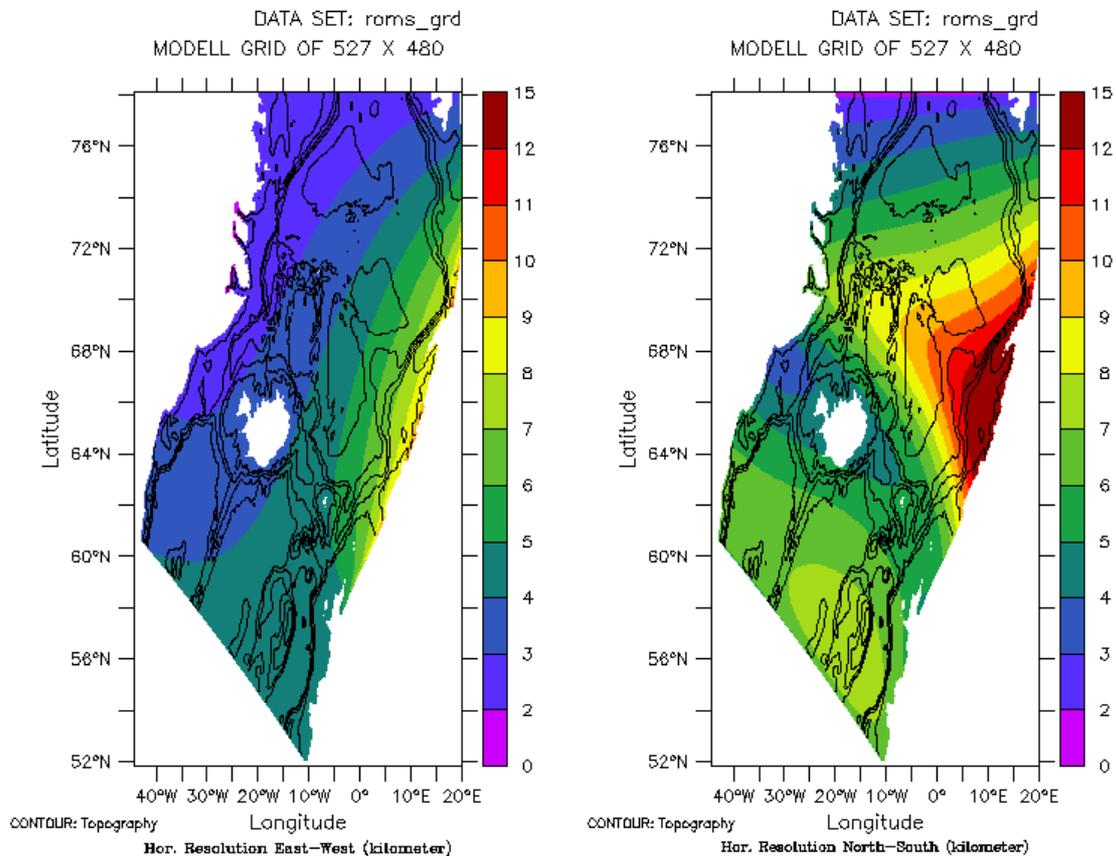


Abbildung 1 Horizontale Auflösung des verwendeten Modellgitters von 527 x 480 Gitterpunkten. Die linke Abbildung zeigt die Auflösung in Ostwest Richtung während die rechte den entsprechenden Wert für die Nord-südliche Richtung darstellt. Die Auflösung beträgt im Zielgebiet etwa den geforderten 5 km. Die schwarzen Konturlinien stellen die Bodentopographie mit den Intervallen von 100 m, 500m, 1000 m, 1500 m und 3000 m dar.

Methoden

Die Untersuchung der Überstromtransportraten ruht auf zwei Säulen. Eine fußt auf die Abbildung der Prozesse in einem hoch aufgelösten numerischen Ozeanzirkulationsmodell (siehe unten). Die andere Säule stellt die Beobachtung mittels verankerter Messgeräte dar. Hierzu wurden beispielsweise mit dem Forschungsschiff M.S. Merian vom 14. Juni 2007 bis 04. Juli 2007 (Fahrabschnitt MSM05/4) Verankerungen in der Irmingersee, am Kontinentalabhang vor Angmassakli (Grönland) und in der Dänemarkstraße aufgenommen und wieder ausgelegt. Vervollständigst wurde dieses Messprogramm durch hydrographische Schnitte. Damit wird ein seit 1995 laufendes Messprogramm in enger Zusammenarbeit mit finnischen und britischen Kollegen fortgeführt. Erst diese langfristigen Beobachtungszeitreihen erlauben eine qualifizierte Bestimmung

der zeitlichen Variabilität, was eine Grundvoraussetzung für die Modellaktivitäten sind.

Die Modellkomponente umfasst das Betreiben eines regionalen Modells. Hierzu verwenden wir das Modellsystem ROMS (Regional Ocean Modeling System, <http://www.myroms.org>) mit s- und Kurvilinearen Koordinatensystemen. Das s-Koordinatensystem folgt der Topografie und erlaubt eine erhöhte Auflösung der oberen und unteren Wassersäule. Es ist damit besser als andere produktive eingesetzte vertikale Koordinatensysteme zur Beschreibung dynamischer Prozesse in den oberen und unteren Grenzschichten und des Überstroms geeignet. Damit ist eine wesentliche Voraussetzung für die realistische Darstellung der den Überstrom kontrollierenden Prozesse im Modell geschaffen.

Das Modellarbeiten

Die geplanten Modellaktivitäten werden detaillierter in der Antragsbegründung beschrieben.

Die Modellergebnisse sollen anhand von Strömungsmessungen und Tracerdaten validiert werden. Seit 1995 werden in der Dänemarkstraße und am Kontinentalabhang vor Angmassakli (Grönland) Verankerungen betreiben. An den Verankerungspositionen werden Strömungsgeschwindigkeiten und die Eigenschaften der absinkenden Wassermassen des Überstroms zeitlich überwacht. Der Vergleich der veränderten Wassermasseneigenschaften zwischen aufeinander folgenden Verankerungen erlaubt die Bestimmung der eingemischten umgebenden Wassermassen in die absinkenden Wassermassen. Dieses Einmischen (Entrainment) ist ein wesentlicher Prozess der Wassermassenbildung. Der Vergleich der direkten Strömungsmessungen mit Modellergebnissen und, insbesondere, die Einmischraten, werden zur Modellvalidierung herangezogen werden.

Im Jahre 1996 wurden in der Grönland See 320 kg des künstlich hergestellten SF₆ in einer Tiefe von etwa 300 m freigesetzt (Olsson et al, 2005). Die Ausbreitung dieses Spurenstoffes wird seit dem beobachtet. Die Abbildung dieser Spurenstoffausbreitung im Modell gestattet uns, die stromaufwärts der Passagen gelegenen Ausbreitungspfade der Wassermassen detailliert zu validieren. Da Spurenstoffe, im Gegensatz zu treibenden Bojen oder Floats, sowohl diffusive als auch advective transportiert werden, kann die Wichtung dieser beiden Transportprozesse im Modell validiert werden.

Bjastoch, A., R. H. Käse, and D. B. Stammer, 2003: The Sensitivity of the Greenland-Scotland Ridge Overflow to Forcing Changes, *J.Phys. Oceanogr.*,33, 2307-2319

Griffies, S.M., C. Boening, F.O. Bryan, E.P. Chassignet, R. Gerdes, H. Hasumi, A. Hirst, A.-M. Treguier, and D. Webb, (2000) : Developments in Ocean Climate Modelling. *Ocean Modelling*, Volume 2, Issue 3-4, pages 123-192.

Helland-Hansen B., und F. Nansen (1909): The Norwegian Sea, ist physical oceanography based upon Norwegian researches 1900-1904. in: *Report on Norwegian Fishery and Marine investigations*, vol 2, 390 pp + 25 plates. Kristiania, Bergen, Norway.

Hansen, B., und S. Østerhus (2000): North Atlantic – Norwegian Sea Exchanges. *Progr. Oceanography*, 45, 109-208.

Hansen, B., B. Turrell, und S. Østerhus (2001) Faroe Bank Channel overflow has decreased since 1950. *NATURE* 411, 927-930.

Käse, R.H., J. B. Girton and T. B. Sanford, (2003): Structure and variability of the Denmark Strait Overflow: Model and observations. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 108, NO. C6, 3181, doi:10.1029/2002JC001548,

Olsson, K. A. Jeansson, L. G. Anderson, B. Hansen, T. Eldevik, R. Kristiansen, M-J. Messias, T. Johannessen, A. J. Watson (2005), Intermediate water from the Greenland Sea in the Faroe Bank Channel: spreading of released sulphur hexafluoride, Deep Sea Research I, 52, 279-294.

Macrande, A. 2004 : Variability and Processes in the Denmark Strait Overflow. PhD. Thesis. University Kiel, 183pp.

Macrande, A., U. Send, H. Valdimarsson, S. Jonsson and R.H. Käse, (2005): Interannual changes in the Overflow from the Nordic Seas into the Atlantic Ocean through Denmark Strait. Geophys. Res. Lett., 32, L06606, doi:10.1029/2004GL021463.

Riemenschneider, U. (2004) : The dynamics of Rotating Two-Layer Exchange Flows-An Analytical and Numerical Modelling Study. PhD.Thesis, University of Southampton, UK, 187pp