

Jens Meincke	Institut für Meereskunde, Hamburg
Detlef Quadfasel	Niels Bohr Institute for Astronomy, Physics and Geophysics, Copenhagen
Bert Rudels	Finnish Institute of Marine Research, Helsinki

Schlußbericht zum Vorhaben

ACSYS: Transformation der Wassermassen im Eurasischen Becken des Arktischen Ozeans: Die Bodenwasserquelle auf den Schelfen

1. Zielsetzung

In diesem Projekt sollte untersucht werden, in welcher Weise die Wassermassen der arktischen Schelfe zur Bildung von Tiefenwasser in den großen Becken des Arktischen Ozeans beitragen. Insbesondere ging es um die Bildung der Wassermassen auf den Schelfen, um ihre Ausbreitung in die Tiefsee und um ihre Modifikation durch Vermischung. Die hier verfolgten Fragestellungen sind im ACSYS Arctic Ocean Circulation Programme unter 2.2.3.3: Shelf process experiments implementiert.

Das Szenario, das in diesem Projekt quantifiziert werden sollte, sieht vereinfacht wie folgt aus: im frühen Winter wird das Wasser über den flachen Schelfen abgekühlt und vertikal homogenisiert. Bei Erreichen des Gefrierpunktes setzt Eisbildung ein. Meereis bindet nur ca. ein Fünftel des Salzes des Meerwassers, der Rest wird in die nicht gefrierende Wasserschicht darunter abgegeben. Deren Salzgehalt erhöht sich und damit auch ihre Dichte. Eis wirkt wie ein Isolator, und mit zunehmender Eisdicke nimmt der Wärmefluß vom Wasser zur Atmosphäre ab. Die Eisbildung und damit der Salzeintrag in die Wassersäule verringern sich. Auf der dem Wind abgewandten Seite von Inseln werden aber Flächen offenen Wassers aufrecht erhalten, die sog. Lee-Polynien. Das dort gebildete Eis wird durch die Winddrift exportiert, der Isolationseffekt entfällt, mehr Eis kann gebildet und mehr Salz in das Wasser eingetragen werden. Lee-Polynien sind Produktionsgebiete für schweres Bodenwasser auf den Schelfen. Von dort breitet sich das Bodenwasser unter dem Einfluß von Gravitation und von Erdrotation aus. Auf diesem Weg wird seine Dichte allerdings durch turbulente Vermischung mit leichterem Umgebungswasser verringert, so daß auch die treibenden Kräfte abnehmen. Erreicht das Bodenwasser dennoch den Kontinentalabhang, sinkt es in Tiefen ab, die seiner eigenen Dichte entsprechen. Ziel dieses Teilprojektes war es, die Bildung von Bodenwasser in einer Lee-Polynia zu quantifizieren und seine Ausbreitung und Vermischung zu verfolgen.

Die durchgeführten Arbeiten gliederten sich in einen wissenschaftlichen Teil mit Schwerpunkt auf meso- und kleinskaligen Prozeßstudien und einen technischen Teil, in dem ein autonomer profilierender Geräteträger (APG) getestet werden sollte. Weiterhin sollte der Versuch gemacht werden, die hier erlangte Information mit Hilfe von Satellitendaten zu einer Gesamtbilanz der Bodenwasserproduktion der Arktischen Schelfe zu integrieren.

2. Planung und Ablauf

Das (gescheiterte) Polynia Experiment bei Frans-Joseph Land: Im Nachlauf der deutsch-russischen Kooperation im Rahmen des internationalen Grönlandsee Projektes (koordiniert unter dem Dach des Arctic Ocean Sciences Board) war 1995 mit den Arktis-Ozeanographen des Arctic- and Antarctic-Institute in St. Petersburg (Dr. Genrikh Alekseev) ein Experiment in einer Lee-Polynia des Frans-Joseph-Archipels für 1996 bzw. 1997 geplant worden. Dieses Experiment bildete die Grundlage und den Kern des ACSYS Antrages. Die Absprachen sahen vor, daß von einem russischen eisverstärkten Forschungsschiff mit deutschem Instrumentarium (CTDs, verankerte Strömungsmesser und CTDs, Driftbojen) ein gemeinsames Experiment zur Quantifizierung der Bodenwasserproduktion auf dem Schelf durchgeführt werden sollte. Leider konnte – nach sehr langem Zögern – mangels einsatzfähigem Forschungsschiff die russische Zusage nicht eingehalten werden. In Absprache mit dem Projektträger wurden darauf ein Alternativprogramm geplant.

APG Gerätetests: In einer nachträglicher Erweiterung des ACSYS Antrages wurde auf Anfrage des Projektträgers ein Testprogramm für die von der Fa. 4H-Jena entwickelten Autonomen Profilierenden Geräteträger als ‘First-User’ Anwendung aufgenommen. Ein erster, nicht erfolgreicher Einsatz fand während der VALDIVIA Reisen V165 und V167 vor Spitzbergen statt. Nach einer erheblichen Modifikation der Geräte wurden diese dann während zwei weiterer Kampagnen des IfM vor den Faeroer Inseln in den Sommern 1998 und 1999 eingesetzt. Auch hier verliefen die Tests nicht erfolgreich.

Der Ausstrom von Bodenwasser aus Storfjorden: Im Frühsommer 1997 wurde eine Reise mit dem FS VALDIVIA in das europäische Nordmeer durchgeführt. Diese hatten unter anderem das Ziel, den Ausstrom von salzreichem Bodenwasser aus Storfjorden im Süden von Svalbard zu vermessen. Wegen der starken Eislage konnten Messungen aber nicht im Fjord selber, sondern nur im Bereich der westlichen Storfjordrenna und am Kontinentalabhang in der Framstraße durchgeführt werden. Weitere hydrographische Messungen erfolgten im Kongsfjord und im Isfjord, sowie in den tiefen Rinnen auf dem westlichen Schelf von Spitzbergen, Bellsundhola und Bredjupet. Während dieser Reise fand auch der erste Test mit den APGs statt.

Die Ausbreitung des Bodenwassers in der Framstraße und im Eurasischen Becken des Arktischen Ozeans: Durch eine Teilnahme am Hydrographieprogramm zweier FS POLARSTERN Reisen in den Sommern 1995 und 1997 konnte ein Datensatz gewonnen werden, der Aufschluß über den Verbleib des auf den Schelfen gebildeten Bodenwassers gibt. Die beiden Reisen überdeckten den nördlichen Teil der Framstraße sowie den südöstlichen Teil des Eurasischen Beckens. Weiterhin wurden früher gewonnene Datensätze auf diese Fragestellung hin untersucht.

Bodenwasserbildung auf dem Schelf des Beringmeeres: Als Alternative zu dem gescheiterten Polynia Experiment bei Frans-Joseph-Land wurde in Zusammenarbeit mit amerikanischen Kollegen im September 1998 ein Array von 15 Verankerungen im Süden der St. Lawrence Insel im Beringmeer ausgelegt. Fünf dieser mit Rotorstrommessern und T-S Recordern ausgerüsteten Verankerungen wurden vom IfM gestellt, die restlichen gemeinsam von der University of Alaska, Fairbanks, und der University of Washington, Seattle. Bis auf eine konnten alle Verankerungen im September 1999 wieder geborgen werden.

3. Ergebnisse

Autonome Profilierende Geräteträger:

Der Autonome Profilierende Geräteträger (APG) war vom Institut für Angewandte Physik in Kiel entwickelt und von der Fa. -4H -JENA engineering GmbH weiterentwickelt und gebaut worden. Es handelt sich um einen Schwimmkörper, der durch Ein- und Auspumpen von Wasser in einen internen Behälter seine spezifische Dichte verändern kann und so in der Lage ist, in der Wassersäule des Ozeans auf- und abzustiegen. Die Pumpenhydraulik wird über Mikroprozessoren gesteuert und die zeitliche Abfolge der Tauchzyklen läßt sich programmieren. Im Projekt wurden die APGs gefesselt eingesetzt, d.h., sie waren an eine Verankerung gekoppelt und sollten so an einem festen Ort profilieren. Standardmäßig mißt ein APG die Temperatur und über einen Drucksensor die Tiefe. Zusätzlich können aber noch weitere externe Sensoren bzw. Geräte angebracht werden, deren Einsatz vom APG gesteuert und deren Daten intern im APG gespeichert werden. In unserer Anwendung waren die APGs mit zusätzlichen Temperatur- und Leitfähigkeitssensoren ausgestattet, die über SeaBird MicoCats SBE37 gesteuert wurden.

Der erste Einsatz der drei im Projekt beschafften APGs fand im Sommer 1997 während der VALDIVIA Reisen V165 und V167 statt (Backhaus, 1997; Quadfasel, 1997; Quadfasel et al., 1997). Zwei Geräte wurden am Kontinentalabhang in der Framstraße in Wassertiefen von ca. 1100 m ausgebracht und ein Gerät auf dem Schelf in ca. 200 m Tiefe verankert. Die Einsatzzeiten lagen zwischen 10 und 43 Tagen, die Geräte waren auf ein Profilintervall von 3 Stunden programmiert. Nach der erfolgreichen Aufnahme der Verankerungen zeigte sich aber, daß die beiden tiefen Geräte jeweils nur ein Absinkprofil gemessen hatte, das Gerät auf dem Schelf hatte fünf Profile gefahren und war dann nach weniger als einem Tag ausgefallen. Die Gründe für das Versagen aller drei Geräte konnten zusammen mit der Herstellerfirma erkannt werden. Diese waren im wesentlichen hohe Korrosionserscheinungen, zu schwache Leistungen der Pumpe sowie Fehler im Steuerungsprogramm.

Nachdem von der Herstellerfirma eine Reihe von Nachbesserungen durchgeführt worden waren, wurden die APGs im Juni 1998 westlich der Faeroe Inseln in Wassertiefen zwischen 1000 und 1200 m für einen Zeitraum von 10 Tagen verankert (Quadfasel, 1998). Die Konfiguration und die Programmierung war die gleiche wie vor Spitzbergen. Leider konnten am Ende der Periode nur zwei der Geräte wieder geborgen werden, ein Gerät war abgefischt worden. Die Geräte waren unversehrt, hatten aber wegen fehlerhafter Speichererweiterungen jeweils nur für eine halbe Stunde Daten aufgezeichnet.

Ein dritter Einsatz der zwei verbliebenen APGs fand im März - April 1999 wiederum westlich der Faeroe Inseln statt (Quadfasel und Hainbucher, 1999). Die Verankerungszeiten waren 14 und 26 Tage. Dieses mal lag die Ausbeute bei zwei bzw. einem Profil innerhalb der ersten 13 Tage des Einsatzes. Leider wurde nach der Verankerungsaufnahme durch eine Kombination von einem Bedienungsfehler und dem nicht vollständigem Leerpumpen des Wasserbehälters die Speicherplatinen der APGs irreparabel zerstört, so daß sich über das weitere Verhalten am Ende der Verankerungsperioden keine Aussagen getroffen werden können. Die interne Speicherung der Daten in den MicroCats läßt nur Schlüsse über die ersten 13 Tage zu.

Da alle drei im Projekt beschafften APGs verloren bzw. zerstört waren, konnten keine weiteren Tests gefahren werden.

Der Ausstrom von Bodenwasser aus Storfjorden:

Die Verteilung des aus Storfjorden austretenden Bodenwassers wurde auf dem nördlichen Barentsschelf und am Kontinentalabhang westlich von Spitzbergen im Sommer 1997 während vier Seereisen vermessen. Den Anfang machte in der Zeit vom 29. Mai bis 7. Juni 1997 die FS VALDIVIA Reise V165, auf der insgesamt 143 CTD Stationen beprobt wurden, die meisten davon auf dem Schelf südlich von Spitzbergen (Quadfasel, 1997). Wegen schwerer Eislage konnten die Messungen nur westlich des Storfjord Sills durchgeführt werden. Anfang Juni konnte bei 16° E eine etwa 30 m dicke Schicht von kaltem (-1.7° C) Bodenwasser gefunden werden. Die Salzgehalte lagen bei maximal 34.94 und waren damit deutlich geringer als in früheren Jahren. Diese Zunge kalten Wassers breitete sich mit einer Geschwindigkeit von ca. 0.1 m/s nach Westen hin aus, erreichte während der Reise den Kontinentalabhang aber nicht.

Im Juni (V166, Fahrtleiterin Dr. M. Rhein), im Juli (V167, Fahrtleiter Prof. J. Backhaus) und im August/September (RV LANCE, Fahrtleiterin Dr. U. Schauer) konnte ein Teil der Stationen wiederholt und so die zeitliche Entwicklung der Ausstromfahne dokumentiert werden. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind ausführlich im Abschlußbericht von Frau Dr. Schauer dargelegt, in dem auch zwei hydrographische Schnitte der V165 Reise gezeigt werden (dort Abb. 3). Zusammenfassend kann man sagen, daß der Ausstrom im Sommer 1997 im Vergleich zu anderen Jahren sehr schwach war und kaum schweres Bodenwasser den Kontinentalabhang erreichte. Anhand der klassischen Temperatur- und Salzgehaltsdaten konnte ein Absinken in die Tiefsee nicht erkannt werden, jedoch wiesen Tracerdaten (d^3He) in der Framstraße Spuren von Schelfwasser in Tiefen von 600 m auf.

Der Einfluß des Schelfbodenwassers auf Tiefenwasser im Nordmeer und im Arktischen Ozean:

Die Transformation der Wassermassen im Europäischen Nordmeer und im Arktischen Ozean wurde an Hand von früher gewonnenen Datensätzen sowie den hydrographischen Daten von den beiden oben erwähnten POLARSTERN Reisen untersucht.

Während der 1995 Reise in das östliche Eurasische Becken konnte zum ersten mal im Arktischen Ozean selbst die Struktur einer dünnen salzreichen Schelfabhangströmung beobachtet werden (Rudels et al., 2000). Oberhalb von 2200 m war dieses Wasser im Vergleich zum Umgebungswasser kalt, unterhalb dieser Tiefe aber relativ warm (Abbildung 2). Dieser Effekt, der durch das Einmischen warmen Atlantikwassers beim Absinken hervorgerufen wird, wurde früher schon im Bereich des Storfjord Ausstroms beobachtet. Im Eurasischen Becken scheint es zwei Hauptquellen für diese Schelfabhangströmungen zu geben: Den St. Anna Graben in der Barentssee und das Gebiet westlich von Sewernaya Zemlya in der östlichen Karasee. Dieser letzte Einstrom ist in der Tiefe mit höheren Temperaturen verbunden, da er höher am Schelfabhang startet und so länger das Atlantische Wasser einmischen kann.

Mt Hilfe des synoptischen hydrographischen Datensatzes aus dem Bereich der nördlichen Framstraße und über dem Yermack Plateau vom Sommer 1997 konnte die Zirkulation und der Austausch zwischen dem Nordmeer und dem Arktischen Ozean detailliert beschrieben werden. Dabei zeigte sich, daß die Rezirkulation von Atlantischen Wasser in der Framstraße gegenüber der Situation in den 80er Jahren stark abgenommen hat, was auf die verringerte Konvektionsaktivität in der Grönlandsee zurückgeführt werden kann. Gleichzeitig hat der Einstrom des Atlantischen Wassers zugenommen. Das Tiefenwasser aus dem Nordmeer konnte nur im Bereich der Framstraße

selbst gefunden werden, während im Eurasischen Becken das salzreiche und relative warme Wasser dominierte, daß durch Schelfrandkonvektion gebildet wird (Rudels et al., 2000).

Auf der Basis von hydrographischen Daten, die im wesentlichen im Rahmen des früheren Hamburger SFBs 318 gewonnen wurden, konnte die Struktur des zirkumpolaren Randstroms vom Einstrom über den Island-Schottland Rücken über den Arktischen Ozean bis zum Ausstrom durch die Dänemarkstraße und die anderen tiefen Passagen im Rückensystem dargestellt werden. Durch die Veränderungen in der Wassermassenstruktur entlang der Ausbreitung des Randstroms wurden die Prozesse identifiziert, die zu diesen Wassermassentransformationen führten, und deren Bedeutung für das groß-skalige vertikale „overturning“ quantifiziert. Schelfrandkonvektion, d.h. das Absinken des schweren Bodenwassers von den Schelfen, modifiziert durch Intrusionen die Eigenschaften der Wassersäule in mittleren Tiefen und bestimmt die Eigenschaften des Tiefenwassers. Es zeigte sich, daß allein der Arktische Ozean mit etwa 40% zum tiefen Overflow in der Dänemarkstraße beiträgt. (Rudels et al., 1998a, 1998b; 1999).

Rudels und Friedrich (2000) untersuchten den Beitrag der Schelfrandkonvektion zur Frischwasserbilanz des Arktischen Ozeans. Es zeigte sich, daß dem Barentsschelf und den anderen Eurasischen Schelfen durch das Absinken des schweren Bodenwassers auch Frischwasser entzogen wird, das durch die großen Flüsse in die oberflächennahe Schicht eingetragen wurde.

Bodenwasserbildung im Beringmeer:

Die Beringmeer Verankerungen wurden Ende September 1999 geborgen und nach einer Kalibrierung der Geräte liegen die Zeitserien der Strömungen und hydrographischen Daten jetzt aufbereitet vor. Die Interpretation ist allerdings bei weitem noch nicht abgeschlossen.

Die Lage der Verankerungen südlich der St. Lawrence Insel im nördlichen Beringmeer ist in Abbildung 3 dargestellt. Das Verankerungsnetz bestand aus einem inneren Array quer zur Küste der Insel, das den Bereich der Polynia und der Eiskante abdecken sollte, und einem äußeren Array, mit dem der Export des gebildeten Bodenwassers erfaßt werden sollte. Letzteres war mit den Hamburger Verankerungen aufgebaut, von denen aber leider nur vier (H1, H3-H5) wieder geborgen werden konnten. Alle Verankerungen waren mit zwei Rotor Strommessern ausgerüstet, einer in ca. 5 m Bodenabstand und einer ca. 20 m unterhalb der Meeresoberfläche. Zusätzlich waren in vier Metern Bodenabstand noch SeaCats verankert, die neben der Temperatur und dem Druck auch die elektrische Leitfähigkeit messen und so die Berechnung von Salzgehalten erlauben.

Die Struktur und Größe der Polynia wurde während des Verankerungszeitraums mit Hilfe von Satelliten beobachtet (Seelye Martin, APL University of Washington). Abbildung 4 zeigt als Beispiel eine Synthetic Aperture Radar (SAR) Aufnahme vom 9. Januar 1999, die während einer starken Nordostwindlage eine Polynia von etwa der gleichen Größe wie die Insel selbst zeigt. In diesem Fall liegt der östliche Teil des inneren Verankerungsarrays im Bereich des offenen Wassers, alle anderen Verankerungen sind vom Eis bedeckt. Die Analyse der etwa 60 Radarbilder ist in Arbeit, die vorhandenen Datenlücken von bis zu zwei Wochen sollen mit Hilfe der im inneren Array verankerten upward looking Sonargeräte interpoliert werden.

Die Entwicklung der bodennahen Temperaturen und Salzgehalte an den äußeren H-Verankerungen zeigt Abbildung 5. Im Herbst zwischen September und Oktober steigen die Temperaturen von Null auf ca. 4° C, bleiben dann für einen Monat in dieser Höhe und fallen ab Ende November an allen

Verankerungen rapide ab. Mitte Dezember erreichen sie den Gefrierpunkt und bleiben dort bis Ende April. Danach erwärmt sich das Bodenwasser langsam. Die Salzgehalte sinken zunächst auch, steigen von Anfang November bis zum Maximum im April um mehr als 1 p.s.u. an und fallen dann wieder auf die vorjährigen Septemberwerte. Dieser Zyklus läßt sich wie folgt erklären: Im Herbst ist die Wassersäule stark geschichtet, warmes salzarmes Wasser liegt über relativ kaltem und salzreichem Bodenwasser. Die herbstlichen Verluste von Wärme an die Atmosphäre kühlen die Oberflächenschicht ab, die Stabilität der Wassersäule wird verringert und mechanische Vermischung durch Gezeitenströmungen führt zu einer Erwärmung der Bodenschicht. Neben der Wärme wird auch Frischwasser von oben nach unten gemischt, der Salzgehalt am Boden nimmt ab. Weitere Wärmeverluste an die Atmosphäre führen dann zu einer Abkühlung der ganzen Wassersäule auf den Gefrierpunkt. Eisbildung setzt ein, der Salzgehalt der Wassersäule erhöht sich. Bis Anfang Mai (Tag 480) ist der Salzexport durch Advektion geringer als der Eintrag durch Eisbildung, danach dominiert die Advektion und die Salzgehalte verringern sich wieder. Die leichte Erwärmung ist auf vertikale Diffusion und Vermischung durch Gezeiten zurückzuführen.

Überlagert über das eben beschriebene saisonale Signal sind Fluktuationen in Temperatur und Salzgehalt mit Zeitskalen von 20-30 Tagen, die sich auch in den Zeitserien der Strömungsmessungen finden (Abbildung 6). Die Ursachen für diese Schwankungen sind uns bisher nicht klar. Mehreren Erklärungsmöglichkeiten wird zur Zeit nachgegangen: (1) Fluktuationen der Wärmeflüsse an die Atmosphäre führen zur einer variablen Bodenwasserproduktion, (2) Änderungen der windgetriebenen Zirkulation führen zu einer Advektion von Wassermassen unterschiedlicher Charakteristiken, (3) Schwankungen in der biologischen Produktion (Planktonblüten) führen zu einer Kontamination der Leitfähigkeitssensoren und täuschen die Salzgehaltsschwankungen vor.

Insbesondere der letzte Punkt könnte, falls er sich bewahrheiten sollte, die Interpretation der Daten erheblich erschweren. Daß es sich hier um ein ernst zu nehmendes Problem handelt, zeigen die Zeitserien der mit einem Hochpaß gefilterten Strömungszeitserien (Abbildung 6). Bei einer cut-off Periode von 24 Stunden sollten hier im wesentlichen Gezeiten und Trägheitswellen sichtbar sein. Für Teilbereiche der Zeitserie ist das auch der Fall, es gibt aber Perioden von bis zu vier Wochen, in denen die hochfrequente Energie deutlich reduziert ist. Ein Verschwinden der Gezeiten ist physikalisch nicht sinnvoll (Mond und Sonne sind im Antragszeitraum ja auch nicht verschwunden), aber die Rotoren der Strommesser könnten durch starke Planktonblüten und den damit verbundenen Schleim im Wasser angehalten worden sein. Eiskristalle, durch windbedingte Vermischung in größere Tiefen transportiert, könnten theoretisch auch zu einer Blockierung der Rotoren führen, obwohl Mischung in Tiefen von 50 m unwahrscheinlich sind. Diese verschiedenen Möglichkeiten müssen aber genau untersucht werden, bevor man Schlüsse aus den Daten ziehen kann.

4. Schlußfolgerungen

Wegen einer Reihe politischer, technischer und natürlicher Probleme konnte nur ein Teil der im Teilprojekt vorgeschlagenen Arbeiten durchgeführt werden, und diese wiederum auch nur mit erheblicher Verzögerung. Trotz dieser Rückschläge waren die Arbeiten im ganzen gesehen erfolgreich, wobei aber anzumerken ist, daß die Auswertung des Polynia Experiments zu diesem Zeitpunkt noch nicht abgeschlossen ist.

Im einzelne ergeben sich folgende Schlußfolgerungen:

- Die Autonomen Profilierenden Geräteträger (APG) sind im gegenwärtigen Zustand nicht für einen ozeanischen Einsatz unter normalen Bedingungen geeignet. Die drei durchgeführten Tests mit diesen Geräten hatten alle ein negatives Ergebnis.
- Der Ausstrom von schwerem Bodenwasser aus Storfjorden war im Sommer 1997 so schwach, daß es nicht zu einem Absinken am Kontinentalabhang kam. Daher konnten auch keine Beobachtungen zum Einmischen ambienten Wassers in die Ausstromfahne gemacht werden.
- Die Analyse hydrographischer Daten aus dem Nordmeer und dem Arktischen Ozean zeigte die mit dem Absinken verbundene Transformation der Wassermassen und die Ausbreitung des Bodenwassers von den Schelfen in die tiefen Becken.
- Mit dem Polynia Experiment im Beringmeer konnte ein Teil der geplanten Arbeiten mit einer Verspätung von 18 Monaten durchgeführt werden. Die Daten sind aufbereitet aber noch nicht ausgewertet.
- Eine Gesamtbilanz der Bodenwasserproduktion auf den Schelfen auf der Basis von Satellitendaten konnte noch nicht erstellt werden, da dazu zunächst die Parametrisierungen aus dem Beringmeer Experiment entwickelt werden müssen.

5. Literatur

- Backhaus, J. O. (1997) Fahrtbericht, VALDIVIA Reise V167, ACSYS, ARKTIEF, SFB 313, ESOP II, 2. Juli – 27. Juli 1997, Longyearbyen – Hamburg. Inst. für Meereskunde Hamburg. Techn. Rep. 4 -97, 17 pp.
- Quadfasel, D. (1997) Cruise Report, VALDIVIA cruise V165, ESOP II - ACSYS, 21. May - 9. June 1997, Torshavn - Longyearbyen. Inst. für Meereskunde Hamburg. Techn Rep. 2 -97, 12 pp.
- Quadfasel, D., J. Backhaus, J. Meincke, Th. Knutz, M. Koch, und B. Dümcke (1997) Arbeits- und Erfahrungsbericht über den Einsatz von drei verankerten Autonomen Profilierenden Geräteträgern im Projekt ACSYS vor Spitzbergen im Sommer 1997. Inst. für Meereskunde Hamburg. Techn Rep. 3 -97, 27 pp.
- Quadfasel, D. (1998) Cruise Report, VALDIVIA cruise V171, ACSYS, Teach and SFB 512, Hamburg - Torshavn - Reykjavik, 15. June – 2. July 1998. Inst. für Meereskunde Hamburg. Techn Rep. 2 - 98, 11 pp.
- Quadfasel, D., und D. Hainbucher (1999) Cruise Report, VALDIVIA cruise V177, Torshavn - Torshavn – Torshavn, 24. March – 7. April 1999. Inst. für Meereskunde Hamburg. Techn Rep. 2 - 99, 11 pp.
- Rudels, B., D. Quadfasel, und H. Friedrich (1998a) The northern circumpolar boundary current. Extended abstract, ACSYS Conference Seattle, 3. - 6. November 1997, WCRP-106, 226-228.
- Rudels, B., D. Quadfasel, und H. Friedrich (1998b) The Arctic Ocean Deep Water component in the Greenland-Scotland overflow. ICES Coop. Res. Rep., 225, 172-194.
- Rudels, B., D. Quadfasel, und H.J. Friedrich (1999) The Arctic circumpolar boundary current. Deep-Sea Res. II, 46, 1023-1062.

Rudels, B., R. Meyer, E. Fahrbach, V. Ivanov, S. Østerhus, D. Quadfasel, U. Schauer, V. Tverberg, und R. Woodgate (2000) Water masses and circulation in Fram Strait in summer 1997. *Annales Geophysicae* (im Druck).

Rudels, B., R. D. Muench, J. Gunn, U. Schauer, und H. J. Friedrich (2000) Evolution of the Arctic Ocean Boundary Current north of the Siberian Shelves. *Journal of Marine Systems* (im Druck).

Rudels, B., und H. J. Friedrich (2000) The transformations of Atlantic Water in the Arctic Ocean and their significance for the freshwater budget. In "The freshwater budget of the Arctic Ocean", edited by E.L. Lewis, Kluwer (im Druck).

6. Abbildungen

Abbildung 1: Zeitserien der Temperatur, gemessen an den Verankerungen 2 und 5 ca. 150 km westlich des Faeroer Bank Kanals im Frühjahr 1999. Die dünnen durchgezogenen Linien zeigen die Temperaturen an den in 10 m Bodenabstand verankerten Geräten, die dicken gepunkteten Linien die Aufzeichnungen der MicroCats der APGs. APG 15 (Verankerung 2) zeigt am Anfang der Periode einen Aufstieg und einen Abstieg, und später (Tag 82) einen weiteren Aufstiegsversuch. APG 17 (Verankerung 5) steigt am Anfang der Meßperiode auf und verbleibt den Rest der Zeit am oberen Ende der Verankerung.

Abbildung 2: Temperatur-, Salzgehalts- und Dichteprofile sowie Temperatur-Salzgehalts Diagramme von Stationen am Kontinentalabhang des Eurasischen Beckens vor der östlichen Karasee (89) und nördlich von Severnaya Zemlya (29, 229, 25, 26), im inneren Nansen Becken (27) und im Amundsen Becken (47) im August 1995. Die Temperatur- und Salzgehalts Anomalien in Bodennähe zeigen eine Schelfabhangströmung von schwerem Bodenwasser aus der Karasee. Im Salzgehalt ist die Anomalie immer positiv, in der Temperatur nur unterhalb von 2200 m Tiefe.

Abbildung 3: (a) Topographie des Beringmeers mit der Lage der St. Lawrence Insel. (b) Lage der Verankerungen im Polynia Experiment vom September 1998 bis September 1999. Die mit Dreiecken gekennzeichneten Positionen zeigen die Lage des vom Projekt bestückten äußeren Arrays (H1, H3-H5).

Abbildung 4: Synthetic Aperture Radar Bild, das die Ausdehnung der St. Lawrence Island Polynia (mit P gekennzeichnet) am 9. Januar 1999 während eines Kaltluftausbruchs mit starken nördlichen Winden zeigt.

Abbildung 5: Zeitserien der Temperatur und des Salzgehaltes in ca. 4 m Bodenabstand an den Geräten des äußeren Arrays. Die Daten sind mit einem Tiefpaß (cut-off Periode 24 Stunden) gefiltert, um die durch interne Wellen erzeugten hochfrequenten Fluktuationen zu eliminieren.

Abbildung 6: Vektorzeitserien der Strömungen an Verankerung H5 (Tiefpaß gefiltert) und Zeitserie des hochfrequenten Anteils der Ost-Komponente der Strömung. Niedrige Amplituden von Gezeiten- und Trägheitsströmungen zeigen die Zeiten an, in denen der Rotor des Strommessers nicht frei drehen konnte.

Erfolgskontrollbericht

Beitrag zu den förderungspolitischen Zielen des Förderprogramms

Das Projekt ACSYS steht im direkten Zusammenhang mit dem Programm "Meeresforschung" der Bundesregierung vom September 1993, wo es heißt "Physikalische Ozeanographie und Maritime Meteorologie widmen sich in den nächsten Jahren Fragestellungen, die enge Beziehungen zu den weltweiten Forschungsprogrammen (WRCP, z. B. ACSYS, CLIVAR u.s.w.) haben, ...".

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden dazu beitragen, die Variabilität des Klimas im Nordmeer und im Arktischen Ozean besser zu verstehen. Die hier durchgeführten Prozeßuntersuchungen werden darüber hinaus auf andere Meeresgebiete anwendbar sein und zu einer Verbesserung von Modellen zur Klimavorhersage führen.

Wissenschaftlicher und technischer Erfolg

Wegen weitreichender politischer und technischer Probleme mußte das geplante Meßprogramm erheblich modifiziert werden und hat sich in seiner Durchführung um mehr als ein Jahr verzögert. Trotzdem zeigt die bisherige vorläufige Auswertung der Experimente, daß ein großer Teil der Untersuchungsziele erreicht werden kann.

Bis auf die neuen Autonomen Profilierenden Geräteträger arbeiteten die eingesetzten Geräte technisch zufriedenstellend.

Einhaltung des Finanzierungs- und Zeitplans

Der Finanzierungsplan wurde eingehalten, der Zeitplan nicht. Mit einer Veröffentlichung der wissenschaftlichen Ergebnisse ist innerhalb des nächsten Jahres zu rechnen.

Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Ergebnisse liegen im Bereich der Grundlagenforschung, und eine unmittelbare wirtschaftliche Verwertung ist daher nicht zu erwarten. Die Einbeziehung der Erkenntnisse in Modellen zur Klimavorhersage verspricht aber langfristig einen erheblichen sozialen und wirtschaftlichen Nutzen.

Erfindungen, Schutzrechte

Patentanmeldungen werden sich aus dem Projekt nicht ergeben.

Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Bisher keine, allerdings sind die Arbeiten auch noch nicht abgeschlossen.