

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart Zwischenbericht
3a. Titel des Berichts Zwischenbericht zu CLIVAR marin- Teilprojekt: Integration und Interpretation des WOCE Freon Datensatzes des Nordatlantiks	
3b. Titel der Publikation	
4a. Autoren des Berichts (Name, Vorname(n)) Rhein, Monika	5. Abschlußdatum des Vorhabens
4b. Autoren der Publikation (Name, Vorname(n))	6. Veröffentlichungsdatum
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Institut für Umweltphysik Abteilung Ozeanographie Kufsteiner Straße, Geb. NW1 28359 Bremen mrhein@physik.uni-bremen.de www.ocean.uni-bremen.de	7. Form der Publikation
13. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	9. Ber.Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen *) 03F0246E
	11a. Seitenzahl Bericht 6
	11b. Seitenzahl Publikation
	12. Literaturangaben
	14. Tabellen
	15. Abbildungen 5
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung Vorhabenziele sind: a) Die Integration der WOCE Freon Daten des Nordatlantiks und Erstellung der Freonprodukte für den Atlantik - Atlas. Für die deutschen Freonaten des Nordatlantiks, des tropischen Atlantiks und des Indischen Ozeans sollen Datenreports erstellt werden. Soweit Daten vorhanden, werden auch Vergleiche zwischen den Datensätzen verschiedener Reisen stattfinden. b) Die Interpretation der Beobachtungen insbesondere hinsichtlich der Mechanismen der Tiefenwasserausbreitung. Hierzu sollen neben den Beobachtungen auch Modellergebnisse herangezogen werden. Die Aussicht auf Erreichen der Vorhabenziele ist gut. Das Manuskript, in dem das topographieabhängige Interpolationsverfahren beschrieben und angewendet wird, ist inzwischen beim Journal of Physical Oceanography akzeptiert (Rhein et al., 2001). Die zeitliche Entwicklung des Tracersignals im Labradorseewasser wurde weiter verfolgt, die Differenz zwischen den Konzentrationen von 1997 und 1999 zeigt, daß das neu gebildete Labradorseewasser in diesem Zeitraum weiter nach Süden und weiter in den Nordostatlantik vorgedrungen ist. In Zusammenarbeit mit C. Böning (IFM Kiel) wurde die Aufnahme von Freon und die Verteilung von Labradorseewasser im Modell untersucht und mit den zahlreichen Beobachtungen von 1997 verglichen (Diplomarbeit C. Dorow). Im tropischen Atlantik wurden die Zeitreihen im tropischen Atlantik fortgesetzt und die zeitliche und räumliche Variabilität in einem Manuskript zusammengefaßt, das beim Journal of Geophysical Research eingereicht wurde (Andrie, C., M.Rhein, S. Freudenthal und O.Plähn, 2001). In Zusammenarbeit mit W. Roether und der Arbeitsgruppe Koltermann wurde eine Abstimmung bezüglich der Produkte erzielt, die im WOCE Atlas Atlantik erscheinen sollen. Die Arbeit an den Abbildungen hat begonnen.	
19. Schlagwörter	
20. Verlag	21. Preis

*) Auf das Förderkennzeichen des BMBF soll auch in der Veröffentlichung hingewiesen werden.

Abschlussbericht zu CLIVAR marin - Teilprojekt:

Integration und Interpretation des WOCE-Freon-Datensatzes des Nordatlantiks

Projektleitung: Prof. Dr. Monika Rhein

Wiss. Mitarbeiter: Dr. Olaf Plähn bis 30.11. 2000, Dr. Reiner Steinfeldt ab 1.12. 2000

Institut für Umweltphysik, Abt. Ozeanographie, Universität Bremen

Otto Hahn Allee, Geb. NW1, 28359 Bremen

mrhein@physik.uni-bremen.de, www.ocean.uni-bremen.de

1. Aufgabenstellung

1) Die Integration der WOCE Freondaten des Nordatlantiks und Erstellung der Freonprodukte für den Atlantik - Atlas. Dies sollte in enger Abstimmung mit den Anträgen Koltermann (Hydrographie) und Roether (Tracer Südatlantik) erfolgen. Für die deutschen Freondaten des Nordatlantiks und des Indischen Ozeans soll darüberhinaus ein Datenreport erstellt werden, der neben den fahrtspezifischen Details auch die Methoden zur Berechnung der Konzentrationen, der Blanks, der Reproduzierbarkeit und der Genauigkeit enthält. Soweit Daten vorhanden, sollen auch Vergleiche zwischen den Datensätzen verschiedener Reisen stattfinden.

2) Die Interpretation der Beobachtungen, insbesondere hinsichtlich der Mechanismen der Tiefenwasserausbreitung. Hierzu sollen neben den Beobachtungen auch Modellergebnisse herangezogen werden.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die FS Sonne und FS Meteor waren ausgezeichnete Forschungsplattformen, um die aufwendigen Beobachtungsprogramme durchzuführen, die zur Gewinnung des WOCE Traerdatensatzes notwendig waren. Die bewilligten Mittel für Personal und Geräte waren für den Erfolg des Projektes unerlässlich. Hinzu kam noch die wissenschaftliche und technische Expertise der Mitarbeiter und die gute Kooperation mit den am WOCE Atlas beteiligten Projekten und mit den anderen WOCE-Aims und CLIVAR marin Vorhaben.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Der im Antrag vorgelegte Arbeitsplan wurde in seinen wesentlichen Teilen eingehalten. Für die Erstellung von weiteren Abbildungen (z.Bsp. Freonalter auf Isopyknen, Freon auf WOCE Repeat Sections) für die elektronische Version des Atlas wurde eine kostenneutrale Verlängerung beantragt. Die Aufarbeitung der WOCE Datensätze ist abgeschlossen und die Freon - Daten für die Erstellung der gedruckten Version bereit gestellt. Die Auswertung der WOCE Tracerdaten hinsichtlich Zirkulation und Ausbreitung der tiefen Wassermassen wurde in mehreren Veröffentlichungen dokumentiert.

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Da ein großer Teil der nordatlantischen Freondatensätze aus dem eigenen Labor bzw von Bremen (W. Roether) stammte, konnten diese Erfahrungen auch in der Interpretation der Tracerdaten sowie in der Beurteilung der Qualität eingebracht werden. Auf der wissenschaftlichen Seite konnte auch auf bereits vorliegende Analysen aus WOCE und den SFBs 133 und 460 aufgebaut werden.

Angaben der verwendeten Fachliteratur (*: Beiträge von Mitgliedern des Vorhabens)

Andrie, C., 1996, Chlorofluoromethanes in the deep equatorial Atlantic, revisited. The Deep Water Regime in the Equatorial Atlantic, in: The South Atlantic: Present and Past Circulation, Hrsgs, G. Wefer, H. Berger, G. Siedler and D. Webb, Springer Verlag Berlin Heidelberg, 273-288.

Andrie, C., M.Rhein*, C.Freudenthal und O.Plähn*, 2002, CFC time series in the deep water masses of the tropical Atlantic, 1990-99. Deep Sea Res I, 49, 281-304.

Böning, C.W., M.Rhein*, J.Dengg und C.Dorow, 2002, Modelling CFC inventories and formation rates of Labrador Sea Water. Geophys. Res. Lett., angenommen.

Bower, A.S., and H.D. Hunt, 2001, Lagrangian Observations of the DWBC in the North Atlantic Ocean. Part I: Large scale pathways and spreading rates, J. Phys. Oceanogr. 30, 764-783.

Cunnold,D.M., P.J. Fraser et al., 1994, Global trends and annual release of CCl₃F and CCl₂F₂ estimated from ALE/GAGE and other measurements from July 1978 to June 1991. J.Geophys.Res. 99, 1107-1126.

Curry, R.G., M.S. McCartney und T.M. Joyce, 1998, Oceanic transport of subpolar climate signals to mid-depth subtropical waters. Nature 391, 575-577.

England, M.H., 1995, Using chlorofluorocarbons to assess ocean climate models. Geophys. Res. Lett. 22, 3051-3054.

- England, M.H., A.C. Hirst, 1997, Chlorofluorocarbon uptake in a world ocean model. 2. Sensitivity to surface thermohaline forcing and subsurface mixing parameterizations. *J. Geophys. Res.* 102, 15709-15731.
- Fine, R.A., M. Rhein*, C. Andrieu, Propagation and Storage of climate anomalies in the deep western North Atlantic Ocean. *Geophys. Res. Lett.*, revised August 2002a.
- Fine, R.A., W.M. Smethie, J.L. Bullister, D.H. Min, M.J. Warner, M. Rhein* and R.F. Weiss, Ventilation of the Indian Ocean from the South. *Deep Sea Res.*, submitted June, 2002b.
- Fischer, J., M. Rhein*, F. Schott und L. Stramma, 1996. Water masses and transports in the Vema Fracture Zone. *Deep Sea Res.*, 43, 1067-1074.
- Friedrichs, M.A.M. und M.M. Hall, 1993, Deep circulation in the tropical North Atlantic. *J. Mar. Res.*, 51, 697-736.
- Friedrichs, M.A.M., M.S. McCartney und M.M. Hall, 1994, Hemispheric asymmetry of deep water transport modes in the Atlantic. *J. Geophys. Res.* 99, 25.165-25.179
- Joyce, T.M., R.S. Pickart, and R.C. Millard, 1999, Long term hydrographic changes at 52°N and 66°W in the North Atlantic subtropical gyre and Caribbean. *Deep Sea Res.*, 46, 245-278.
- Körtzinger, A., M. Rhein* und L. Mintrop, 1999, Anthropogenic CO₂ and CFCs: man made tracers in unison in the North Atlantic Ocean. *Geophys. Res. Lett.*, 26, 2065-2068, 1999.
- Matear, R.J., and B.I. McNeil, 2002, A comparison in the Southern ocean of CFC age derived estimates of anthropogenic CO₂ to multiparametric linear regression estimates. *Mar. Chem.*, eingereicht.
- Matear, R.J., C.S. Wong, und L. Xie, Can CFCs be used to determine anthropogenic CO₂?. *Global Biogeochem. Cycl.*, 2002, eingereicht
- McCartney, M.S., 1993, Crossing the equator by the deep western boundary current in the western Atlantic ocean. *J. Phys. Oceanogr.* 23, 1953-1974.
- Molinari, R.L., R.A. Fine, W.D. Wilson, J. Abell, M.M. McCartney und R.G. Curry, 1998: A fast track for recently formed Labrador Sea Water: The deep western boundary current of the North Atlantic Ocean. *Geophys. Res. Lett.* 25, 2249-2252.
- Pickart, R.S., N.G. Hogg and W.M. Smethie, Jr., Determining the strength of the deep western boundary current using chlorofluoromethane ratio. *J. Phys. Oceanogr.*, 19, 940-951, 1989.
- Plähn*, O. und M. Rhein*, 1998 Measured and modeled CFC distribution of lower NADW in the Guiana Basin. *J. Geophys. Res.* 103C, 2831-2848.
- Plähn*, O., M. Rhein*, R.A. Fine und K.F. Sullivan, 1999, Pollutants from the Gulf War serve as water mass tracer in the Arabian Sea. *Geophys. Res. Lett.* 26, 71-74.

Plähn*, O., B.Baschek, T.H. Badewien, M. Walter und M. Rhein* ,2002, The importance of the Gulf of Aqaba for the formation of bottom water in the Red Sea. *J. Geophys. Res.*, im Druck.

Rhein*, M., 1994. The Deep Western Boundary Current: Tracers and Velocities. *Deep Sea Res.* 41, 263-281.

Rhein*, M., L. Stramma und U. Send, 1995. The Atlantic Deep Western Boundary Current: Water masses and transports near the equator. *J.Geophys.Res.*, 100, 2441-2457.

Rhein*, M., F. Schott, J. Fischer, U. Send und L. Stramma, 1996, The Deep Water Regime in the Equatorial Atlantic, in: *The South Atlantic: Present and Past Circulation*, Hrsgs, G. Wefer, H. Berger, G. Siedler and D. Webb, Springer Verlag Berlin Heidelberg, 261-271.

Rhein*, M., L. Stramma, and O. Plähn, 1997a, Tracer signals of the Red Sea and Persian Gulf outflows in the Arabian Sea. *Geophys. Res. Lett.*, 24, 2561-2564.

Rhein*, M., L. Stramma und G. Krahnmann, 1998a. The spreading of Antarctic Bottom Water in the Tropical Atlantic. *Deep Sea Res.*, 45, 507-527.

Rhein*,M., O.Plähn, R.Bayer, L.Stramma, und M. Arnold, 1998b, The temporal evolution of the tracer signal in the Deep Western Boundary Current, tropical Atlantic, *J. Geophys. Res.*, 103, 189-215.

Stramma, L., und M. Rhein*, 2001, Variability in the Deep Western Boundary Current in the equatorial Atlantic at 44° W. *Geophys. Res. Lett.*, 28, 1623-1626

Sy, A., M. Rhein*, J.R.N. Lazier, K.P. Koltermann, J. Meincke, A. Putzka und M. Bersch, 1997, Surprisingly rapid cooling of newly formed intermediate waters across the North Atlantic Ocean. *Nature* 386, 675-679.

Visbeck, M. und M. Rhein*, Is Bottom Boundary Layer Mixing slowly ventilating Greenland Sea Deep Water? *J. Phys. Oceanogr.*, 30, 215-224, 2000.

Watanabe, Y.W., T.Ono, A. Shimamoto, 2000, Increase in the uptake rate of oceanic anthropogenic carbon in the North Pacific determined by CFC ages. *Mar.Chem.* 72, 297-315.

II.1. Eingehende Darstellung der erzielten Ergebnisse

Die Arbeiten im Projekt verfolgten mehrere Ziele: In Teil 1 sollte der WOCE Freon-Datensatz des Nordatlantiks für den WOCE Atlas hergestellt, die Daten qualitativ bewertet, und für die eigenen Daten ein Qualitätsbericht hergestellt werden. Die Daten sollten dann für die Abbildungen der Gruppe Koltermann zur Verfügung gestellt werden. Im zweiten Teil stand die wissenschaftliche Interpretation der Tracerdaten im Nordatlantik aber auch im Indischen Ozean im Vordergrund.

Die Aufgaben für den ersten Teil sind weitgehendst erledigt. Die Datenreports zu den eigenen Reise wurden wie geplant erstellt und zusammen mit den qualitativ geprüften Daten an die

entsprechenden Stellen weitergegeben. Die Freondata für die Atlas Abbildungen wurden nochmals geprüft und dann die Gruppe Koltermann weitergegeben. Vorläufige Abbildungen für den Atlas wurden ebenfalls erstellt, die endgültigen Abbildungen werden aber zusammen mit den anderen Abbildungen in gemeinsamen Layout von der Gruppe Koltermann erstellt.

Für den subpolaren Nordatlantik wurde ein topographieabhängiges Interpolationsverfahren vorgestellt (Rhein et al., 2002) und im Journal of Physical Oceanography veröffentlicht. Dieses Verfahren wurde auch für den gesamten Nordatlantik für die tiefen Wassermassen angewandt. In Abb. 1a und 1b sind zwei Beispiele für die Verteilung der Freonalter auf zwei Isopyknen dargestellt, die das Labradorseewasser (Abb. 1a) und das untere Tiefenwasser (Abb. 1b) charakterisieren. Die Darstellung des Freonalters wurde gewählt, da sich die jährlichen Änderungen der Freonkonzentration weniger stark auf die Altersberechnungen durchschlagen. Weitere Verteilungen auf ausgesuchten Isopyknen sowie die Freonverteilungen entlang der Atlantik- WOCE Schnitten sind auf den Bremer Clivar-Webseiten zu finden.

Eine erste Interpretation der Freonalter in Zusammenhang mit anderen Abschätzungen der Zeitskalen für die Ausbreitung im tropischen Atlantik wurden eingereicht (Fine et al., 2002a). In dieser Arbeit wird die Ausbreitung und Speicherung von Klima-Anomalien im tiefen Nordatlantik anhand der Freonalter-Verteilung untersucht. Die Differenz zwischen den direkt gemessenen Geschwindigkeiten im tiefen westlichen Randstrom und den Ausbreitungsgeschwindigkeiten aus Traceralter zeigen, daß die zeitliche Verzögerung, mit der eine Klima-Anomalie aus dem subpolaren Nordatlantik in die Tropen wandert, etwa 18-20 Jahre beträgt. Bei der Berechnung der Ausbreitungszeit wurde bei den Freonaltern das Alter des Wassers in der Bildungsregion des Labradorseewassers abgezogen.

Weitere Abschätzungen von Ausbreitungszeiten wurden von Stramma und Rhein, (2001) veröffentlicht und auf dem CLIVAR Workshop in Paris 2001 vorgestellt. Die aus hydrographischen Anomalien abgeschätzten Zeitskalen der Ausbreitung von der Labradorsee bis zum Äquator bei 44°W waren zwischen 15-17 Jahren. Eine weitere Veröffentlichung, die sich mit der Interpretation der WOCE Freon - Zeitserien im tiefen tropischen Atlantik befassen, ist durch eine Zusammenarbeit mit C. Andrie, LODYC, Paris entstanden und in Deep Sea Research erschienen (Andrie et al., 2002). In dieser Arbeit wird detailliert auf die zeitliche (1990-1998) und räumliche Variabilität der hydrographischen – und Freon-Verteilungen entlang 35°W eingegangen und auf die zonale Ausbreitung von Tiefenwasser entlang des Äquators.

Die großräumige Interpretation der Daten aus dem Indischen Ozean hinsichtlich Ventilation und Ausbreitung wurde bei Deep Sea Research eingereicht (Fine et al., 2002b). Die Ventilationszeit für den Subtropenwirbel des Südindischen Ozeans beträgt zwischen 15 und 25 Jahre, abhängig von der Dichte des Wassers. Das Tiefenwasser des Indischen Ozeans sind noch freonlos, da sie seit einigen Jahrzehnten vom Kontakt mit der Atmosphäre isoliert sind. Das Bodenwasser besitzt messbare Freonkonzentrationen nur südlich von 20°S (bei 50°O) bis 30°S (bei 110°O).

Auswertungen der Daten bezüglich der Ausbreitung des Wassers aus dem Persischen Golf in die Arabische See und der Bildung von Bodenwasser im Roten Meer sind ebenfalls erschienen oder im Druck (Plähn et al., 1999; Plähn et al., 2002). Für die Untersuchung der Ausbreitung des Persischen Golf Wassers (PGW) wurde eine F-12 Kontamination benutzt, die wahrscheinlich während des Golfkrieges in das Wasser eingetragen wurde (Löschmittel).

Der WOCE Tracerdatensatz sowie die Messungen im Rahmen des SFB 460 wurden dazu verwendet, Freoninventare zu berechnen und mittlere Bildungsraten von Labrador Seewasser (LSW) sowie deren Variabilität abzuschätzen (Rhein et al., 2002). Die benutzte Freon-Methode

zur Abschätzung der LSW Bildungsraten wurde in Zusammenarbeit mit C. Böning, IFM Kiel, mit den Resultaten eines hochauflösenden Modells des Nordatlantiks verglichen, die Arbeit wurde inzwischen angenommen (Böning et al., 2002). Abgesehen von einigen lokalen Besonderheiten konnte das Modell die beobachtete Verteilung gut simulieren. Es stellte sich heraus, dass die in Rhein et al. (2002) entwickelte Freon-Methode im Modell vergleichbare LSW Bildungsraten ergab wie die durch Änderung des LSW Volumens berechnete Rate.

II.2 Darstellung des voraussichtlichen Nutzens

Die Ergebnisse gehören zur Grundlagenforschung und tragen wesentlich zum besseren Verständnis der ozeanischen Tiefenzirkulation bei. Die Tracerdaten sind besonders wichtig für die Abschätzung der Bildungsraten der einzelnen Wassermassen und ihrer Variabilität sowie für die Abschätzung der Zeitskalen für ihre Ausbreitung. Das Potential der Freondaten für die Validierung von Modellen hinsichtlich Ventilation und Ausbreitung kann erst jetzt, nachdem die während der WOCE Periode gesammelten Daten vorliegen, voll ausgeschöpft werden. Die Weiterentwicklung der Ozeanmodelle im Projektzeitraum hat dazu geführt, daß zumindest die hochauflösenden Modelle nun Freonverteilungen simulieren, die mit den Beobachtungen vergleichbar sind (Böning et al., 2002). Dies, zusammen mit dem jetzt vorliegenden globalen WOCE Tracerdatensatz wird sicherlich zu neuen Erkenntnissen zu der klimarelevanten Rolle des Ozeans führen. Dies gilt auch für die Berechnung des anthropogenen CO₂ Eintrags in den Ozean, der mit Hilfe der Freonalter sehr gut abgeschätzt werden kann. Arbeiten, die die Freon-Methode regional überprüft haben, sind bereits erschienen oder in Druck (Watanabe et al., 2001; Matear et al., 2002a,b), die globale Berechnung ist eingereicht. Auf der angewandten Seite sind die wissenschaftlichen Ergebnisse dieses Projekts als Beitrag zur Klimaforschung zu sehen.

II.3 Fortschritte auf dem Gebiet von anderer Stelle.

Die Freonverteilungen im Nordatlantik wurden von Smethie und Fine (2002) dazu verwendet, die Bildungsraten für die Komponenten des Nordatlantischen Tiefenwassers zu berechnen. Obwohl eine etwas andere Methode wie in Rhein et al. (2002) angewandt wurde, waren die Ergebnisse vergleichbar. Freon als Tracer für die Ausbreitung von NADW im Nordatlantik wurde von Smethie et al. (2001) veröffentlicht. Eine weitere Arbeit von Freudenthal und Andrie (2002, angenommen) beschäftigt sich mit neuem LSW, das zwischen 1990-94 gebildet wurde, und seiner möglichen Ankunft bei 7°30'N im tropischen Atlantik im Jahre 1996. Die Ausbreitungszeit für LSW ist hier sehr viel kürzer als in anderen Abschätzungen (z.Bsp Stramma und Rhein, 2001; Fine et al., 2002).

II.4 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen

Die bereits erfolgten bzw eingereichten Veröffentlichungen in begutachteten Zeitschriften sind:

Andrie, C., M.Rhein*, C.Freudenthal und O.Plähn*, 2002, CFC time series in the deep water masses of the tropical Atlantic, 1990-99. Deep Sea Res I, 49, 281-304.

Böning, C.W., M.Rhein*, J.Dengg und C.Dorow, 2002, Modelling CFC inventories and

formation rates of Labrador Sea Water. *Geophys. Res. Lett.*, angenommen.

Fine, R.A., M. Rhein*, C. Andrie, Propagation and Storage of climate anomalies in the deep western North Atlantic Ocean. *Geophys. Res. Lett.*, revised August 2002a.

Fine, R.A., W.M. Smethie, J.L. Bullister, D.H. Min, M.J. Warner, M. Rhein* and R.F. Weiss, Ventilation of the Indian Ocean from the South. *Deep Sea Res.*, submitted June, 2002b.

Plähn*, O., M. Rhein*, R.A. Fine und K.F. Sullivan, 1999, Pollutants from the Gulf War serve as water mass tracer in the Arabian Sea. *Geophys. Res. Lett.*, 26, 71-74.

Plähn*, O., B. Baschek, T.H. Badewien, M. Walter und M. Rhein*, 2002, The importance of the Gulf of Aqaba for the formation of bottom water in the Red Sea. *J. Geophys. Res.*, im Druck.

Rhein*, M., J. Fischer, W.M. Smethie, D. Smythe-Wright, C. Mertens, D.H. Min, U. Fleischmann und A. Putzka, 2002, Labrador Sea Water: Pathways CFC inventory and formation rates. *J. Phys. Oceanogr.*, 32, 648-665.

Stramma, L., und M. Rhein*, 2001, Variability in the Deep Western Boundary Current in the equatorial Atlantic at 44° W. *Geophys. Res. Lett.*, 28, 1623-1626

Geplant sind weitere Veröffentlichungen mit Nutzen der WOCE Daten in Zusammenarbeit mit anderen Gruppen:

Smethie et al. Large scale circulation in the North Atlantic

Rhein et al. CFC inventory changes in the subpolar North Atlantic

Beiträge in nichtbegutachteten Zeitschriften, die die WOCE Freondaten verwenden

M. Rhein, F. Schott, L. Stramma, J. Fischer und C. Mertens, Deep Water Variability in the Subpolar North Atlantic, *WOCE Newsletter*, 37, 7-9, 1999.

U. Fleischmann und M. Rhein, 2000, The contribution of Iceland Scotland Overflow Water to the formation of Northeast Atlantic Deep Water in the Iceland Basin and West European Basin. *WOCE Newsletter*, 38.

M. Rhein, Ozeanische Zirkulation und Klimaschwankungen, 2001, *Physik in unserer Zeit*, 32, 114-121, eingeladener Beitrag.

III Erfolgskontrollbericht

III.1 Beitrag zu den förderpolitischen Zielen

Das Projekt liefert einen wichtigen Beitrag für das Verständnis der ozeanischen Zirkulation und damit langfristig einen wichtigen Beitrag für die Modellierung des Ozeans in Klimamodellen sowie zur Berechnung des anthropogenen CO₂ Eintrags in den Ozean. Das Vorhaben behandelt daher zentrale Fragestellungen von WOCE-AIMS und ist in das nationale CLIVAR-marine sowie in das internationale CLIVAR Programm eingebettet.

III.2 Wissenschaftlicher und technischer Erfolg des Vorhabens

Der wissenschaftliche Beitrag des Vorhabens ist an der Veröffentlichungsliste zu sehen. Ein weiterer wichtiger Beitrag sind die Daten zum WOCE Atlas. Die Tracerdaten werden in Zukunft eine wichtige Grundlage für das Verständnis der Ventilation und Zirkulation des Ozeans sein und sie werden zur Verbesserung von Ozean- und Klima-Modelle beitragen. Sie sind eine Grundlage für die Fortführung von Zeitreihen in den verschiedensten Gebieten (z.Bsp. subpolarer Nordatlantik, tropischer Atlantik).

III.3 Einhaltung des Finanzierungs- und Zeitplanes

Der Finanzierungs- und Zeitplan wurde der Bewilligung entsprechend (mit einer kostenneutralen Verlängerung) eingehalten.

III.4 Verwertbarkeit, Erfindungen

Die Ergebnisse gehören zur Grundlagenforschung und sind wirtschaftlich nicht verwertbar. Patentanmeldungen etc sind daher nicht zu erwarten. Allerdings kann sich das bessere Verständnis der klimarelevanten Zirkulation des Ozeans durch bessere Vorhersagen langfristig auch wirtschaftlich auszahlen.

III.5 Mittelverbrauch

Die Mittel wurden generell laut Plan verbraucht. Eine Umstellung von Mitteln für studentische Hilfskräfte für Personalmittel für Wissenschaftler wurde durch meinen Ruf an die Universität Bremen notwendig (Bezahlung des Wissenschaftlers nach BAT IIa - West anstatt BAT IIa-Ost). Eine weitere Umstellung betraf Reisemittel zum Ocean Sciences Meeting in Honolulu (Feb. 2002) um dort die Ergebnisse des Vorhabens vorzutragen und mit Kollegen aus den USA und Frankreich über weitere Arbeiten zu diskutieren. Ein weiterer Workshop über die zukünftige Verwendung der Freon WOCE Daten fand im März in Seattle statt.

Abbildungen

Abbildung 1

A) Freon-11 Alter auf der Isopykne $\sigma_{1500} = 27.78$. Diese Dichte repräsentiert das Labradorseewasser LSW und entspricht Tiefen zwischen 1600 und 1800m. Um dem Umstand Rechnung zu tragen, dass das Freonalter bei der Bildung von LSW nicht auf 0 gesetzt wird, wurde das Alter im Bildungsgebiet (15 Jahre) abgezogen. Die Altersdifferenz zwischen Bildungsgebiet und dem tiefen westlichen Randstrom vor Brasilien beträgt am Äquator 18-20 Jahre.

B) Freon-11 Alter entlang der Isopykne $\sigma_{4000} = 45.88$, charakteristisch für das Overflow Wasser über die Dänemarkstrasse. Im subpolaren Nordatlantik ist diese Dichte in Bodennähe zu

finden, im subtropisch-tropischen Atlantik schichtet sie sich in ca 4000m Tiefe oberhalb des Antarktischen Bodenwassers ein. Um einen Vergleich mit dem LSW zu erleichtern wurde auch hier das Freonalter in der Labradorsee (18 Jahre) von den Werten abgezogen. Die Altersdifferenz zwischen Labradorsee und dem tiefen Randstrom vor Brasilien beträgt ähnlich wie beim LSW 18-22 Jahre, dh beide Wassermassen breiten sich etwa gleich schnell aus.

Die schwarzen Punkte zeigen die Positionen der Messungen. Die Verteilungen wurden mit einer Interpolation wie in Rhein et al., 2002 beschrieben erstellt. Die Lücken zwischen 40°N und 10°N machen sich vor allem im Ostatlantik bemerkbar (Abb. 1a), dort wurden während der gesamten WOCE Periode keine Freonmessungen durchgeführt. Die Isopykne von Abb. 1b gibt es nur im Westatlantik.



