

Abschlussbericht

Zum Teilvorhaben 03F0378A des Verbundprojekts CLIVAR Marin II:

Vorhersagbarkeit der Schwankungen von Meridionaltransporten im Nordatlantik: Beteiligte Prozesse und deren Relevanz auf entsprechenden Raum- und Zeitskalen (AtTransVar)

Laufzeit: 01.06.02 - 31.07.2005
Berichtszeitraum: 01.08.04 – 31.07.2005

Projektleiter: Dr. Klaus Peter Koltermann

Wiss. Mitarbeiter: Dipl.-Oz. Gunda Wieczorek
Mitarbeit: Dr. Birgit Klein

Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
Bernhard – Nocht – Strasse 78
20359 Hamburg

1. Zielsetzung

Die interannuale Variabilität der beobachteten meridionalen Transporte von Wärme, Frischwasser und Masse (Volumen) zeigt im subpolaren Nordatlantik Veränderungen von 20 – 30%. Sie wurden zum Teil mit Änderungen der Nordatlantischen Oszillation in Verbindung gebracht. Die Beobachtungen liegen jedoch so selten vor, daß statistisch abgesicherte Aussagen über die Beziehungen der beteiligten Prozesse untereinander unmöglich sind. Es ließ sich bislang keine klare Verbindung zwischen den Veränderungen der Antriebsgrößen und denen der Transportkomponenten herstellen. Die im Vorprojekt erzielten Ergebnisse wurden neben neuen Beobachtungen auch anhand der Ergebnisse von entsprechend angetriebenen Modellläufen untersucht. Erste quantitative Vergleiche mit entsprechenden Modellergebnissen haben deutliche Unterschiede zwischen den Modellen und zwischen den Beobachtungen und Teilen der Modellergebnisse ergeben. Diese Unterschiede sollen weiter untersucht werden. Aus den zeitlich wie räumlich im Gegensatz zu den Beobachtungen wohlverteilten Modelldaten lassen sich mit statistischen Methoden besser abgesicherte Aussagen über die den beobachteten Veränderungen zugrunde liegenden Prozesse machen.

2. Arbeiten und Ergebnisse im Projektzeitraum

Als zentrale Aktivität im Rahmen des deutschen Ozean/CLIVAR-Programms wurden unter CLIVAR Marin I die hydrographischen Daten aus WOCE für den gesamten Atlantik in einem Atlas zusammenzutragen, und werden als Atlas elektronisch wie in gedruckter Form veröffentlicht. Damit wird die thermohaline Zirkulation des Atlantischen Ozeans, der für das europäische Klima eine fundamentale Rolle spielt, für den WOCE-Zeitraum beschrieben und kann analysiert und interpretiert werden. Der Atlas ist methodisch und darstellungstechnisch in enger Abstimmung mit denjenigen Gruppen bearbeitet worden, die sich dem Pazifik, dem Indischen und dem Südlichen Ozean widmen. Damit liegt gleichzeitig ein globaler, gleichförmig bearbeiteter WOCE-Datensatz vor. Er wurde so gestaltet, daß andere Parameter, wie etwa

ausgewählter Spurenstoffe, die während der Reisen des WOCE Hydrographic Programme gemessen wurden, ebenfalls konsistent und schlüssig dargestellt werden. Der WOCE-Atlas für den Atlantik wird ergänzt durch die methodisch gleichwertige Zusammenführung aller pre-WOCE und noch früherer Daten für den quantitativen Vergleich der Felder und daraus abgeleiteter Größen für verschiedene Zeitscheiben und die Beschreibung der langfristigen und großräumigen Veränderungen. Dieser Profildatensatz ist global angelegt, da er als Grundlage für die neue WOCE Global Hydrographic Climatology WGHC (Gouretski u. Koltermann, 2004) dient. Als Bezugszeitraum der Klimatologie wurde die WOCE-Feldphase gewählt. Der Atlas-Datensatz und die globale Klimatologie WGHC werden bereits für getrennte Untersuchungen anderer Gruppen, etwa zur Initialisierung von numerischen Modellen und zur Assimilation dieser Daten in Modelle verwendet. Sowohl der WOCE-Atlas des Atlantiks wie diese neue Klimatologie liefern einen wesentlichen Beitrag zur Beschreibung und dem besseren Verständnis dekadischer Schwankungen im Ozean sowie zur Verbesserung der ozeanischen Zirkulationsmodelle.

Im Rahmen dieses Teilprojekts wurden bisher zwei unterschiedliche, sich ergänzende Produkte erstellt und abgeschlossen:

- 1- Ein gedruckter WOCE Atlas der Hydrographie des Atlantischen Ozeans, dessen Aufbau und Darstellung in enger Kooperation mit anderen ausländischen Arbeitsgruppen (WOCE Atlas-Gruppe), die ähnliche Atlanten für den Pazifischen, Indischen und Südlichen Ozean bearbeiten. Dieser gedruckte WOCE Atlantik-Atlas wird alle WOCE-Schnitte enthalten und Parameterverteilungen auf ausgewählten isobarischen und isopyknischen Flächen. Zur Ergänzung werden für die Kartendarstellungen validierte pre-WOCE-Daten herangezogen. Der Atlantik - Atlas erscheint in der gleichförmig gestalteten WOCE Atlas Serie Ende 2006 (Koltermann et al, 2005). Er wird ergänzt durch eine DVD mit zusätzlichen Darstellungen.

Eine elektronische Version dieses Atlas wird in Zusammenarbeit mit den anderen für die anderen Ozeane verantwortlichen Arbeitsgruppen hergestellt.

- 2- Ein gegitterter globaler hydrographischer Datensatz, der die klimatologischen dreidimensionalen Parameterverteilungen auf einem regelmäßigen $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ Gitter darstellt. Dieser Datensatz wird ergänzt durch den zugrunde liegenden globalen, qualitätsgeprüften und validierten hydrographischen Profildatensatz aller WOCE- und ausgewählter historischer Daten (Gouretski u. Koltermann, 2004). Eine erste Bearbeitung der globalen Felder erfolgte für einen Beitrag zum Landolt-Börnstein (Koltermann et al., 2005).

Zur Bestimmung der meridionalen Transporte von Wärme, Süßwasser und Masse und ihrer Schwankungen wurde seit 1993 vom BSH bislang siebenmal der transatlantische Schnitt entlang ca. 48°N (WOCE A2) nach WHP-Kriterien bearbeitet. Zusätzlich wurde dieser Schnitt mehrfach von anderen Gruppen bearbeitet, so daß seit 1993 elf Wiederholungen vorliegen. So ist der im CLIVAR Implementation Plan unter 5.4.4 (i) als Beitrag zu der PRA D3 genannte Schnitt zum meistbearbeiteten transozeanischen hydrographischen Schnitt geworden. Seine Daten werden zusammengeführt und stehen dann zur weiteren Bearbeitung allgemein zur Verfügung.

Ihre Auswertung zeigt eine große Variabilität der hydrographischen Parameter, die besonders groß in den vom Labradorseewasser LSW dominierten Zwischenwassermassen auftritt. Für den langfristigen Teil seit dem IGY 1957 haben Koltermann et. al. (1999) die Veränderungen zusammen mit denen auf $24,5^\circ\text{N}$ und 36°N mit einem Wechsel zwischen einer ein- und einer zweizelligen Meridionalzirkulation erklärt. Die Schwankungen der Transporte und

der Overturningrate auf dem WOCE-Schnitt A2 hat Lorbacher (2000) bestimmt und gezeigt, daß der barokline Transport zu 80% zu diesen Schwankungen beiträgt, daß sie jedoch auch zu ca. 70% mit einer Verzögerung von 1-2 Jahren den Veränderungen des NAO-Index zu folgen scheinen. Diese Beziehung ist jedoch nicht abgesichert; besonders die Aufnahme aus dem Mai 2000 läßt vermuten, daß andere Prozesse eine wichtige Rolle spielen können. Die Berechnung der absoluten Transporte nur aus Beobachtungen leidet jedoch an methodischen Mängeln, da keine oder ungenügende Geschwindigkeitsmessungen vorhanden sind. Versuche, über Daten aus dem nordamerikanischen Randstromsystem oder mit Altimeterdaten diesen Mangel zu beheben, waren nicht erfolgreich.

Bisher abgeschätzte integrale Kenngrößen der großskaligen ozeanischen Zirkulation, wie die advektiven Transporte von Masse (Volumen), Wärme und Süßwasser, weisen für den Zonalschnitt „48°N“ im Nordatlantik (WOCE/A2) eine deutliche niederfrequente, damit klimarelevante Variabilität auf. Die beobachtete zeitliche Variabilität der meridionalen Overturningrate (Volumentransport des oberen Astes der Meridionalen Overturning Zirkulation (MOC) im Nordatlantik) beträgt $16 \text{ Sv} \pm 20\%$, des Wärme- $0.52 \text{ PW} \pm 30\%$ und des südwardigen Süßwassertransports $0.98 \text{ Sv} \pm 20\%$.

Die Variabilität der seit 1993 annähernd jährlich vorliegenden Transporte scheint die extremen Fluktuationen des Windschubs (über dem Nordatlantik die Nordatlantische Oszillation – quantifiziert durch den NAO-Index) seit 1993 mit einer zeitlichen Verzögerung von einem Jahr wiederzuspiegeln. Am deutlichsten ist dabei die Änderung zwischen 1996 und 1997 als (mögliche) Reaktion auf die größte jährliche Änderung des NAO-Index im 20. Jahrhundert zwischen den Wintern der Jahre 1995 und 1996. Für den Phasenunterschied von einem Jahr erklären die Änderungen des NAO-Index 70% der Änderungen des Wärme- und 65% des Süßwassertransports sowie 60% der Änderungen der Overturningrate (Untersuchungszeitraum 1993 bis 1998). Nach dieser annähernd linearen Korrelation zwischen Änderungen des NAO-Index und den Änderungen der Transporttypen bzw. nach dem positiven NAO-Index für 1999 wäre für die letzte Realisierung des WOCE/A2-Schnittes im Mai 2000 beispielsweise ein Wärmetransport von ca. 0.6 PW zu erwarten; es wird jedoch ein Minimum von 0.43 PW beobachtet.

Für den hydrographischen Schnitt WOCE/A2 stehen - bisher - keine absoluten Strömungsmessungen zur Verfügung. Daher wurde eine Zerlegung des absoluten meridionalen Massentransports vorgenommen, welche die drei Antriebsterme einer großskaligen Strömung über das vollständige Flächenintegral des Massentransports berücksichtigt (Lorbacher, 2000, Lorbacher & Koltermann, 2006). Theoretisch setzt sich die absolute Geschwindigkeit der großskaligen Ozeanzirkulation - unter Berücksichtigung des Impulseintrags des Windfeldes als Antriebsterm - aus drei Komponenten zusammen:

- 1) der ageostrophischen Ekman-Komponente und der geostrophischen wie ageostrophischen Komponenten,
- 2) die tiefenunabhängige, barotrope oder Sverdrup-Komponente und
- 3) die barokline Komponente, die die vertikale Geschwindigkeitsscherung aufgrund horizontaler Dichtegradienten widerspiegelt und die direkt aus hydrographischen Daten abgeleitet werden kann.

Um eine bessere Massenbilanz über den Schnitt zu gewährleisten sowie das Transportprofil als Funktion der Tiefe aufzulösen wird jeder der drei Komponenten eine kompensierende gegenübergestellt:

- 1) der Ekman-Transport wird durch einen Transport kompensiert, der gleichförmig über

- den Rest des Schnittes verteilt ist (also durch einen barotropen Transport),
- 2) der tiefenunabhängige Transport im westlichen Randstrombereich, entlang WOCE/A2 des Nordatlantikstroms, entspricht dem, aus der Sverdrup-Balance abgeleiteten, tiefenunabhängigen Transport des östlichen und zentralen Nordatlantiks mit umgekehrtem Vorzeichen,
- 3) die Balance der baroklinen Komponente wird durch eine geeignete Wahl eines Referenzniveaus erreicht.

Das totale Integral ist sich als Summe der einzelnen Komponenten vorzustellen in Abhängigkeit von der Region und der Tiefe bzw. von der Fläche des Schnitts; an jedem Punkt des Integrals sind somit die drei Abtriebsterme „linear gekoppelt“.

Im Gegensatz zum ozeanischen Geschwindigkeitsfeld ist das Temperaturfeld relativ unabhängig von zeitlichen Änderungen auf kleineren räumlichen Skalen und die barokline Komponente des meridionalen Wärmetransports lässt sich (in Anlehnung an die Methode von Hall und Bryden, (1982) weiterhin zerlegen in (a) ein zonales Mittel und (b) die Abweichung vom zonalen Mittel.

Das zonale Mittel beschreibt den meridionalen Massentransport in jeder Tiefe, der die zonal integrierte Temperatur relativ zu einem Referenzwert (üblich 0°C) advektiert. Die Abweichung vom zonalen Mittel beschreibt die Korrelation von potentieller Temperatur und barokliner Geschwindigkeit in der horizontalen Ebene ohne einen Netto-Massentransport - das (mesoskalige) Wirbelfeld des Wärmetransports.

Entlang des WOCE-Schnitts A2 beträgt der barokline Transport ca. 80-90% des absoluten Wärmetransports. Der Beitrag des Sverdrup-Transports zum absoluten Wärmetransport ist mit <5% nahezu vernachlässigbar. Bemerkenswert ist, dass der Beitrag der Eddy-Komponente generell die gleiche Größenordnung aufweist wie die Ekman-Komponente des Wärmetransports (ca. 10-20%); teilweise liefert sie sogar einen größeren Betrag als die Ekman-Komponente. Generell kann der absolute meridionale Wärmetransport danach auf Grund von mesoskaliger Variabilität um maximal ± 0.13 PW variieren.

Die größten methodischen Unsicherheiten gehen auf die saisonale Variabilität der Ekman-Komponente zurück und auf Betragsänderungen der Sverdrup-Komponente, wenn diese nicht aus Winddaten abgeleitet wird. Hingegen impliziert die zeitliche Abdeckung der hier betrachteten hydrographischen Aufnahmen eine geringe Transportunsicherheit aufgrund des saisonalen baroklinen Signals. Unter Berücksichtigung einer mittleren saisonalen windbedingten Variabilität schwankt die Overturningrate um $\pm 8\%$, der Transport von Wärme um $\pm 14\%$ und derjenige von Süßwasser nur um $\pm 1\%$.

Eine einmalige direkte Messung des tiefenunabhängigen Transports, des Sverdrup-Transports (von verankerten Strömungsmessern im westlichen Randstrombereich von R. A. Clarke) liefert den 5fachen des maximal aus Winddaten abgeleiteten Betrags (Meinen, 2001). Die Analyse eines später ausgelegten Arrays von Schott im Rahmen des Kieler SFB460 wurde veröffentlicht (Schott et al., 2004, Fischer et al., 2004))

Die meridionale Overturningrate reduziert sich aufgrund des gemessenen Sverdrup-Transports von 51 Sv (der auch annähernd dem aus der topographischen Sverdrup-Balance abgeleiteten Betrag von 48 Sv entspricht) um $\sim 20\%$, der Wärmetransport um $\sim 23\%$; der Süßwassertransport erhöht sich dagegen um $\sim 12\%$. Diesen Werten stehen die niederfrequenten Änderungen des baroklinen Transports gegenüber. Die meridionale Overturningrate und der Süßwassertransport schwankt um 20%, der Wärmetransport um 30%.

Betragsänderungen der Ekman- und Sverdrup-Komponente erreichen demnach maximal die Hälfte der beobachteten zeitlichen Variabilität der Transportgrößen.

Generell scheint daher die Annahme gerechtfertigt, dass die hauptsächliche Ursache der Transportänderungen im baroklinen Anteil der Transporte steckt: demnach in Änderungen der vertikalen Geschwindigkeitsscherung bzw. in Änderungen der mechanischen Energie.

Variationen der z-Komponenten der Rotation des Windschubs (curl) sind eine mögliche Ursache niederfrequenter Variationen im ozeanischen Strömungsfeld. Der Nulldurchgang des curls ändert seine Position in „Einklang“ mit der NAO, lange barokline Rossby-Wellen generierend. Diese bilden eine „Senke“ potentieller Energie der großskaligen Ozeanzirkulation; die Superposition dieser Wellen führt zu einer intensiven mesoskaligen Variabilität. Entlang A2 manifestiert sich diese Variabilität in einem Mäandrieren des Nordatlantikstroms im zentralen Neufundlandbecken.

Als „Maß“ für die mesoskalige Variabilität lässt sich die Eddy-Komponente des Wärmetransports betrachten, die Korrelation der baroklinen Geschwindigkeit und der potentiellen Temperatur in der horizontalen Ebene. „Normal“ scheint ein anomal südwärtiger Transport bei ca. 40°W und ein nordwärtiger Transport bei ca. 30°W zu sein, also eine zyklonale Zirkulation, die zusammen mit einem positiven zonalen Temperaturgradienten in einer positiven Eddy-Komponente resultiert und den meridionalen Netto-Transport verstärkt. Im Jahr 1997 ist dann im zentralen Neufundlandbecken eine antizyklonale Zirkulation zu beobachten. Mit einem positiven zonalen Temperaturgradienten ergibt sich eine negative Eddy-Komponente, wodurch der meridionale Netto-Transport reduziert wird. Entscheidend ist dabei aber die Änderung des Transportbetrags, also der vertikalen Geschwindigkeitsscherung.

Die Analyse und eine mögliche Synthese der für die Schwankungen verantwortlichen Prozesse scheitert an der schlechten Beprobung. Diese lässt sich nur unwesentlich verbessern. Eine wesentlich bessere, d.h. raumzeitliche Abdeckung liefern die Ergebnisse von entsprechend konfigurierten Modellen und problemgerecht angetriebenen Läufen. Daher wurden bereits versuchsweise die Ergebnisse von drei Modellfamilien untersucht, um das Beprobungsproblem zu lösen.

Erste Untersuchungen zu den Ursachen der beobachteten Schwankungen lassen erwarten, daß barokline Rossbywellen eine wichtige Rolle spielen können. Daher wurden die Zeitserien der seit 1993 westlich des Mittelatlantischen Rückens unterhaltenen Verankerungen (T, S, u, v) dementsprechend untersucht werden. Zusätzlich wurden Altimeterdaten und die seit 1995 vorliegenden Floattrajektorien verwendet.

Bei diesen Untersuchungen stellte sich heraus, dass eine geschlossene grossräumige antizyklonale Zirkulation um den Mittelatlantischen Rücken MAR nördlich und um die Azoren existiert. Zu deren Analyse wurden die Floatdaten seit 1995 herangezogen. Das gesamte Lagrange'sche Feld in 1500 m Tiefe ist in Abb. (1) dargestellt, als Vektorfeld in Abb.(2). Die mittleren Felder des Salzgehalts in 1500 m Tiefe (Abb.3) und der potentiellen Temperatur (Abb. 4) zeigen deutlich den Übergangsbereich zwischen dem nordwärts gelegenen Subpolar- und dem südwestlich angeschnittenen Subtropenwirbel. Das mittlere Feld der nordwärts gerichteten V-Komponente (Abb. 5) zeigt eine überwiegende Meridionalstruktur, bestimmt durch die Topographie des MAR zwischen 25° und 30°W . Die zonale U-Komponente zeigt um und nördlich der Azoren bei ca. 44°N Maxima in den Geschwindigkeiten. Abb. (7) bis Abb. (10) beschreiben die zeitliche Entwicklung von Temperatur und Salzgehalt sowie deren

Abweichungen zur Klimatologie in einer $2^\circ \times 2^\circ$ Box um die Verankerungsposition abgeleitet aus den Profilen der floats..

Die gleiche Darstellung wurden für die südwärts gerichtete Strömung entlang des Osthangs des MAR für das float 150 (Abb 11) gewählt. Diese ist überlagert von halbjährigen ost-west gerichteten Schwankungen, die sich im Übergangsgebiet zwischen Subpolar- und Subtropenwirbel aus deren jahreszeitlichen Veränderungen ergeben. Als Beispiel des Übergangs vom Neufundlandbecken über den MAR in das Nordeuropäische Becken ist die Trajektorie des floats 153 (Abb.12) .

Zwischen den Auslegepositionen auf „ 48°N “ und dem Gebiet südlich der Azoren, in dem ihre Lebensdauer zuende geht, laufen die floats entlang der Ostflanke des MAR ca. 4 - 5 Jahre. Auf der Westseite zeigen die dortigen Rezirkulationszellen in 1500 m Tiefe eine nordwärtsgerichtete Komponente entlang des Westhang des AMR von 3 – 4 Jahren. Diese „geschlossene“ Zirkulation trägt netto nichts zum meridionalen Wärmetransport bei, wenn nicht zwischen der West- und der Ostseite des MAR Temperaturdifferenzen auftreten. Diese sind jedoch deutlich zu beobachten (Abb. 13 und 15). Damit umlaufende kalte und frische Beiträge aus dem Labradorseewasser LSW brauchen zwischen 5 und 8 Jahren, um mit wechselnden Vorzeichen als positive oder negative Beiträge zum meridionalen Wärmetransport auf „ 48° “ wirken zu können. Erste Abschätzungen zeigen einen Beitrag von ca. 5% zu den beobachteten Schwankungen des meridionalen Wärmetransports von ca. 30% durch diesen Prozess.

Die weitere Bearbeitung hat gezeigt, dass durch die Umströmung des MAR und seine geschlossenen Zirkulation ein signifikanter Beitrag zur Variabilität der beobachteten und in den Modellen zu erkennenden Wärmetransporte geliefert wird.

Die zeitlichen Veränderungen und Verbreitungswege des DSOW and der Restbestände des AABW wurden im westlichen Teil des A2-Schnittes von Kieke et al., (2006) für den Zeitraum von 1993 bis 2005 untersucht. Dabei konnte eine südwärts gerichtete Komponente des DSOW westlich des Mittelatlantischen Rückens MAR bestätigt werden, die unabhängig von der vorherrschenden Ausbreitung des DSOW im tiefen Westlichen Randstrom DWBC existiert.

Das Projekt setzte bereits abgeschlossene Arbeiten und seit 1995 geförderte Arbeiten unter Berücksichtigung von deren Ergebnisse fort und in Bezug auf die mit dem Verbundvorhaben entstandenen Fragestellungen und Zusammenarbeiten. Daher waren aus umfangreichen Vorarbeiten die entsprechenden Datensätze, Methoden und Analyse- sowie Darstellungsverfahren vorhanden und in ständigem Gebrauch. Sie wurden jetzt aktualisiert und für die Zusammenarbeit innerhalb des Verbundprojekts gepflegt und bereitgestellt.

Das Arbeitsprogramm umfaßte drei Schwerpunkte, (a) die Analyse der Transportschwankungen und ihrer Komponenten auf interannualen Skalen aus Modelldaten, (b) die Untersuchung von für die 90er Jahre vorhandenen zusätzlichen Information, wie Verankerungsdaten und TS-Profile und Geschwindigkeitsfeldern von Tiefentreibkörpern auf relevante Prozesse und den Vergleich dieser Ergebnisse mit den aus Beobachtungen abgeleiteten Schwankungen und die (c) Synthese der auf interannualen bis dekadischen Zeitskalen relevanten Prozesse mit dem Versuch, im Nachhinein deren Vorhersagbarkeit darzustellen.

Arbeiten in der laufenden Phase

Nach Arbeitsplan wurden die folgenden Arbeiten erfolgreich abgeschlossen :

WOCE Hydrographic Atlantic Atlas

Die statistischen und technischen Arbeiten sowie die Produktion der Einzeldarstellungen des Atlantik-Atlas sind abgeschlossen. Die herausgeberische Arbeit an den Druckvorlagen und die Abstimmung der Textbeiträge sind weitgehend abgeschlossen. Der Druck wird über das CLIVAR IPO organisiert, die Auslieferung ist für Herbst 2006 geplant.

Der Atlas wird in der vierteiligen Serie der WOCE Hydrographic Atlas Series (Abb.1). Der erste Band der Serie wird seit Sommer 2005 ausgeliefert.

(A) Eine neue Globale Hydrographische Klimatologie WGHC

Die Arbeiten zur Herstellung einer neuen Klimatologie des Weltozeans WGHC wurden beendet. Die bislang in der globalen Klimatologie nicht vorhandenen Seegebiete, wie etwa Ostsee, Europäisches Mittelmeer, Kaspisches Meer, Hudson Bay, Arktischer Ozean, Patagonien-Schelf und Ochotskisches Meer wurden eingearbeitet. Der Profildatensatz enthält jetzt ca. 1.000.000 Profile. Die Klimatologie zeigt deutliche Verbesserungen gegenüber dem WOD98 und WOA01 von Levitus. So wurde die durchmischte Schicht anders behandelt, um Instabilitäten zu erkennen; sie wurde optimal interpoliert auf isopyknischen Flächen, wodurch die statische Stabilität gesichert ist. Die Klimatologie mit einer Gitterauflösung von $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ wird sowohl als Beilage zum Atlas wie separat auf CD-ROMs veröffentlicht. Ein Veröffentlichung der methodischen Probleme ist in Vorbereitung (Gouretski u. Koltermann, 2004). Siehe auch <http://www.bsh.de/de/Produkte/Buecher/Berichte/Bericht35/index.jsp>.

Es wurden nach Arbeitsplan beendet:

Für den Projektwissenschaftler (Frau Gunda Wieczorek) war mit folgenden Arbeiten betraut:

- B1- Bearbeitung der Felddaten aus 2002 für Transportabschätzungen
- B2- Bearbeitung der float-Daten im Hinblick auf die transportrelevante Zirkulation um den MAR und die Azoren
- B3- Beiträge zu Veröffentlichungen des Projekts.

Diese Arbeiten wurden soweit wie möglich innerhalb der Arbeitsgruppe zum Abschlussgebracht.

Zusammenarbeit mit anderen Arbeitsgruppen

Die Arbeiten in diesem und dem Vorgängerteilprojekt geschahen in enger Zusammenarbeit mit verschiedenen wissenschaftlichen Arbeitsgruppen und einzelnen Wissenschaftlern. Dies sind

- Für die WOCE Atlas Serie Lynne Talley, SIO für den Pazifischen und Alex Orsi, TAMU für den Südlichen Ozean. Der Atlas für den Indischen Ozean wird ebenfalls von Lynne Talley, SIO betreut. Damit wird die gesamte Serie im Laufe des Jahres 2005 nach gleichen Kriterien und mit ähnlicher Aufmachung veröffentlicht. Dr.

Gouretski hat während seiner Zeit in dieser Arbeitsgruppe wesentlich zur Definition der Standards für die Karten beigetragen.

- Die CSIRO Gruppe um Trevor McDougall und David Jackett verwendet die neue Weltozeanklimatologie für die erneute Berechnung der neutralen Dichteveriablen γ_n . Dies ist abgeschlossen, die entsprechenden Veröffentlichungen sind eingereicht.
- Detlef Stammer, Uni Hamburg verwendet beide o.g. Datensätze für Datenassimilationsstudien mit dem ECCO-Konsortium und stellte Ergebnisse verschiedener Läufe für die Arbeiten des Teilvorhabens zur Verfügung. (s. Lorbacher et al., 2004, Lu et al., 2002)
- Bernard Barnier, Grenoble verwendet die WGHC-Klimatologie und stellt Ergebnisse der 1/12°-Modellläufe zur Verfügung.
- Die WGHC Klimatologie ersetzt inzwischen bei verschiedenen Modellgruppen, auch im Zusammenhang mit den neuen IPCC-Läufen die bisherige Levitus – Klimatologie.

3. Stand des Projektes

Verzögerungen in der Arbeitsplanung traten durch die rückwirkende Bewilligung zum 01.06.02 am 29.07.02 ein. Als Zuweisungsempfänger traten beim BSH verwaltungstechnische Schwierigkeiten auf, da Finanzmittel nicht rückwirkend abgefordert oder übertragen werden können. Diese Schwierigkeiten führten zur verspäteten Einstellung von Dr. Gouretski zum 01.09.02. Damit verschoben sich die geplanten Arbeiten zum Teil weiter in 2004 hinein. Dr. Gouretski schied zum 01.09.2003 aus vertragsrechtlichen Gründen aus und wechselte in die Arbeitsgruppe von Prof. Meincke. Die ebenfalls bewilligten Projektstelle BAT IIa/2 wurde wegen zusätzlicher Schwierigkeiten erst zum 01.06.2004 mit Frau Dipl.-Oz. Gunda Wieczorek besetzt. Diese Stelle wurde vom 01.08.04 bis zum 31.10.04 im Hinblick auf den Projekterfolg und die eingetretenen Verzögerungen auf eine volle BAT IIa erweitert und kostenneutral über den 31.07.2005 hinaus verlängert.

Zur wissenschaftlichen Bearbeitung der o.g. Aufgabenstellung wurde am 01.09.2002 Dr. Viktor Gouretski (BAT IIa) für 12 Monate eingestellt. Sein nahtloser Wechsel in die Arbeitsgruppe Prof. Meincke verzögerte sich wegen arbeitsrechtlicher Probleme um 6 Monate, in denen er nicht zur Verfügung stand.. Die Arbeitsgruppe Dr. Koltermann wurde durch die fehlende Wiederbesetzung unbefristeter Stellen deutlich reduziert.

Abweichungen vom Arbeits- und Finanzierungsplan traten entsprechend obiger Bemerkung auf, Arbeits- und Finanzierungsplan wurden im Einvernehmen mit dem Projektträger angepaßt.

Die Aussichten für die Erreichung der Ziele dieses Vorhabens innerhalb des angegebenen Berichtszeitraums gegenüber dem geltenden Antrag wurden entsprechend angepaßt.

Hinweise auf Ergebnisse, die inzwischen von dritter Stelle bekannt wurden und die für die Durchführung des Vorhabens von Bedeutung sind, lagen nicht vor.

Erfindungen wurden nicht in Anspruch genommen und keine Schutzrechte angemeldet oder erteilt.

Veröffentlichungen im Zusammenhang mit dem TP

Lorbacher, K., A. Köhl, D. Stammer (2006) : Estimates of North Atlantic low-frequency changes in volume and heat transports (in prep.)

Lu, Y., K. Ueyoshi, A. Kohl, E. Remy, K. Lorbacher and D. Stammer (2002): Input Data Sets for the ECCO Global 1 Degree WOCE Synthesis. Report No.18, August 2002.

Lorbacher, K., D. Dommenges, P.P. Niiler, and A. Kohl (2005), Ocean mixed layer depth: A subsurface proxy of ocean-atmosphere variability, Report No.38, May 2005

T. J. McDougall, D. R. Jackett (2005) : Ocean hydrography is strangely sparse in $S - \theta - p$ space, (subm. to Nature).

Trevor J. McDougall and David R. Jackett (2005): The material derivative of neutral density, *JMR*, 63, 159–185, 2005

Trevor J. McDougall, David R. Jackett, Daniel G. Wright, and Rainer Feistel (2003): Accurate and computationally efficient algorithms for potential temperature and density of seawater. In J. Atmos. Ocean. Technol., 2003.

Schott, Friedrich ; Stramma, Lothar ; Zantopp, Rainer ; Dengler, Marcus ; Fischer, Jürgen ; Wibaux, Mathieu (2004): Circulation and Deep Water export at the western exit of the subpolar North Atlantic. In: J. Phys. Oceanogr. 34 (2004), S. 817-843

Fischer, Jürgen ; Schott, Friedrich ; Dengler, Marcus (2004): Boundary circulation at the exit of the Labrador Sea . In: J. Phys. Oceanogr. (2004), S. 34, 1548-1570

Eigene Veröffentlichungen

Dobroliubov, S., K.P. Koltermann, A. Sokov, V. Tereschenkov (2005): North Atlantic Water Mass Structure, Meridional Overturning and Modes of the Circulation, subm. to DSR

Gouretski, V.V., K.P. Koltermann (2004): WOCE Global Hydrographic Climatology, A Technical Report, Berichte des BSH, Nr. 35, 50 S., 2 CD-ROMs

Koltermann, K.P., A.V. Sokov, V.P. Terechenkov, S.A. Dobroliubov, K. Lorbacher, A. Sy (1999): Decadal changes in the thermohaline circulation of the North Atlantic. Deep-Sea Res. II, 46, 109-138

Koltermann, K.P., V. Gouretski, K. Jancke (2006: Hydrographic Atlas of the World Ocean Circulation Experiment, Vol.: II. Atlantic Ocean, CLIVAR International Project Office, Southampton, UK (in press)

Lumpkin, R., K.G. Speer, K.P. Koltermann (2006) : Transport across 48°N in the North Atlantic Ocean, under review J. Mar. Res.

Lorbacher, K. (2000) : Niederfrequente Variabilität meridionaler Transporte in der Divergenzzone des nordatlantischen Subtropen- und Subpolarwirbels, Dissertation, Universität Hamburg, 155 S.

Lorbacher, K. (2000) : Niederfrequente Variabilität meridionaler Transporte in der Divergenzzone des nordatlantischen Subtropen- und Subpolarwirbels -- Der WOCE-Schnitt A2, Berichte des BSH, Nr.22, p. 165, 2000

Lorbacher, K., K. P. Koltermann (2005): Advective transports across „48°N“ in the North Atlantic and their variability at low-frequencies,(under review JGR)

Stramma, L., D. Kieke, M. Rhein, F. Schott, I. Yashayaev and K.P. Koltermann, 2004: Recent Deep Water changes of the western boundary of the subpolar North Atlantic. Deep –Sea Res. I, 51, 1033-1056.

Bersch, M., I. Yashayaev, K.P. Koltermann (2006) : Recent Changes of the Thermohaline Circulation in the Subpolar North Atlantic, *subm. to DSR*

Hurrell J.W., M. Visbeck, and A. Busalacchi, R. A. Clarke, T. L. Delworth, R. R. Dickson, W.E. Johns, K.P. Koltermann, Y. Kushnir, D. Marshall, C. Mauritzen, M. S. McCartney, A. Piola, C. Reason, G. Reverdin, F. Schott, R. Sutton, I. Wainer, and D. Wright, 2005: Atlantic Climate Variability and Predictability: A CLIVAR perspective. Journal of Climate: submitted.

Koltermann, K.P., V.V: Gouretski, J. Meincke (2005): Global Ocean and Sea Ice, in: Observed Global Climate, Landolt-Börnstein, new series V/6, Climatology, 14-1 bis 14-46, Springer, Berlin ISSN 0942-8003

Bildunterschriften

Abb. 1 Trajektorien aller auf dem Schnitt A2 zwischen 1995 und 2005 ausgelegten Tiefentreibkörper

Abb. 2 Vektormittel aus dem obigen Datensatz

Abb. 3 Mittlerer Salzgehalt in 1500 m Tiefe aus den Floatdaten

Abb. 4 Mittlere potentielle Temperatur in 1500 m Tiefe aus den Floatdaten

Abb. 5 Mittlere V-Komponente des Geschwindigkeitsfelds in 1500 m Tiefe

Abb. 6 Mittlere U-Komponente des Geschwindigkeitsfelds in 1500 m Tiefe

Abb. 7 Mittlere Verteilung der potentiellen Temperatur im Gebiet 44° - 46°N, 22°-34°W von 1998 - 2006

Abb. 8 Anomalie der Temperaturverteilung Temperatur im Gebiet 44° - 46° N, 22° - 34° W von 1998 - 2006

Abb. 9 Mittlere Verteilung des Salzgehalts im Gebiet 44° - 46° N, 22° - 34° W von 1998 - 2006

Abb.10 Mittlere Verteilung des Salzgehalts im Gebiet 44° - 46° N, 22° - 34° W von 1998 - 2006

Abb.11 Trajektorie des floats 150 über den MAR entlang des Azorenssockels

Abb.12 Trajektorie des floats 153 über den MAR

Abb. 13 Mittlere jährliche TS/Profile im Gebiet 44° - 46° N, 22° - 34° W zwischen der Oberfläche und 1500 m Tiefe zwischen 1998 – 2006 sowie der WOCE Klimatologie

Abb. 14 Progressive Vector Diagramm der Verankerung K3 auf 45° 21,6 N und 33° 09,4 W westlich des MAR zwischen 1996 und 2002

Abb. 15a Temperaturzeitserie der Verankerung K3 zwischen 900 – 1990 m für 1996 - 1997

Abb. 15b Temperaturzeitserie der Verankerung K3 zwischen 900 – 1990 m für 1998 - 2000

Abb. 15c Temperaturzeitserie der Verankerung K3 zwischen 900 – 1990 m für 2000 - 2001

Abb. 15d Temperaturzeitserie der Verankerung K3 zwischen 900 – 1990 m für 2001 - 2002

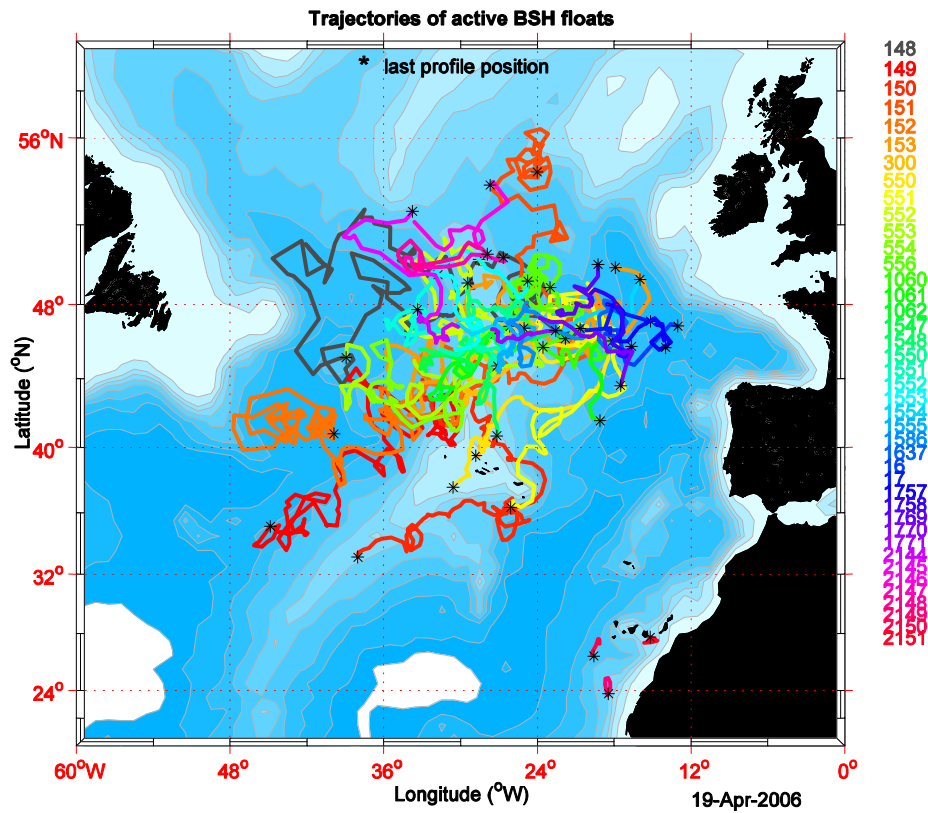


Abb. 1 Trajektorien aller auf dem Schnitt A2 zwischen 1995 und 2005 ausgelegten Tiefentreibkörper

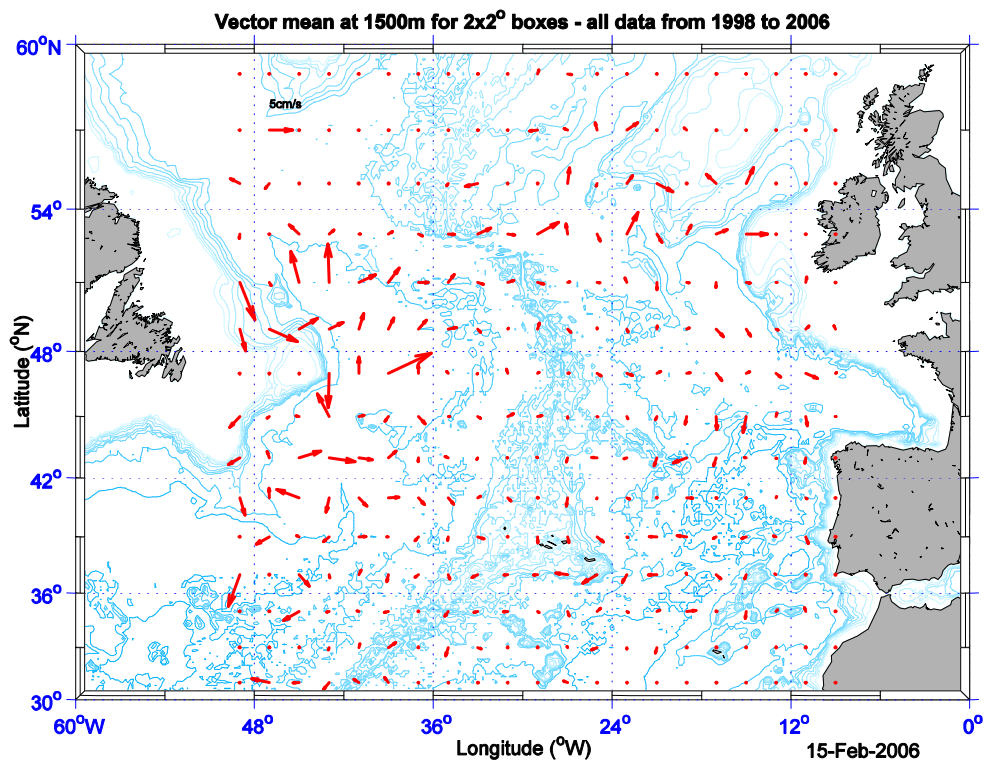


Abb. 2 Vektormittel aus dem obigen Datensatz

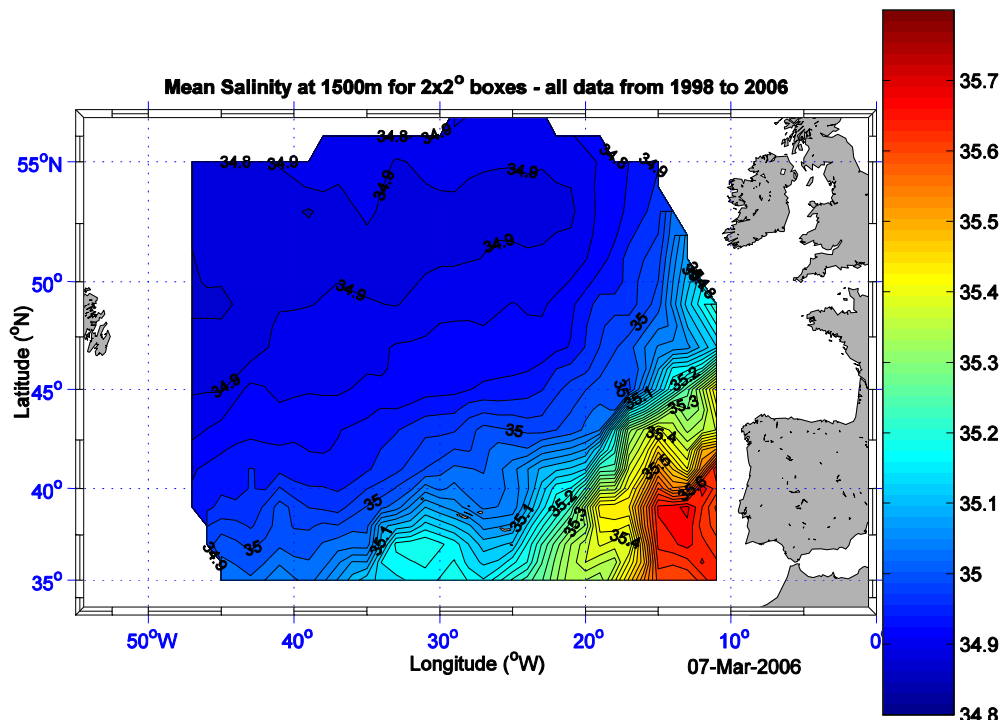


Abb 3 Mittlerer Salzgehalt in 1500 m Tiefe aus den Floatdaten

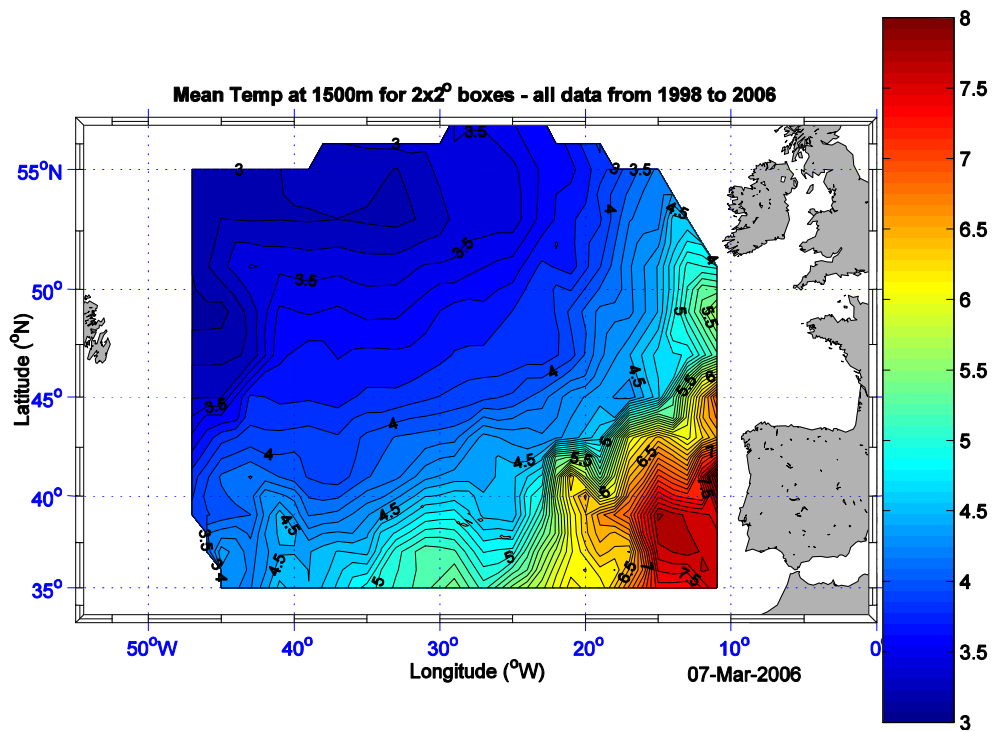


Abb. 4 Mittlere potentielle Temperatur in 1500 m Tiefe aus den Floatdaten

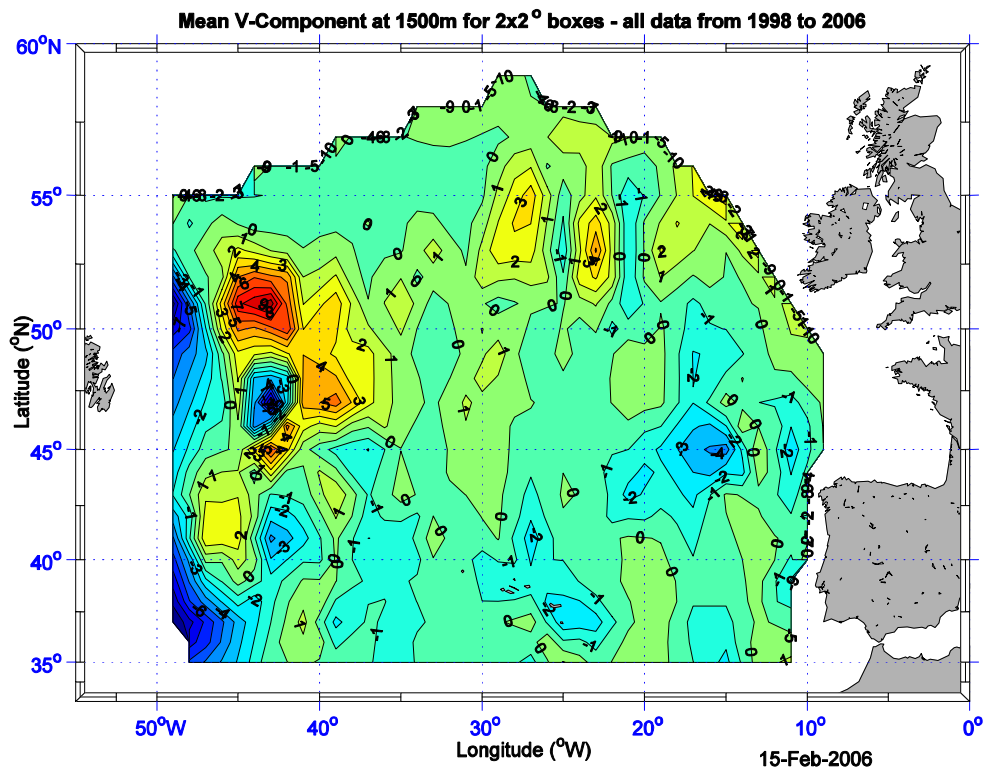


Abb.5 Mittlere V-Komponente des Geschwindigkeitsfelds in 1500 m Tiefe

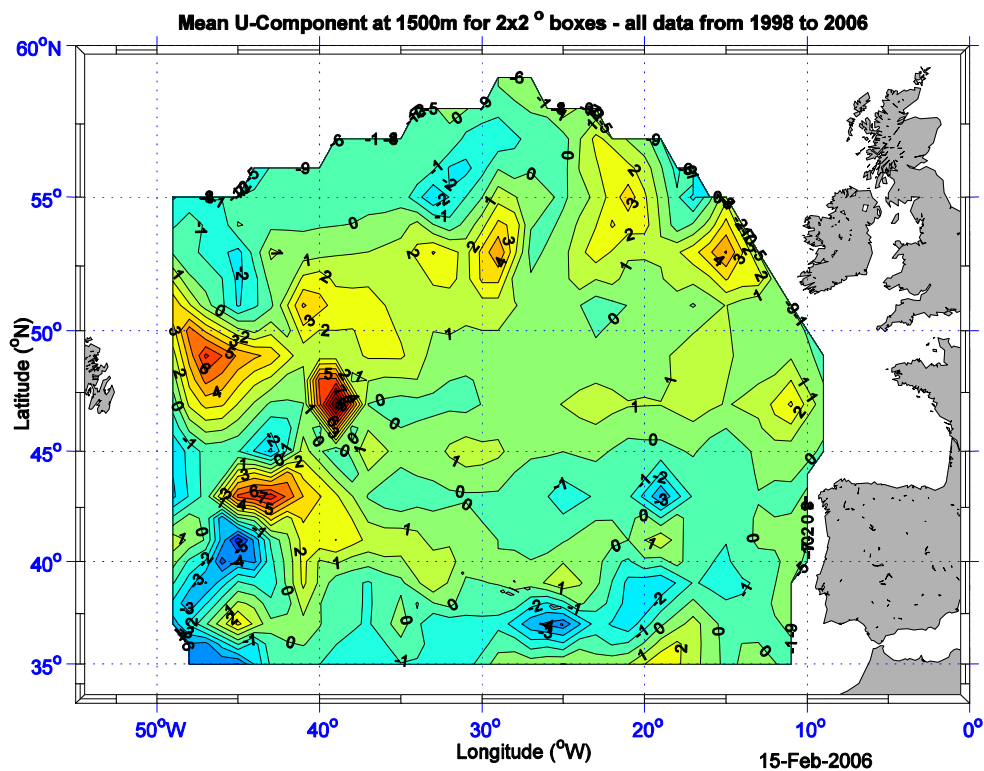


Abb. 6 Mittlere U-Komponente des Geschwindigkeitsfelds in 1500 m Tiefe

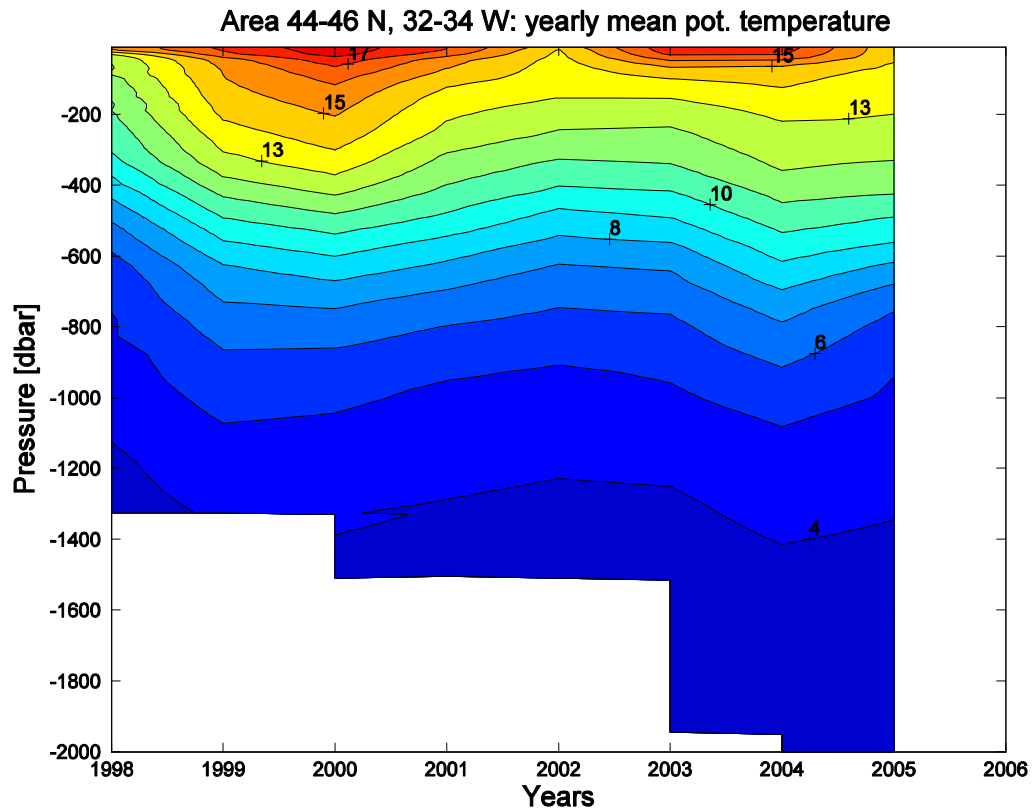


Abb. 7 Mittlere Verteilung der potentiellen Temperatur im Gebiet 44° - 46°N, 22°-34°W von 1998 - 2006

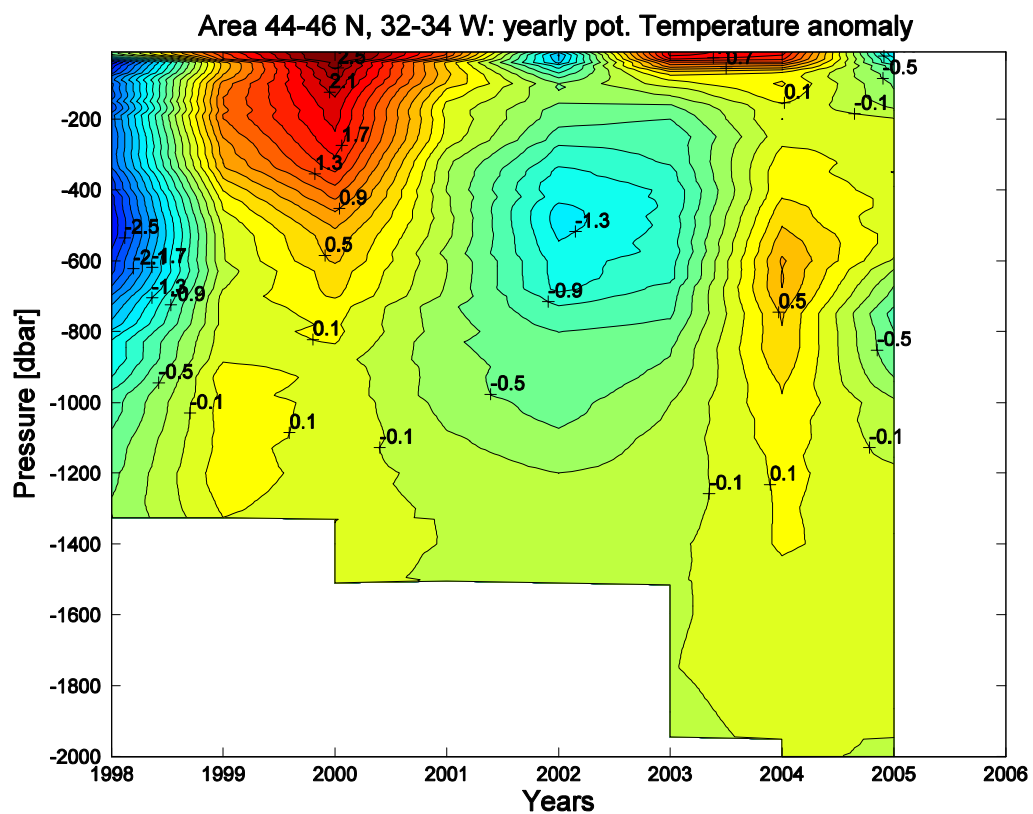


Abb. 8 Anomalie der Temperaturverteilung Temperatur im Gebiet 44° - 46°N, 22°-34°W von 1998 - 2006

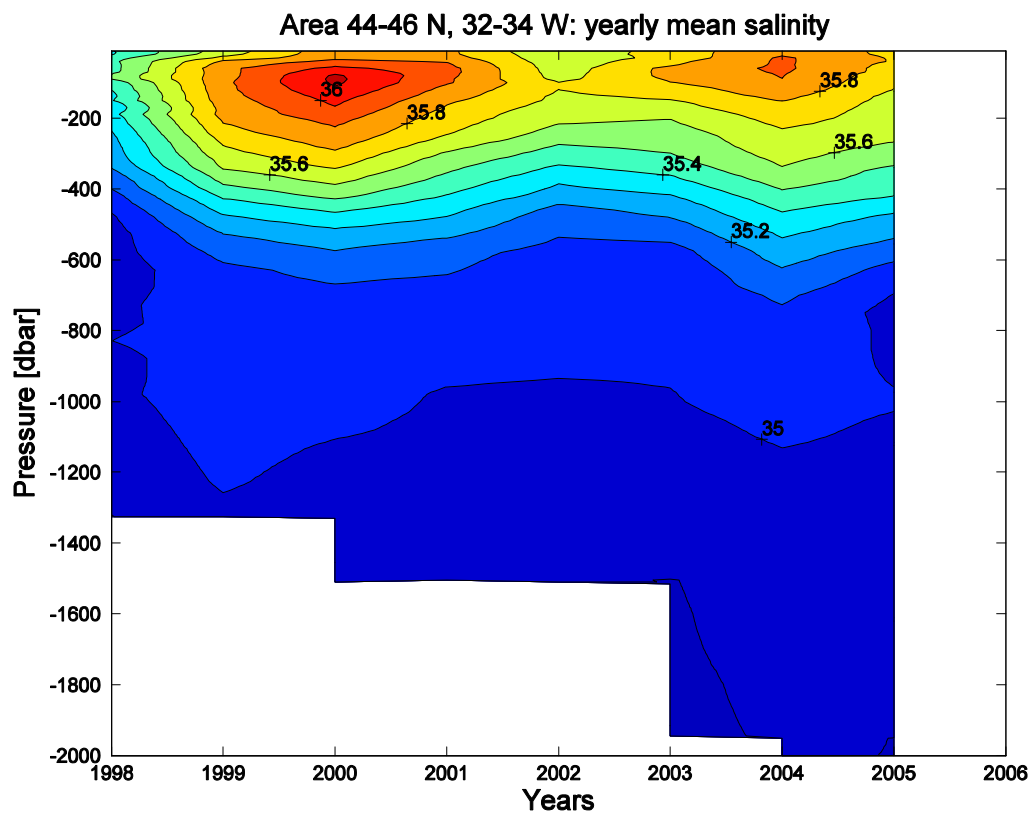


Abb. 9 Mittlere Verteilung des Salzgehalts im Gebiet 44° - 46°N, 22°-34°W von 1998 - 2006

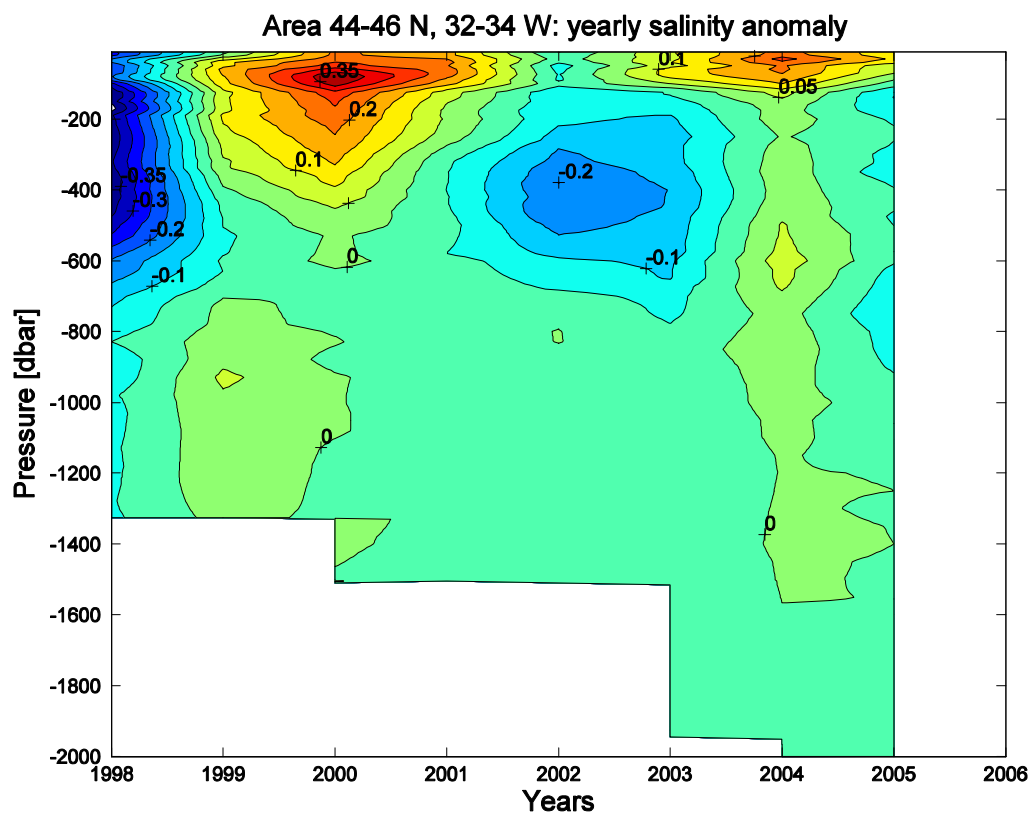


Abb. 10 Mittlere Verteilung des Salzgehalts im Gebiet 44° - 46°N, 22°-34°W von 1998 - 2006

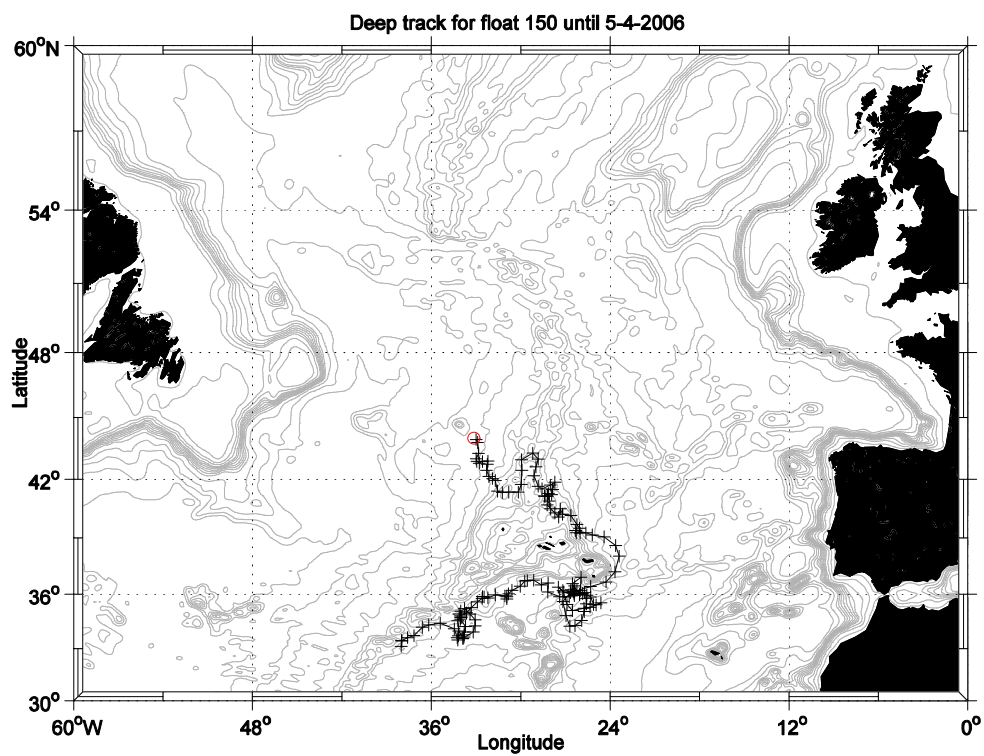


Abb. 11 Trajektorie des floats 150 über den MAR entlang des Azorensockels

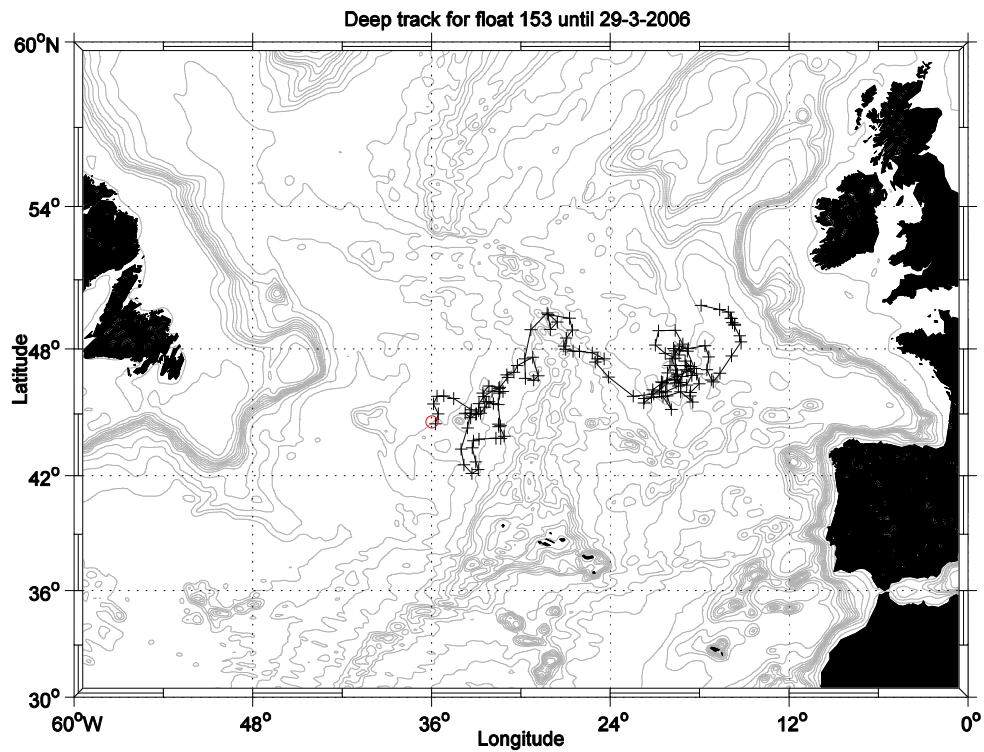


Abb. 12 Trajektorie des floats 153 über den MAR

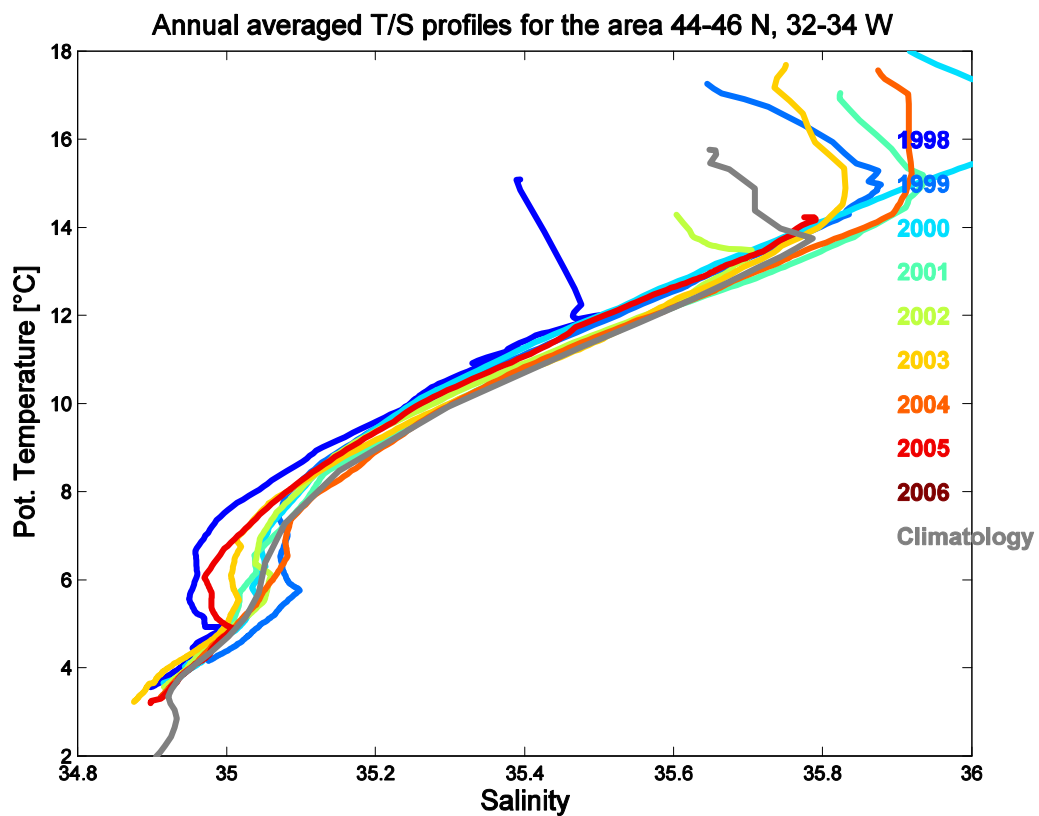


Abb. 13 Mittlere jährliche TS/Profile im Gebiet 44° - 46°N, 22°-34°W zwischen der Oberfläche und 1500 m Tiefe zwischen 1998 – 2006 sowie der WOCE Klimatologie

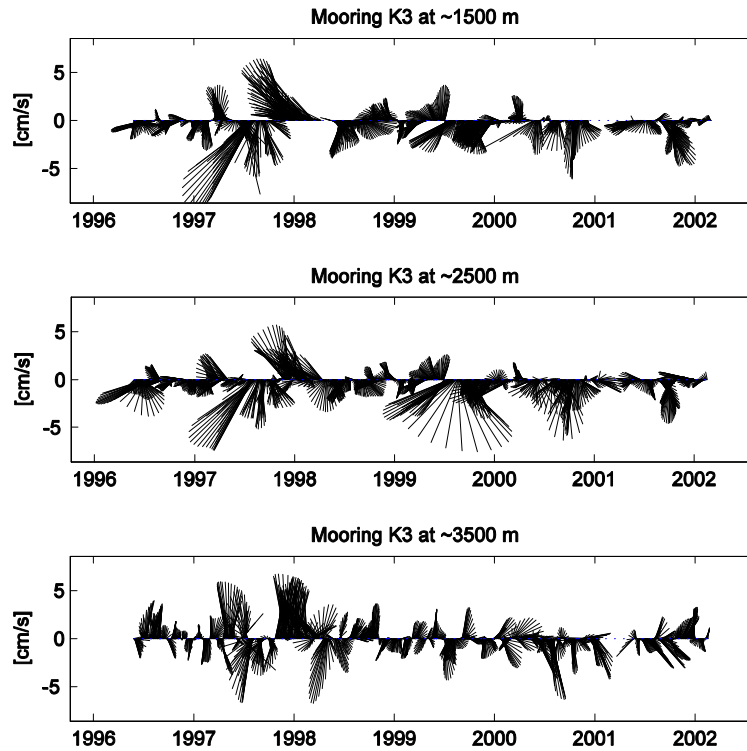


Abb. 14 Progressive Vector Diagramm der Verankerung K3 auf $45^{\circ} 21,6 \text{ N}$ und $33^{\circ} 09,4 \text{ W}$ westlich des MAR zwischen 1996 und 2002

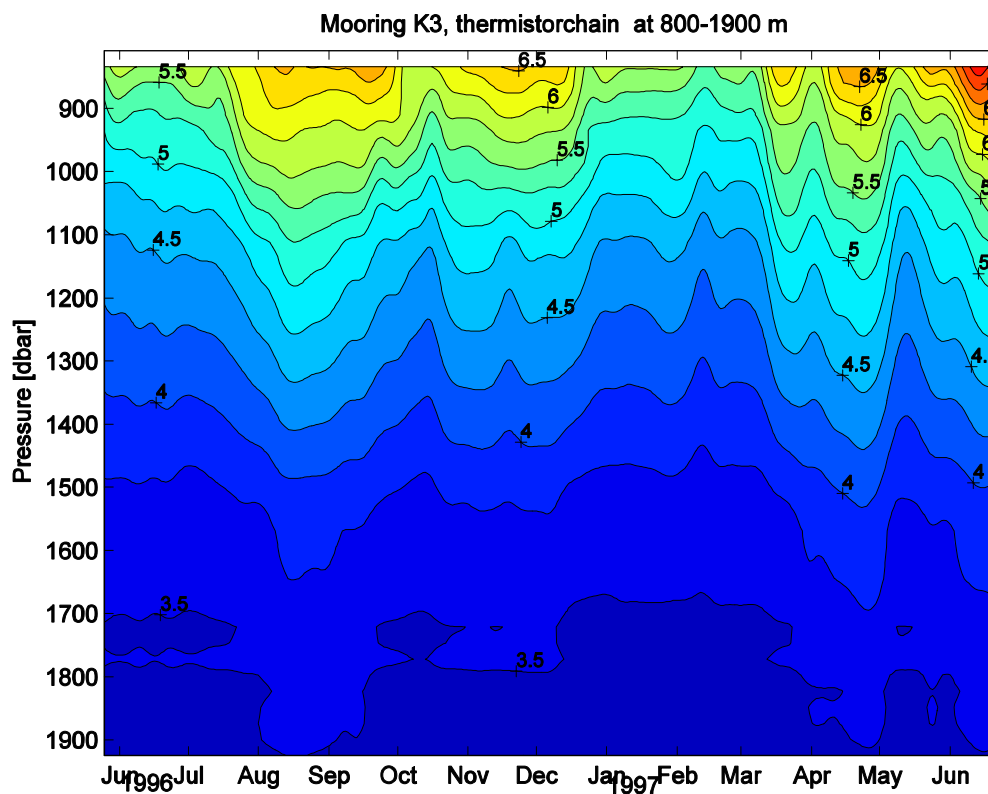


Abb. 15a Temperaturzeitserie der Verankerung K3 zwischen 900 – 1900 m für 1996 - 1997

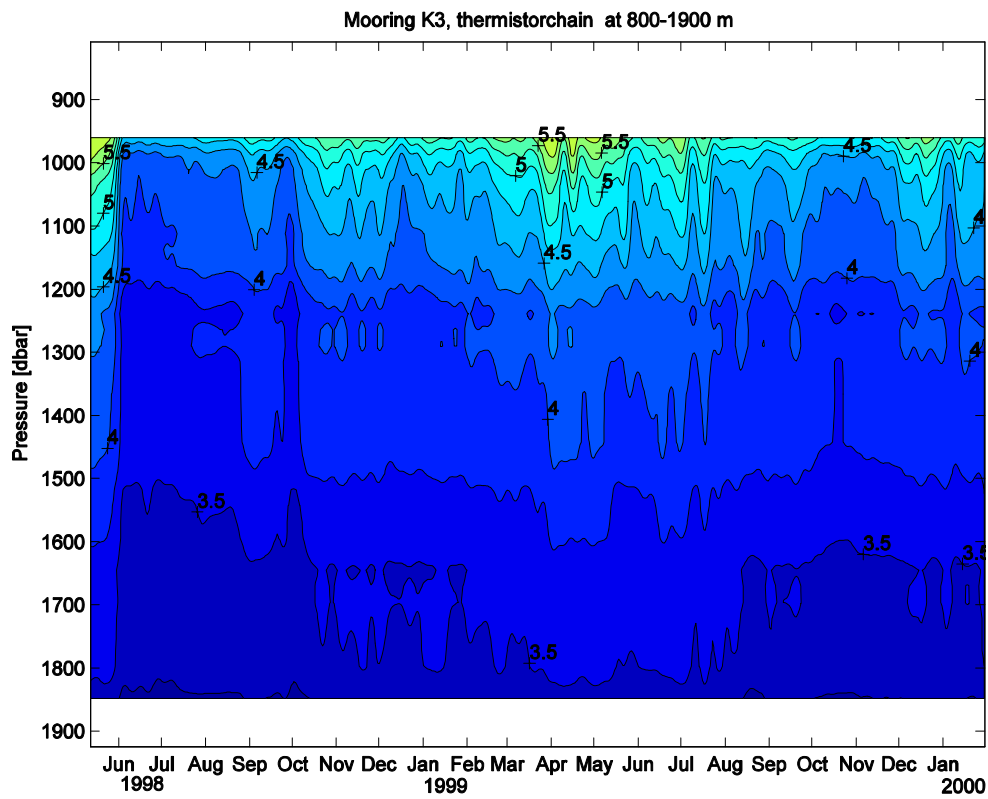


Abb. 15b Temperaturzeitserie der Verankerung K3 zwischen 900 – 1900 m für 1998 - 2000

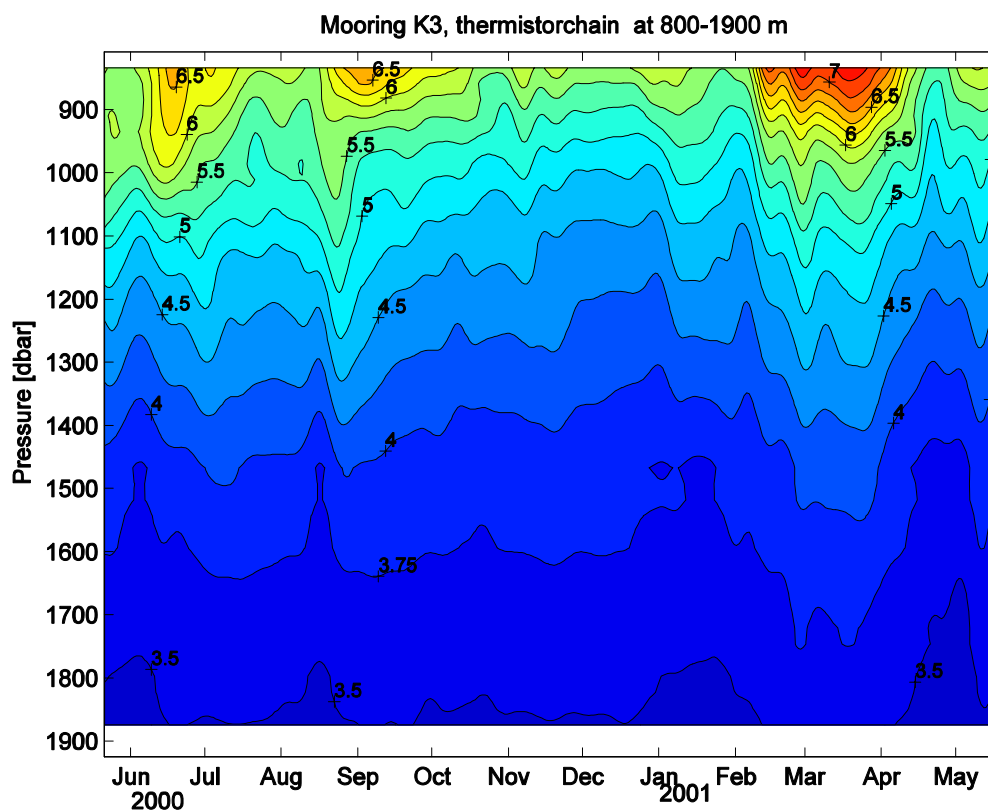


Abb. 15c Temperaturzeitserie der Verankerung K3 zwischen 900 – 1900 m für 2000 - 2001

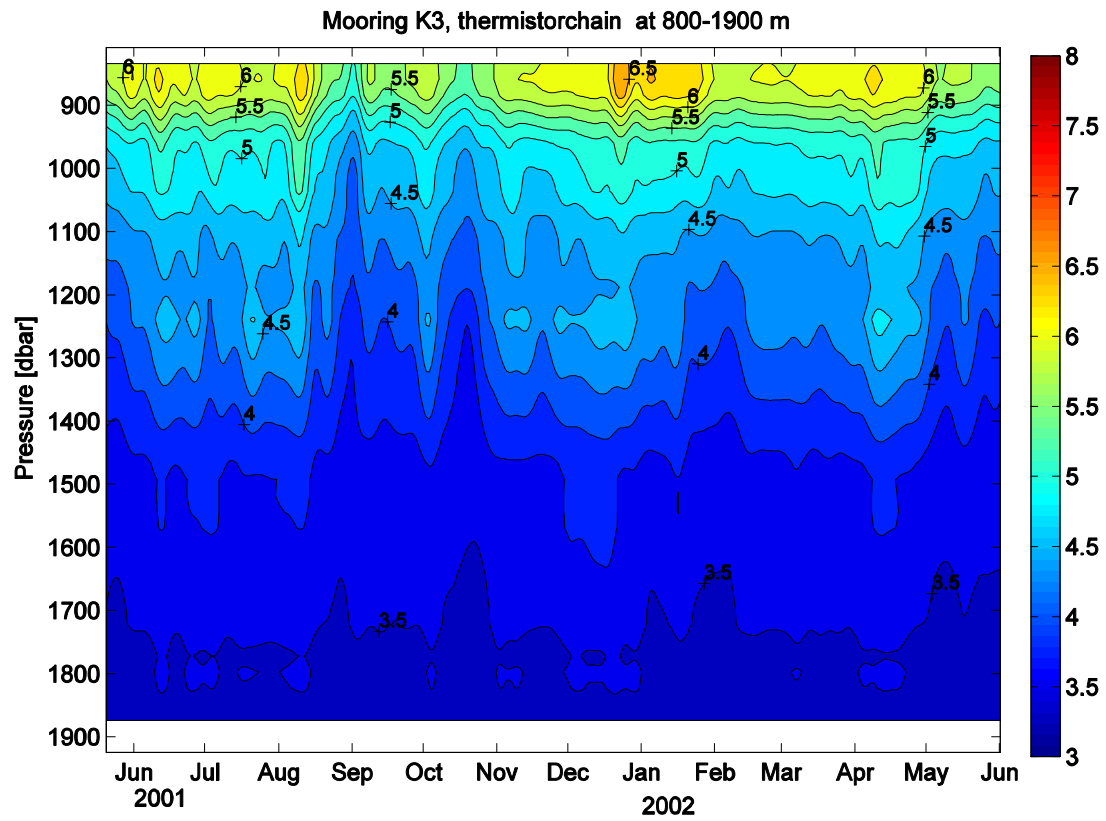


Abb. 15d Temperaturzeitserie der Verankerung K3 zwischen 900 – 1990 m für 2001 - 2002